

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA CALIDAD DE SERVICIO EN REDES METRO-ETHERNET  
ÓPTICAS**

**MONOGRAFÍA**



**SORAYA LILIANA BOLAÑOS RENGIFO  
CLARA INES CHILITO CAICEDO**

**Director: Ing. Esp. Alejandro Toledo Tovar**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT  
Línea de investigación: Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de Telecomunicaciones  
Popayán  
2008**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA CALIDAD DE SERVICIO EN REDES METRO-ETHERNET  
ÓPTICAS**

**MONOGRAFÍA**

**SORAYA LILIANA BOLAÑOS RENGIFO  
CLARA INES CHILITO CAICEDO**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director: Ing. Esp. Alejandro Toledo Tovar**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - GNTT  
Línea de investigación: Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de Telecomunicaciones  
Popayán  
2008**



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. LA RED METRO ETHERNET ÓPTICA Y ASPECTOS TÉCNICOS QUE IMPACTAN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS CON CALIDAD.....	3
1.1 LA RED METROPOLITANA ETHERNET .....	3
1.1.1 Red Metro Ethernet Óptica. ....	4
1.1.2 Metro Ethernet Óptica y su stack de Protocolos .....	7
1.1.3 Aplicaciones soportadas por las redes Metro Ethernet Ópticas .....	8
1.2 ASPECTOS TÉCNICOS DE UNA RED METRO-ETHERNET QUE IMPACTAN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS CON CALIDAD.....	8
1.2.1 Escalabilidad .....	9
1.2.2 Flexibilidad .....	9
1.2.3 Calidad de Servicio Superior.....	9
1.2.4 Operación Administración y Mantenimiento.....	9
1.2.5 Soporte TDM .....	9
1.3 PROGRESOS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET RELACIONADOS CON LA ESCALABILIDAD, PROTECCIÓN, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SERVICIO DE LA RED METRO ETHERNET. ....	9
1.3.1 Escalabilidad de la red .....	10
1.3.1.1 VLAN stacking .....	10
1.3.1.2 MAC in MAC .....	10
1.3.2 Protección.....	10
1.3.2.1 STP (Spanning Tree Protocol) IEEE 802.1D: .....	10
1.3.2.2 RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol-Protocolo Spanning Tree Rápido) IEEE 802.1w.....	10
1.3.2.3 MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol-Protocolo Spanning Tree Múltiple) IEEE 802.1s ....	10
1.3.3 Rendimiento de Ethernet.....	11
1.3.4 Calidad de Servicio.....	11
2. MÉTRICAS, PARÁMETROS DE DESEMPEÑO Y QoS EN UNA MEN.....	13
2.1 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO, MÉTRICAS RELACIONADAS Y MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET .....	13
2.1.1 Parámetros de desempeño.....	13
2.1.1.1 Retardo de Trama.....	13
2.1.1.2 Jitter de Trama .....	14
2.1.1.3 Pérdida de Trama .....	15
2.1.2 Métricas.....	15
2.1.2.1 [RFC 2679] A One-Way Delay Metric .....	16
2.1.2.2 [RFC 2681] Round-Trip Time Delay Metric .....	16
2.1.2.3 [RFC 3393] IP Packet Delay Variation Metric .....	16
2.1.2.4 [RFC 2680] A One-Way Packet Loss Metric .....	17
2.1.3 Algunas definiciones de medidas de la tecnología Ethernet.....	18
2.2 CALIDAD DE SERVICIO (QOS) EN REDES ETHERNET .....	18

2.2.1 Estándar IEEE 802.1P .....	19
2.2.2 Estándar IEEE 802.1Q .....	19
3. MODELO APROXIMADO DE RED METRO ETHERNET ÓPTICA .....	22
3.1.1 Requerimientos de Diseño de una Red Metro Ethernet .....	22
3.1.2 Planeamiento de la capacidad del Modelo de Red Metro Ethernet .....	22
3.1.3. Definición del Modelo de Red Metro Ethernet, a nivel físico. ....	22
3.1.3.1 Componentes de la Red Metro Ethernet Óptica .....	23
4. DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN .....	30
4.1 METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN .....	30
A) Formulación del problema y plan de estudios .....	30
B) Recolección y procesamiento de datos .....	30
C) Definición de un modelo conceptual .....	30
D) Formulación de un modelo de simulación .....	31
E) Diseño de experimentos .....	31
F) Elaboración del programa de computador (implementación de escenarios de simulación) .....	31
G) Evaluación del modelo y de los parámetros estimados .....	32
H) Validación del programa (escenarios de simulación) .....	32
I) Análisis de los datos obtenidos con la simulación .....	32
J) Documentación e Implementación de resultados .....	32
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN Y MEDIDAS TOMADAS EN LA SIMULACIÓN .....	32
4.3 DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN Y DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN ..	34
4.3.1 Simulación Escenario 1 .....	34
4.3.1.1 Prueba 1 .....	35
4.3.1.2 Prueba 2 .....	39
4.3.1.3 Prueba 3 .....	44
4.3.1.4 Prueba 4 .....	46
4.3.2 Simulación Escenario 2 .....	49
4.3.2.1 Prueba 1 .....	49
4.3.2.2 Prueba 2 .....	55
4.3.3 Simulación Escenario 3 .....	65
4.3.3.1 Prueba 1 .....	66
4.3.3.2 Prueba 2 .....	71
4.3.3.3 Prueba 3 .....	76
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86

## **ANEXOS**

**ANEXO A - DEFINICIÓN DEL MODELO DE RED METRO ETHERNET ÓPTICA**

**ANEXO B - SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN**

**ANEXO C - CONFIGURACION DETALLADA DE LOS ESCENARIOS BÁSICOS DE LA SIMULACIÓN**

**ANEXO D-DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN**

**Parte 1: Gráficas correspondientes a las pruebas 3 y 4 del Escenario**

**Parte 2: Gráficas correspondientes a las pruebas 3, 4 y 5 del Escenario 2**

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO 1

Figura 1.1 Red Metro Ethernet Óptica .....	4
Figura 1.2 Nueva Arquitectura de red de datos .....	6
Figura 1.3 Opciones para la capa 1 y 2 en agregación y Backbone .....	7
Figura 1.4 Ethernet óptica típica y su stack de protocolos .....	7

### CAPITULO 2

Figura 2.1 Retardo de Trama .....	14
Figura 2.2 Retardo Unidireccional .....	16
Figura 2.3 Retardo de Vuelta Completa .....	16
Figura 2.4 IEEE 802.1Q Etiquetado de tramas Ethernet .....	19
Figura 2.5 IEEE 802.1P .....	20

### CAPITULO 3

Figura 3.1 Modelo de Red Metro Ethernet.....	23
Figura 3.2 Red Lógica a nivel 2 .....	24
Figura 3.3 Arquitectura de un Switch Ethernet .....	25
Figura 3.4 Clasificación, Marcación y Formación .....	26
Figura 3.5 VLAN de Puerto Central .....	27
Figura 3.6 VLAN Estática .....	28
Figura 3.7 VLAN Dinámica .....	28

### CAPITULO 4

Figura 4. 1 Definición del Modelo Conceptual .....	31
Figura 4. 2 Diseño de la simulación .....	32
Figura 4. 3 Modelo de red del escenario 1.....	35
Figura 4. 4 Gráficas a nivel de aplicación, Escenario1-Prueba 1.....	37
Figura 4. 5 Gráficas de la Tecnología Ethernet, Escenario 1-Prueba 1.....	38
Figura 4. 6 Gráficas a nivel de aplicación, Escenario 1-Prueba 2.....	40
Figura 4. 7 Gráficas de la tecnología Ethernet, Escenario 1-Prueba 2.....	42
Figura 4. 8 Medidas en las VLANs, Escenario 1-Prueba 2.....	43
Figura 4. 9 Gráficas de las medidas en los Enlaces, Escenario 1-Prueba 2.....	44
Figura 4. 10 Modelo de red del escenario 2 .....	49
Figura 4. 11 Gráficas de las aplicación, Escenario 2-Prueba 1.....	51
Figura 4. 12 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 2-Prueba 1 .....	53
Figura 4. 13 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Prueba 1 .....	54
Figura 4. 14 Medidas en los enlaces, Escenario 2-Prueba 1 .....	55
Figura 4. 15 Medidas de los Parámetros de desempeño, Escenario 2-Prueba 2.....	57
Figura 4. 16 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 2-Prueba 2 .....	59
Figura 4. 17 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Prueba 2 .....	60
Figura 4. 18 Medidas en los Enlaces, Escenario 2-Prueba 2.....	61
Figura 4. 19 Modelo de red, Escenario .....	66
Figura 4. 20 Gráficas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba 1.....	68
Figura 4. 21 Gráficas de la Tecnología Ethernet, Escenario 3-Prueba 1.....	69

Figura 4. 22 Gráficas de las VLAN, Escenario 3-Prueba 1 .....	70
Figura 4. 23 Gráficas de las medidas en los enlaces, Escenario 3-Prueba 1 .....	71
Figura 4. 24 Gráficas de las medidas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba 2 .....	73
Figura 4. 25 Gráficas de las medidas de la tecnología Ethernet, Escenario 3-Prueba 2 .....	75
Figura 4. 26 Gráficas de las medidas en las VLANs, Escenario 3-Prueba 2.....	75
Figura 4. 27 Medidas tomadas en los enlaces .....	76
Figura 4. 28 Gráficas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba 3.....	78
Figura 4. 29 Gráficas de las medidas de Ethernet, Escenario 3-Prueba 3.....	80
Figura 4. 30 Gráficas de las medidas en las VLANs, Escenario 3-Prueba 3.....	81
Figura 4. 31 Gráficas de las medidas en los enlaces, Escenario 3-Prueba 3 .....	82

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación de Ethernet con otras alternativas .....	5
Tabla 1.2 Resumen de los aspectos técnicos de la tecnología Metro Ethernet.....	12
Tabla 2. 1 Estándar de requerimientos de QoS .....	15
Tabla 2. 2 Parámetros de desempeño-Métricas.....	17
Tabla 2. 3 Esquema de prioridades 802.1p .....	19
Tabla 4.1 Características del tráfico generado en la red [59] .....	33
Tabla 4.2 Parámetros de configuración y parámetros de medida.....	34
Tabla 4.3 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables de la prueba1 .....	35
Tabla 4.4 Medidas de los Parámetros de Desempeño Prueba 1, Sin VLANs.....	36
Tabla 4.5 Medidas de la Tecnología Ethernet, Sin VLANs .....	37
Tabla 4.6 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario1-prueba 2 .....	39
Tabla 4.7 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 1-Prueba 2.....	39
Tabla 4.8 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 1-Prueba 2.....	41
Tabla 4.9 Medidas en las VLANs, Escenario 1-Prueba 2.....	43
Tabla 4.10 Medidas en los Enlaces, Escenario 1-Prueba 2 .....	44
Tabla 4.11 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario1-Prueba 3.....	44
Tabla 4.12 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 1-Prueba 3.....	45
Tabla 4.13 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario1-Prueba 3.....	45
Tabla 4.14 Medidas en las VLANs, Escenario1-Prueba 3.....	46
Tabla 4.15 Medidas en los Enlaces, Escenario 1-Prueba 3 .....	46
Tabla 4.16 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 1-Prueba 4 .....	46
Tabla 4.17 Medidas de los Parámetros de Desempeño Escenario 1-Prueba 4.....	47
Tabla 4.18 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario1-Prueba 4.....	47
Tabla 4.19 Medidas en las VLANs, Escenario 1-Prueba 4.....	48
Tabla 4.20 Medidas en los Enlaces, Escenario 1-Prueba 4 .....	48
Tabla 4.21 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 2-Prueba1.....	49
Tabla 4.22 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 2-Prueba 1.....	50
Tabla 4.23 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 2-Prueba 1.....	51
Tabla 4.24 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Prueba 1 .....	53
Tabla 4.25 Medidas en los enlaces, Escenario 2-Prueba 1.....	54
Tabla 4.26 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 2-Prueba 2. ....	55



Tabla 4.27 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 2-Prueba 2.....	56
Tabla 4.28 Medidas de la Tecnología Ethernet.....	58
Tabla 4.29 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Prueba 2.....	59
Tabla 4.30 Medidas en los Enlaces, Escenario 2-Prueba 2.....	60
Tabla 4.31 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables Escenario 2-Pruebas 3,4 y 5. ....	61
Tabla 4.35 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 3-Prueba 1. ....	66
Tabla 4.36 Medidas de los Parámetros de Desempeño Escenario 3-Prueba 1.....	67
Tabla 4.37 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario3-Prueba 1.....	68
Tabla 4.38 Medidas en las VLAN, Escenario 3-Prueba 1.....	70
Tabla 4.39 Medidas de los enlaces, Escenario 3-Prueba 1.....	71
Tabla 4.40 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 3-Prueba2.....	72
Tabla 4.40 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 3-Prueba3.....	77
Tabla 4.41 Medidas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba 3.....	77
Tabla 4.42 Medidas de la tecnología Ethernet, Escenario 3-Prueba 3.....	79
Tabla 4.43 Medidas en las VLANs, Escenario 3-Prueba 3.....	80
Tabla 4.44 Medidas en los enlaces, Escenario 3-Prueba 3.....	81

*DEDICATORIA*

*A Dios por ser mi guía y mi fortaleza en cada paso de mi vida.  
A mis bebitas por su paciencia y por haber soportado mi ausencia.  
A mis padres y a mis hermanos por creer en mi, por su inmenso amor,  
entrega y apoyo incondicional.  
A mi compañera de tesis, que con sus conocimientos brindo aportes  
útiles para el desarrollo de esta investigación.*

*Soraya*

*Dedico este triunfo de todo corazón  
A Dios mi guía, amigo y compañero en todo momento  
A mis Padres por sus innumerables enseñanzas  
Y por su fuerza y amor  
y a toda mi Familia por su apoyo incondicional en los buenos  
y en especial en los malos momentos.*

*Clara*

## AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto es la culminación de un objetivo personal de grandes proporciones. Es por esto que las autoras del presente trabajo de grado expresan sus agradecimientos al Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones y Director del proyecto Alejandro Toledo Tovar, por la oportunidad ofrecida para realizar este trabajo, además por su valiosa colaboración y orientación.

Además, durante la elaboración del mismo, también se contó con la valiosa colaboración y dedicación hacia nosotras de los Ingenieros en Electrónica y Telecomunicaciones, Jenny Cuatyndioy y Oscar Calderón. A los dos muchas gracias por las enseñanzas brindadas, en la consecución de esta meta.

Finalmente queremos agradecer a nuestras familias por su comprensión y apoyo incondicional y a los amigos por los buenos recuerdos y la compañía durante estos años.

## LISTA DE ACRÓNIMOS

- ATM:** Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferencia Asíncrono)
- BW:** Bandwidth (Ancho de Banda)
- CBWF:** Class Based Weighted Fair Queing (Encolamiento Justo Ponderado basado en Clase)
- CE:** Customer Equipment (Equipo del Cliente)
- CoS:** Class of Service (Clases de Servicio)
- DSCP:** Differentiated Service Code Points (Puntos Código de Servicios Diferenciados).
- DWDM:** Dense Wavelength División Multiplexing (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa)
- EFM:** Ethernet in the Firts Mile (Ethernet en la primera milla)
- E-LAN:** Ethernet Private LAN (Servicio LAN privado Ethernet)
- E-Line:** Ethernet Private Line (Línea Privada Ethernet)
- EPON:** Ethernet Pasive ÓPTICAL Network (Red Óptica Pasiva Ethernet)
- EVC:** Ethernet Virtual Connection (Conexión Virtual Ethernet)
- FR:** Frame Relay
- FTP:** File Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de archivos)
- IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
- IP:** Internet Protocol (Protocolo de Internet)
- ISP:** Internet Service Provider (Proveedor de Servicios de Internet)
- ITU-T:** International Telecommunications Union (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
- LAN:** Local Area Network (Red de Área Local)
- LSP:** Label Switching Path (Trayecto Conmutación de/por Etiquetas)
- MAC:** Media Access Control (Control de Acceso al Medio)
- MAN:** Metropolitan Area Network (Red de Area Metropolitana)
- MEF:** Metro Ethernet Forum (Foro Metro Ethernet)
- MEN:** Metro Ethernet Network (Red Metro Ethernet)
- MP3:** Audio Streaming (Flujo de Audio)
- MPEG-4:** Moving Picture Expert Group
- MPLS:** Multi Protocol Label Switching (Multiprotocolo de Conmutación de Etiquetas)
- MSTP:** Multiple Spanning Tree Protocol (Protocolo de Árbol de Extensión Múltiple)
- NCTUns:** National Chiao Tung University, Network Simulator (Simulador de Redes de la Universidad Nacional de Chiao Tung)
- OAM:** Operations, Administration, Management (Operación, Administración y Mantenimiento)
- OPNET IT GURÚ AE:** Optimised Network Engineering Tool, Academic Edition (Herramienta de Ingeniería de Red Optimizada Edición Académica)
- PE:** Provider Edge (Proveedor de borde)
- PON:** Pasive ÓPTICAL Network (Red Óptica Pasiva)
- QoS:** Quality of Service (Calidad de Servicio)
- RED:** Random Early Detection (Detección Temprana Aleatoria)
- RPR:** Resilient Packet Ring (Anillo Resistente de Paquetes)
- RSTP:** Rapid Spanning Tree Protocol (Protocolo de Árbol de Extensión Rápido)

**SDH:** Synchronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Sincrona)  
**SLA:** Service Level Agreement (Acuerdo de Nivel de Servicio)  
**SONET:** Synchronous ÓPTICAL Network (Red Óptica Sincrona)  
**SPQ:** Strict Priority Queing (Encolamiento de Prioridad Estricta)  
**STP:** Spanning Tree Protocol (Protocolo de Árbol de extensión)  
**TDM:** Time División Multiplexing (Multiplexación por División de Tiempo)  
**TE:** Traffic Engineering (Ingeniería de Tráfico)  
**TLAN:** Transparent Local Area Networks (Red de Área Local Transparente)  
**ToS:** Type of Service (Tipo de Servicio)  
**UIT-T:** Unión Internacional de Telecomunicaciones, Estandarización en Sector Telecomunicaciones  
**UNI:** User-to-Network Interface (Interfaz Red Usuario)  
**VLAN:** Virtual Local Area Network (LAN Virtual)  
**VoIP:** Voice over Internet Protocol (Voz Sobre IP)  
**VPN:** Virtual Private Network (Red Privada Virtual)  
**WAN:** Wide Area Network (Red de Area Extensa)  
**WDM:** Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por División de Longitud de Onda)  
**WRED:** Weighted Random Early Detection (Detección Temprana Aleatoria Ponderada)

## INTRODUCCIÓN

Inicialmente las redes basadas en el protocolo IP se crearon sólo para transporte de datos. Con el auge de nuevos servicios se vio la necesidad de disponer de más y sobre todo de mejores recursos en la red, no solo en cuanto a la infraestructura sino también en lo referente a los protocolos utilizados dentro de la misma, considerando además mecanismos de Calidad de Servicio para asegurar el correcto funcionamiento de aplicaciones en tiempo real como la voz, el audio o el video, y así poder transportar tráfico al ritmo en que este se va generando.

Dado el incremento en el uso de las redes y servicios Ethernet, los cuales han llegado al dominio Óptico, dicha Tecnología ha alcanzado un grado de madurez tal, que permite considerarla actualmente como una opción apropiada en entornos LAN (Local Area Network-Red de Area Local), MAN (Metropolitan Area Network-Red de Area Metropolitana) y WAN (Wide Area Network-Red de Area Extensa), debido a su excelente penetración en el mercado y a sus principales ventajas como son la provisión de conectividad con mas ancho de banda, la eficiencia económica que representa para los prestadores de servicios y la alta velocidad ofrecida. Por estas razones, implementar tecnologías Ethernet para los Proveedores de servicio resulta más económico y fácil de administrar, en lugar de continuar con las tecnologías actuales como SONET/SDH (Synchronous ÓPTICAL Network-Red Óptica Síncrona/ Synchronous Digital Hierarchy-Jerarquía Digital Síncrona), Frame Relay y ATM (Asynchronous Transfer Mode-Modo de Transferencia Asíncrono), las cuales fueron creadas para integrar aplicaciones específicas con ciertas garantías de tráfico en las redes.

Un factor de gran relevancia en la tecnología Ethernet Metropolitana es su provisión de mecanismos de Calidad de Servicio, gracias al desarrollo de estándares como el IEEE 802.1P/Q<sup>1</sup>, elaborados con el fin de asignar prioridades según el tipo de tráfico que circule por la red garantizando un buen comportamiento de aquellos flujos de datos críticos. Además se ha disminuido considerablemente el tiempo de recuperación de los enlaces ante fallas, gracias a avances hechos en el STP (Spanning Tree Protocol).

El presente trabajo de grado ofrece una sólida base conceptual relacionada con la tecnología Metro Ethernet Óptica profundizando en la implementación de la Calidad de Servicio en la red. Específicamente busca evaluar el desempeño de la Calidad de Servicio en una red<sup>2</sup> Metro Ethernet Óptica, a través de la observación del comportamiento de los parámetros de desempeño en la misma.

Con el fin de abordar los temas necesarios para el desarrollo de este trabajo de grado, el contenido consta de 5 capítulos que se distribuyen de la siguiente manera:

El **Capítulo 1** trata de forma general la Tecnología Ethernet, sus principales características y ventajas en comparación con otras tecnologías como SONET/SDH, Frame Relay y ATM. De igual forma profundiza en algunos aspectos de vital importancia de la red Ethernet Metropolitana, definidas por el MEF, tendientes a brindar cierto nivel de calidad en la red, los que se describen a continuación la **Escalabilidad, Protección, Calidad de Servicio, Operación Administración y Mantenimiento y Flexibilidad** entre otros.

---

<sup>1</sup> <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2003.pdf>

<sup>2</sup> Modelo de red aproximado a nivel de simulación

En el **Capítulo 2** se describen las métricas: **[RFC 2679] A One-Way Delay Metric**, **[RFC 2681] Round-Trip Time Delay Metric**, **[RFC 3393] IP Packet Delay Variation Metric**, **[RFC 2680] A One-Way Packet Loss Metric** necesarias para analizar el comportamiento de los parámetros de desempeño (retardo, Jitter y pérdida de trama) en un modelo aproximado de red a nivel de simulación. Además se estudia la Calidad de Servicio en una Red Metro Ethernet, mediante la utilización del estándar IEEE802.1P/Q.

En el **Capítulo 3** se define el modelo aproximado de Red Metro Ethernet Óptica, se describen los componentes que conforman la red, la tecnología Gigabit Ethernet.

En el **Capítulo 4** se define la metodología a seguir en la realización de la simulación, se establecen los escenarios de red con el fin de validar los parámetros de desempeño, mediante la simulación del modelo de red Metro Ethernet, luego se ejecuta la simulación y se presentan los resultados obtenidos en la misma.

En el **Capítulo 5** se presentan las conclusiones y recomendaciones con respecto al trabajo de grado desarrollado.

Este trabajo de grado también incluye el desarrollo de 4 **Anexos** que contienen la descripción de algunos documentos en los que se basó la definición del modelo de red elegido, la selección de la herramienta de simulación, la configuración de la simulación y finalmente las gráficas de algunas pruebas realizadas en la herramienta de simulación.

## 1. LA RED METRO ETHERNET ÓPTICA Y ASPECTOS TÉCNICOS QUE IMPACTAN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS CON CALIDAD.

Este capítulo contiene los fundamentos teóricos relacionados con el proyecto, así como también los aspectos técnicos que impactan la prestación de Calidad de Servicio en una red Metro Ethernet Óptica. Para lograr este objetivo, el capítulo se ha dividido en 2 secciones, la primera, contiene una introducción donde se presentan definiciones, elementos componentes y las características más relevantes de la tecnología, la segunda sección trata principalmente acerca de la parte técnica de la red relacionada con la prestación de servicios con calidad.

### 1.1 LA RED METROPOLITANA ETHERNET

Sin lugar a dudas la tecnología dominante en cualquier tipo de organización dentro del sector de las telecomunicaciones es Ethernet, puesto que generalmente las empresas o cualquier otro tipo de institución ya han instalado redes LAN Ethernet dentro de su infraestructura de información [1]. Cuando se requiere ampliar la red de área local o de campus a un entorno de área metropolitana (MAN), Ethernet es la mejor opción a elegir, gracias a las ventajas que esta tecnología ofrece frente a otras como ATM, Frame Relay, SONET/SDH, tales como la simplicidad, bajo costo y ubicuidad que han aumentado el interés en los organismos de estandarización (ITU-T<sup>3</sup> (International Telecommunications Union-Unión Internacional de Telecomunicaciones), IEEE<sup>4</sup> (Institute of Electrical and Electronics Engineers-Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), MEF<sup>5</sup> (Metro Ethernet Forum-Foro Metro Ethernet)), la industria y los proveedores de servicios de telecomunicaciones, para modernizar y transformar las redes en económicas, ágiles y de alta capacidad [2].

Debido a la gran importancia que ha cobrado la tecnología Ethernet en los últimos años su evolución ha sido realmente de forma rápida, Ethernet se soporta en medios de cobre, fibra óptica e inalámbricos; su velocidad a aumentado a 10 Gbps sobre redes basadas en fibra y su alcance es de hasta 100 Km, aunque ya existen trabajos para mejorar la escalabilidad de Ethernet a 40 Gbps e incluso hasta 100 Gbps [3].

Conjuntamente con la disponibilidad de la fibra óptica, la demanda de ancho de banda, los precios de servicios y la nueva tecnología, es evidente la demandan la adopción de Ethernet Óptica en la implementación de las redes en el ámbito metropolitano.

Gracias al gran interés por parte de los diferentes actores del sector de las Telecomunicaciones se creó un organismo encargado de estudiar e impulsar la implementación de esta tecnología, denominado Metro Ethernet Forum (MEF). *“El MEF es una alianza global de la industria, compuesta por más de 130 organizaciones que incluyen proveedores de servicios de Telecomunicaciones, fabricantes de software y equipos, y consultoras especializadas en análisis y pruebas. La misión del MEF es acelerar la adopción mundial de Ethernet y desarrollar nuevos servicios. El MEF desarrolla especificaciones técnicas de Carrier Ethernet y busca acuerdos para promover la interoperabilidad y el despliegue de Carrier Ethernet en el mundo”* [4].

---

<sup>3</sup> [www.itu.int](http://www.itu.int)

<sup>4</sup> [www.ieee.org](http://www.ieee.org)

<sup>5</sup> [www.metroethernetforum.org](http://www.metroethernetforum.org)



### 1.1.1 Red Metro Ethernet Óptica.

La Red Metro Ethernet Óptica es una combinación de redes que transportan servicios sobre Ethernet (tecnología de nivel 2) en el dominio Metro mediante Fibra Óptica que proporciona conectividad eficiente y facilita gran variedad de servicios y aplicaciones. En este tipo de redes se combinan características de Ethernet (ubicuidad, flexibilidad, facilidad de uso) y de la Fibra Óptica (alcance, escalabilidad y fiabilidad) como se observa en la Figura 1.1 [5].

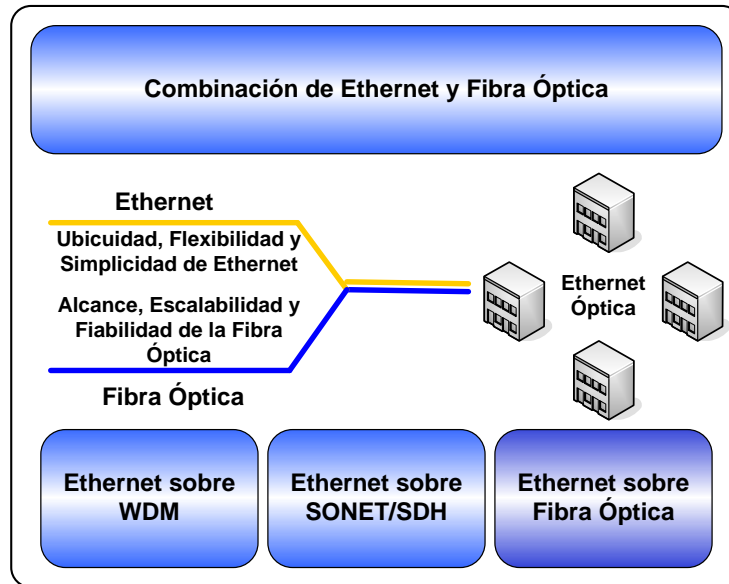


Figura 1.1 Red Metro Ethernet Óptica [5]

Entre algunas características que presentan las redes Metro Ethernet Ópticas se pueden mencionar las siguientes [6]:

- Son redes que cubren regiones<sup>6</sup> entre 10 y 100 Km.
- Interconectan la red de transporte de larga distancia y las redes de acceso.
- La mayoría de las redes existentes se basan en arquitecturas en anillo tipo SDH/SONET.
- Brinda servicios entre usuarios de "alto perfil" (negocios, ISPs (Internet Provider Service-Proveedor de servicios de Internet), hospitales, gobiernos, campus).
- Integración de múltiples tecnologías (total interoperabilidad con redes IP (Internet Protocol-Protocolo de Internet)) de gran importancia para construir redes escalables y con alta fiabilidad.
- Son redes más simples y más eficientes que soportan todos los tipos de tráfico (voz, datos y video).
- Este tipo de redes entregan ancho de banda a un costo efectivo y mejoran el desempeño de la red.
- Extienden las redes de empresa globalmente a otros sitios distantes.

A continuación se presenta una comparación, según se aprecia en la Tabla 1.1, mostrando a Ethernet frente a otras alternativas, donde se observan algunas diferencias tecnológicas presentes en las mismas.

<sup>6</sup> Esta cobertura hace referencia a la distancia entre los nodos de la red y depende del medio físico utilizado.

	ETHERNET	FRAME RELAY	ATM
Escalabilidad	10 Mbps a 10 Gbps.	56 Kbps a 45 Mbps	1.5 Mbps a 622 Mbps
QoS	Soportado	Limitado	Si
Flexibilidad del servicio.	Alta	Baja	Baja
Eficiencia del Protocolo.	Alta	Media	Baja
Optimizado para IP.	Si	No	No
Aprovisionamiento.	Rápido	Lento	Lento
CPE: Costo por puerto.	\$	\$\$	\$\$\$
Costo/Mb	\$	\$\$	\$\$\$

Tabla 1.1 Comparación de Ethernet con otras alternativas [1]

### 1.1.1.1 Ethernet y la actual arquitectura de red datos

La evolución de la redes de datos conforme a las necesidades de los usuarios y los nuevos tipos de aplicaciones hace necesario que la arquitectura de redes de datos este conformada por 5 niveles bien definidos, cada uno de ellos tiene una tarea específica con el objetivo de proporcionar la mayor eficiencia de la red [7].

Adicionalmente la evolución de las redes se fundamenta en la utilización de infraestructuras basadas en paquetes que soportan una gran variedad de servicios [7], [8]. La actual arquitectura de red de datos se muestra en la Figura 1.2.

- Time Division Multiplex (TDM) las redes de voz están evolucionando a una arquitectura de Red de Nueva Generación (NGN) que separa el control de llamada de los datos de transporte, utilizando una red de paquetes.
- La evolución de las redes móviles de 2G a 2.5G/3G requiere también una transición de TDM a paquetes. Estas redes permitirán a los proveedores de servicios ofrecer una mejor calidad de voz, datos y servicios multimedia.
- Los servicios de banda ancha están siendo rápidamente adoptados por los usuarios residenciales y de empresas. Esto está llevando a la proliferación de redes de acceso de banda ancha, dando una oportunidad para los proveedores de servicios para ofrecer una combinación de funcionalidades mejoradas de voz y ancho de banda intensivo de los servicios multimedia a sus clientes.
- Para soportar el despliegue de servicios de banda ancha, las redes metro están incorporando más capacidades de agregación de paquetes. Cada vez más, las soluciones de red metro se basan en una combinación de datos y redes de transporte multiservicios. Esto permite que el tráfico de nivel 2 sea agregado o conmutado en la red de transporte y permite entregar servicios a costos efectivos en estas redes.

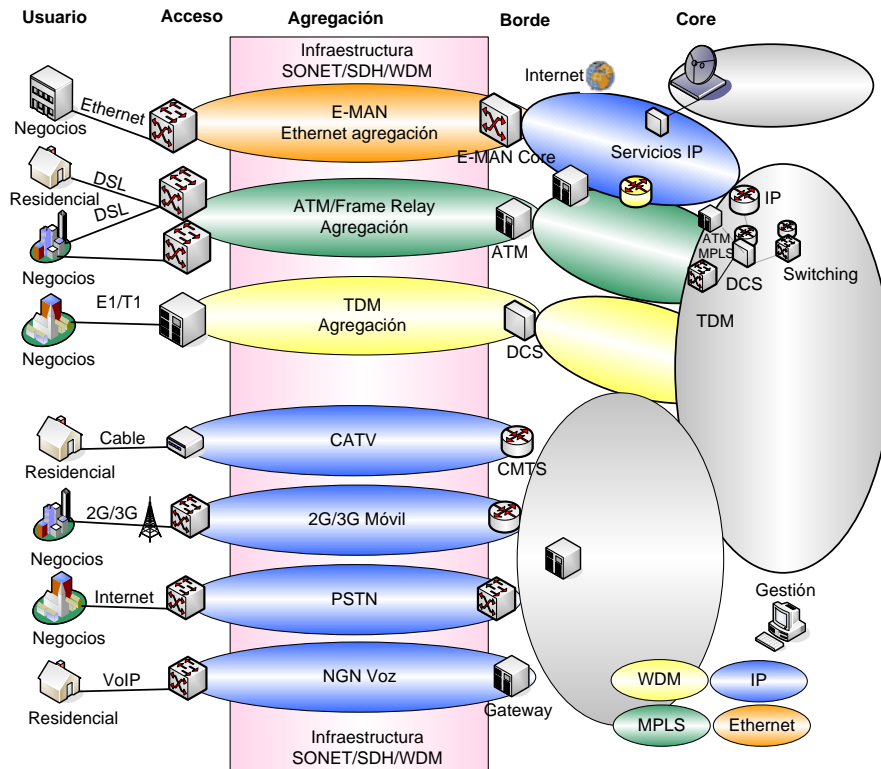


Figura 1.2 Nueva Arquitectura de red de datos [8]

Ethernet sobre fibra óptica se ha convertido en la opción más importante de red de transporte en ambientes metropolitanos por las siguientes razones [7]:

- Ethernet es la alternativa más viable económicamente.
- Simplicidad, la mayoría de los tráficos IP comienzan y terminan en Ethernet
- Estándares bien definidos para proporcionar interoperabilidad multiventana.
- Flexible provisión de ancho de banda desde 1 Mbps hasta 10 Gbps.
- Escalabilidad a 10 Gbps de ancho de banda y distancias de 10 hasta más de 40 Km sobre fibra.

Adicionalmente a todas las ventajas mencionadas anteriormente es posible decir que en comparación con tecnologías como ATM o SONET/SDH, Ethernet presenta todas las ventajas de las redes de paquetes, puesto que dicha tecnología tiene la mayor compatibilidad con IP. Además la implementación de redes utilizando ATM es mucho más costosa, tiene más overhead<sup>7</sup> y está poco difundido en redes LAN. Pese a todas las ventajas antes mencionadas, a diferencia de ATM, Ethernet no cuenta con un mecanismo de Calidad de Servicio por su constitución de red de "mejor esfuerzo".

Con el objetivo de superar las deficiencias propias de los protocolos de mejor esfuerzo, se han desarrollado diversos mecanismos dentro del nivel 2, los cuales permiten asegurar cierto nivel de Calidad de Servicio, proporcionar escalabilidad y seguridad en las redes Ethernet. En la Figura 1.3 se muestran diferentes tecnologías que permiten transportar tramas Ethernet de una manera eficiente y con garantías de calidad, además de la solución que proporciona una red Ethernet pura. Estas son [9]:

- Ethernet sobre fibra óptica.

<sup>7</sup> Bits adicionales de cabecera de trama

- EoRPR (Ethernet sobre RPR (Resilient Packet Ring-Anillo Resistente de Paquetes)).
- EoMPLS (Ethernet sobre MPLS (Multi Protocol Label Switching-Commutation de etiquetas Multiprotocolo)).
- EoS (Ethernet sobre SDH de Nueva Generación).
- EoxWDM (Ethernet sobre xWDM).

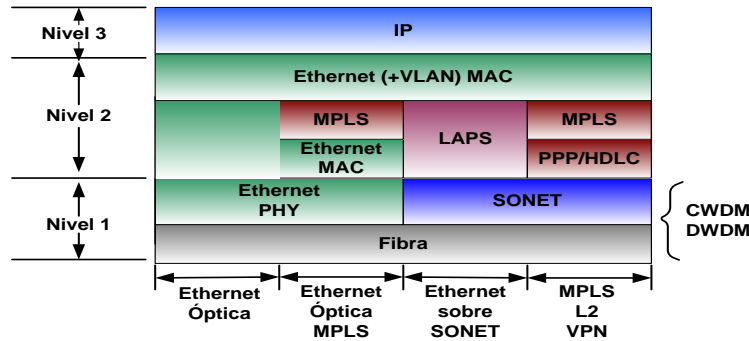


Figura 1.3 Opciones para la capa 1 y 2 en agregación y Backbone [9]

### 1.1.2 Metro Ethernet Óptica y su stack de Protocolos

La Figura 1.4 muestra una Red Metro Ethernet Óptica típica y su stack de protocolos con una EVC (Ethernet Virtual Connection-Conexión Virtual Ethernet) establecida entre dos dispositivos de acceso.

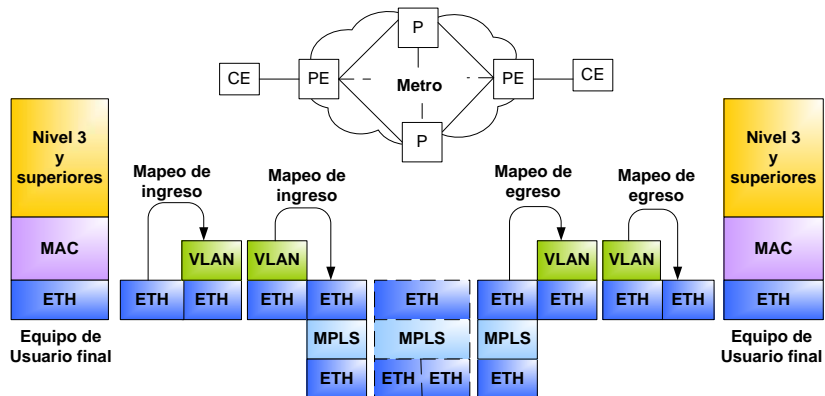


Figura 1.4 Ethernet óptica típica y su stack de protocolos [7]

Una EVC identifica y separa los flujos de tráfico para que la privacidad del cliente esté protegida. La conexión virtual Ethernet puede implementarse de dos maneras, ya sea mediante el uso de VLAN (Virtual Local Area Network-LAN Virtual) o mediante el uso de MPLS. La forma más usada es combinar las dos, es decir, una VLAN es utilizada en el borde de la red con el CE (Customer Equipment-Equipo del Cliente), dispositivo que es simple y económico y MPLS se utiliza en el Core de la red para hacer frente a la escalabilidad y otros inconvenientes, como la protección de 50 milisegundos y TE. Aunque el dispositivo PE (Provider Edge-proveedor de borde) que se sitúa entre el dispositivo CE y el dispositivo del Core (el dispositivo P) necesita mapear una conexión basada en una VLAN a una conexión basada en MPLS es decir, LSP (Label Switching Path- Trayecto Conmutado de Etiquetas), esta operación de mapeo es invisible a otras operaciones o usuarios.

### 1.1.3 Aplicaciones soportadas por las redes Metro Ethernet Ópticas

Las redes Metro Ethernet Ópticas pueden soportar múltiples y variados tipos de aplicaciones, entre los más importantes se encuentran [10]:

- **LANs y VLANs:** Una VLAN se constituye de usuarios localizados en diferentes puntos de la red local, que utilizan una misma aplicación, pero están situados en áreas físicas diferentes, seleccionados en una tabla específica de encaminamiento para formar una red local en la que los servicios se conectan directamente. Esta funcionalidad puede implementarse a través de la formación de una tabla adicional de encaminamiento en uno o varios switches, agrupando las direcciones MAC (Media Access Control-Control de Acceso al Medio) de los servidores localizados en diferentes lugares.
- **TLAN (Transparent Local Area Networks-Red de Área Local Transparente):** Las TLANs se forman por enlaces punto a punto full duplex de muy alta velocidad especializados para conectar dos redes locales geográficamente distantes. Frecuentemente las empresas conectan sus oficinas localizadas en un área central de una región metropolitana con una o más unidades localizadas en el área metropolitana. La velocidad del enlace y la activación de una sola tabla de encaminamiento que contiene las direcciones MAC de los servidores utilizados en áreas geográficamente distantes permiten que las LAN operen como si estuviesen localizadas en la misma de red. Los servicios TLAN corresponden a más del 80% de las aplicaciones de Ethernet Óptica.
- **Acceso dedicado a Internet:** Un proveedor de Internet localizado en un lugar de la red metropolitana puede implementar una conexión Punto a Multipunto con varios servidores localizados en una LAN asociados a este anillo. Las conexiones Gigabit Ethernet pueden ser utilizadas con asignación estadística de ancho de banda. Esta opción ha sustituido el uso de canales TDM/E1/T1<sup>8</sup> (Time División Multiplexing/E1/T1) con significativa eficiencia económica y se constituye en la segunda mejor aplicación de la solución Ethernet Óptica en las redes metropolitanas.
- **SAN (Storage Area Network-Red dedicada al Almacenamiento de Información):** Para muchos usuarios corporativos y/o individuales, los servicios de telecomunicaciones constituyen los ítems estratégicos indispensables y que frecuentemente se han asociado a consultas de bases de datos. Un centro de almacenamiento se constituye por grupos de servidores asociados operando como un único sistema, que proporciona disponibilidad de datos más rápidos y procesamiento paralelo.

## 1.2 ASPECTOS TÉCNICOS DE UNA RED METRO-ETHERNET QUE IMPACTAN LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS CON CALIDAD.

El estudio de la Calidad de Servicio en una red de telecomunicaciones también está fundamentado en el análisis de algunos de los aspectos técnicos propios de la tecnología de red empleada, en este caso, el estudio de las redes metropolitanas basadas en tecnología Ethernet, será evaluado desde el punto de vista de algunas especificaciones técnicas para mostrar su impacto en la prestación de los servicios en la red. Cuando se habla de los aspectos técnicos de una red Metro-Ethernet hace referencia a temas relacionados con el rendimiento, la escalabilidad, o la flexibilidad de la red entre otros.

Algunas características de vital importancia en la red Ethernet Metropolitana, definidas por el MEF, tendientes a brindar cierto nivel de calidad en la red se describen a continuación:

---

<sup>8</sup> E1/T1 es un protocolo para transmisiones de líneas dedicadas.

**1.2.1 Escalabilidad:** Permite la convergencia de diferentes tipos de datos dentro de la red con disponibilidad a un gran número de usuarios, facilita acceso de servicio a nivel metropolitano, nacional y global y además posibilita el uso de infraestructuras de diferentes proveedores [11].

**1.2.2 Flexibilidad:** Usando la tecnología Ethernet para interconectar redes es posible variar y manipular de una manera más dinámica, versátil y eficiente el BW (Ancho de Banda) y la cantidad de usuarios en periodos de tiempo cortos según las circunstancias o necesidades [12]. También facilita la migración desde velocidades de 10Mbps hasta 10Gbps, ancho de banda garantizado con capacidad de ráfagas, interoperabilidad con Frame Relay, SONET/SDH y ATM [1].

**1.2.3 Calidad de Servicio Superior:** Los proveedores de servicio han de ser capaces de ofrecer a sus usuarios niveles de servicio diferenciados, según los requerimientos de cada aplicación. Exige el cumplimiento de los SLA (Service Level Agreement-Acuerdos de Nivel de Servicio) para voz, datos y video [11].

**1.2.4 Operación Administración y Mantenimiento:** En una red Metro Ethernet que soporta un gran número de usuarios la solución a problemas de Administración, Operación y Mantenimiento es más difícil y se ha convertido en una necesidad, es por esta razón que se han realizado muchos trabajos para la definición de dichas operaciones en Ethernet, el IEEE 802.3ah (EFM Ethernet in the First Mile-Ethernet en la primera milla), el MEF y la UIT-T (La Unión Internacional de Telecomunicaciones, Estandarización en sector Telecomunicaciones) son algunos de los organismos que también han iniciado investigación en estos aspectos [7]. En OAM se realizan algunas funciones como detección y localización de fallas y monitoreo del desempeño de la red. El estándar IEEE 802.1ag (Connectivity Fault Management-Gestión de Conectividad de Fallas), proporciona las funciones esenciales de gestión de fallas que incluye la notificación de fallas y prueba de bucle cerrado del enlace de fibra óptica entre la red del proveedor del servicio y la interfaz UNI [13].

**1.2.5 Soporte TDM:** Aunque es evidente el potencial crecimiento de los servicios Ethernet, también hay que dar soporte a las líneas tradicionales ya que suponen aún una gran parte de los ingresos de los operadores. Por ello, han de ser capaces de dar soporte a redes TDM para retener a sus usuarios y migrar progresivamente hacia las redes Ethernet [11].

### **1.3 PROGRESOS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET RELACIONADOS CON LA ESCALABILIDAD, PROTECCIÓN, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SERVICIO DE LA RED METRO ETHERNET.**

Por todas las ventajas mencionadas adelante es posible asegurar que Ethernet se pondera como la tecnología de las futuras redes de datos de área metropolitana, sin embargo aun se presentan ciertas limitaciones o insuficiencias en dicha tecnología, especialmente en lo referente a su limitada escalabilidad y la lentitud en los restablecimientos [3].

Gracias al gran interés en Ethernet, por parte de las diferentes organizaciones en el sector de las telecomunicaciones, hoy en día las limitaciones de la tecnología están en camino de ser superadas, con el surgimiento de mecanismos de QinQ o VLANs Stacking (802.1 ad) y MAC in MAC desarrollados para proveer a la red mayor escalabilidad y además la evolución del protocolo Spanning Tree, mecanismo utilizado en la red Ethernet para el establecimiento de las rutas [14],[15]. Adicionalmente existen otros tipos de STP, 802.1w Rapid STP, 802.1s Múltiple STP, todos ellos funcionan en forma similar, se diferencian solo por el tiempo que necesitan para recalcularse la ruta alternativa en caso de una falla en un enlace [16].

A continuación se presentan algunos avances de la Tecnología en cuanto a los aspectos técnicos relacionados con la Escalabilidad, Protección, Rendimiento y Calidad de Servicio en la red.

**1.3.1 Escalabilidad de la red:** Se han desarrollado principalmente dos mecanismos con la finalidad de proporcionar mayor escalabilidad en la red, ellos son el denominado VLAN Stacking y el mecanismo de MAC in MAC, definidos a continuación:

**1.3.1.1 VLAN stacking:** El primer problema de escalabilidad es debido al limitado número de VLANs que pueden ser soportadas por la red. Para la resolución de este problema se ha desarrollado el mecanismo denominado VLAN STACKING o QinQ. El mecanismo de QinQ ofrece la posibilidad de agregar una etiqueta adicional a paquetes que ya han sido etiquetados anteriormente o sea que se trata de utilizar una doble etiqueta de VLAN en cada trama Ethernet, con el objetivo de crear un mayor espacio en la VLAN, proporcionando de esta manera una cantidad máxima de 4096x4096 segmentos de red diferentes [17].

**1.3.1.2 MAC in MAC:** El otro problema de escalabilidad es la tabla de direcciones MAC. Para este problema, el esquema de encapsulación MAC-in-MAC es usado para transportar tráfico de clientes en el dominio metro, permitiendo que el rango de direccionamiento se convierta al doble de la trama normal. Su funcionamiento consiste en que la MAC del cliente es encapsulada en el backbone sobre una MAC externa y tan solo es posible que con base en esta MAC externa los switches del backbone conmuten las tramas [14].

**1.3.2 Protección:** Aquí se incluye la fiabilidad y capacidad de protección. Cumplimiento de los requerimientos más críticos en cuanto a disponibilidad de la red y rápido tiempo de recuperación de aproximadamente de 50 mseg [11]. Si se presenta alguna falla en un enlace, la red debe notificar y reconfigurar el enlace rápidamente para continuar con el transporte de datos. A continuación se describen las mejoras que se han logrado, relacionadas con la protección:

**1.3.2.1 STP (Spanning Tree Protocol) IEEE 802.1D:** Este estándar es utilizado para ofrecer rápidos restablecimientos y protección de servicios. El STP define una topología lógica sobre la red, estableciendo así un camino único que un paquete seguirá por la red. Sin embargo en caso de un fallo en un enlace, en un nodo o de un cambio en la topología, el STP requiere de 30 a 60 segundos para detectar los cambios y reconfigurar los árboles, lo que reduce significativamente el desempeño de la red [18]. El organismo de estandarización IEEE ha estudiado dos opciones para optimizar el rendimiento en la red: la primera perfecciona el protocolo STP y la segunda introduce una nueva capa MAC específica para arquitecturas metropolitanas en anillo RPR, y ha sido normalizado como IEEE 802.17 [19].

**1.3.2.2 RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol-Protocolo Spanning Tree Rápido) IEEE 802.1w:** El IEEE 802.1w es una mejora del IEEE 802.1D [20], el RSTP introduce cambios significativos principalmente en términos de velocidad de convergencia, reduciendo el tiempo de recuperación de la topología de una serie de decenas de milisegundos a un segundo, aprovechando el hecho de que los enlaces en las Redes Ethernet son full duplex. Una versión mejorada del RSTP se desarrolló con el propósito de mejorar las prestaciones de la red, denominado Multiple Spanning Tree Protocol (MSTP) [21].

**1.3.2.3 MSTP (Multiple Spanning Tree Protocol-Protocolo Spanning Tree Múltiple) IEEE 802.1s:** El IEEE 802.1s complemento de IEEE 802.1Q adiciona la facilidad para que los puentes (Bridges) usen múltiples Spanning Tree, proporcionando a los flujos de tráfico pertenecientes a las VLANs, diferentes caminos dentro de la LAN virtual. El principal objetivo del desarrollo de este estándar IEEE 802.1s es el de proporcionar mayor escalabilidad, ofrecido por el servicio de puente en las grandes redes. De hecho, el MSTP combina determinadas VLANs en ciertas instancias de Spanning Tree [22].

Otro factor de suma importancia en el estudio de la tecnología Ethernet es su rendimiento y su incidencia en el desempeño de la red.

**1.3.3 Rendimiento de Ethernet:** En cuanto a lo referente a las capacidades o rendimiento de la red Ethernet se encuentran tres factores fundamentales que afectan seriamente el funcionamiento de la red y son explicados con mayor claridad en [23], estos factores son:

- El tamaño de trama utilizado. A mayor tamaño de trama mayor rendimiento.
- El número de estaciones. A menor número de estaciones mayor rendimiento.
- El tiempo de ida y vuelta. A menor tiempo mayor rendimiento.

“El tamaño de trama utilizado en una transmisión de datos de Ethernet es el factor que posiblemente tiene la mayor incidencia en el rendimiento de dicha tecnología. Conociendo el hecho de que una colisión solo puede ocurrir durante los primeros 512 bits de la trama es posible afirmar que cuando su longitud es de 512 bits el riesgo de colisión es permanente, a diferencia de lo que podría ocurrir si se cuenta con tramas mucho más largas como de 1.518 bytes el riesgo de colisión se reduce a tan solo el 4.2% del tiempo. En conclusión se observa que si el tamaño de la trama aumenta, aumenta el rendimiento de la red. Otras consideraciones (tiempo de proceso, cabeceras, etc.) aconsejan también la utilización de tramas grandes para mejorar el rendimiento de una red Ethernet.

La eficiencia también es afectada por otro factor determinante, el número de estaciones transmisoras, ya que al aumentar el número de estaciones existe un mayor riesgo de colisión. Por lo tanto al aumentar el número de estaciones el rendimiento de la red disminuye.

Finalmente el tercer parámetro importante que afecta el rendimiento de Ethernet, es el tiempo de ida y vuelta entre estaciones. Como un ejemplo claro se puede afirmar que cuando se quita de la red una estación y su cableado, que resulten realmente innecesarios, evidentemente el tiempo de ida y vuelta y el riesgo de colisiones se disminuyen. Por tanto para mejorar el rendimiento de una red es recomendable revisar su topología (suprimiendo concentradores innecesarios o tendidos de cable excesivamente largos). En consecuencia se puede apreciar que al disminuir el tiempo de ida y vuelta entre estaciones, la eficiencia de la red Ethernet y la seguridad se incrementará.

Una consecuencia curiosa de la influencia del tiempo de ida y vuelta en las colisiones es que, dada una misma topología de red, tamaño de trama, número de estaciones y nivel de ocupación relativa, la probabilidad de colisión aumenta a medida que aumenta la velocidad, ya que el valor de  $2t$  (dos veces el tiempo de ida) medido en bits aumenta. Este efecto es especialmente notable en el caso de Gigabit Ethernet” [24].

**1.3.4 Calidad de Servicio:** Finalmente en cuanto a lo relacionado con el estudio de la Calidad de Servicio de la red implementada con Tecnología Ethernet, el IEEE ha desarrollado dos estándares 802.1P/Q, estos son un mecanismo que provee a la red de un cierto nivel de inteligencia, mediante la implementación de VLANs. Una VLAN otorga un nivel de prioridad específico a cada tipo de servicio, asegurando que el tráfico de mayor exigencia obtenga la atención requerida por este tipo de servicio.

Esta temática será tratada con mayor profundidad en el capítulo dos, donde se presenta la definición, especificaciones, características y diferentes aspectos relacionados con las VLANs y la Calidad de Servicio en la Red Metro Ethernet Óptica. A continuación se presenta una tabla con los aspectos técnicos y los progresos relacionados con estos.



ASPECTOS TÉCNICOS DE LA TECNOLOGÍA	PROGRESOS DE LA TECNOLOGÍA
Escalabilidad: Disponibilidad de acceso de múltiples usuarios.	Desarrollo de dos mecanismos para proporcionar mayor escalabilidad: QinQ y MAC in MAC.
Flexibilidad: Posibilidad de variación y manipulación dinámica del BW eficientemente.	Granularidad en el acceso al ancho de banda desde 10 Mbps hasta 10 Gbps.
QoS Superior: Exige el cumplimiento de los SLA para voz, datos y video.	Desarrollo del estándar IEEE 802.1 P/Q.
OAM: Funciones de detección y localización de fallas en la red.	Con el desarrollo del estándar IEEE 802.1ag se hace la gestión de conectividad de fallas.
Soporte TDM: Para una fácil migración a redes Ethernet.	Tiene la capacidad de interactuar con redes TDM como SONET/SDH y Frame Relay.
Protección: Fiabilidad y rápido tiempo de recuperación ante fallas.	Se han desarrollado dos avances al STP: RSTP y MST.
Rendimiento: Se encuentran tres factores que afectan el rendimiento de la red, tamaño de la trama, número de estaciones y tiempo de ida y vuelta	Con relación a este factor se ha definido trabajar con el mayor tamaño de trama de Ethernet para un mejor desempeño de la red.

**Tabla 1.2 Resumen de los aspectos técnicos de la tecnología Metro Ethernet**

En conclusión después de haber presentado los fundamentos teóricos y los aspectos técnicos más relevantes de la tecnología Metro Ethernet Óptica, que tienen impacto en la prestación de servicios con calidad fundamentales para el desarrollo del proyecto, se continúa con el desarrollo del segundo capítulo, el cual contiene la temática relacionada con las diferentes métricas necesarias para evaluar el desempeño de la Calidad de Servicio en la red Metro Ethernet Óptica y los mecanismos para proporcionar Calidad de Servicio en este tipo de redes.

## 2. MÉTRICAS, PARÁMETROS DE DESEMPEÑO Y QoS EN UNA MEN

Como ya es bien conocido, la tecnología Ethernet fue desarrollada sin considerar características de Calidad de Servicio y es por esta razón que en la mayoría de los casos la solución a este problema es la de incrementar indiscriminadamente el ancho de banda disponible en la red o sea sobre dimensionar el sistema para que este no se congestione, sin embargo es imprescindible en este punto pensar en la idea de dotar a la red de un cierto nivel de inteligencia con la implantación de algunos procesos de clasificación, marcación y priorización, que hagan a la red capaz de discriminar el tráfico que transita por ella.

Por estas razones en la Tecnología Ethernet se han desarrollado ciertas técnicas con el fin de manejar diferentes grados de Calidad de Servicio. Este tipo de red posee la capacidad de tramitar diferentes flujos de tráfico, desde tráfico en tiempo real, que no admite grandes retardos, variaciones y pérdidas de tramas hasta tráficos de mejor esfuerzo. Estas redes pueden brindar diferentes grados de calidad de acuerdo al tipo de tráfico que circula por la red, basados en los SLA entre clientes y prestadores de servicios [14].

En este capítulo se identifican las métricas necesarias para analizar el comportamiento de los parámetros de desempeño retardo de trama, pérdida de trama y jitter de trama, con el fin de evaluar la QoS en un modelo aproximado de Red Metro Ethernet Óptica a nivel de simulación, que se definirá en el capítulo 3. Además se describen algunos mecanismos para aplicar QoS en este tipo de redes haciendo énfasis en los estándares IEEE 802.1P/Q.

### 2.1 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO, MÉTRICAS RELACIONADAS Y MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET

A continuación se describirán los parámetros de desempeño más importantes para evaluar el comportamiento de una red Metro Ethernet y las métricas asociadas a los mismos, y algunas medidas de la tecnología Ethernet<sup>9</sup>.

**2.1.1 Parámetros de desempeño:** El MEF ha definido los parámetros de desempeño; retardo de trama, jitter de trama y pérdida de trama [25]:

**2.1.1.1 Retardo de Trama:** Es el tiempo que gasta una trama en atravesar la red Metro Ethernet, de un punto a otro. Es un parámetro crítico y tiene un impacto significativo en la QoS para las aplicaciones en tiempo real, como videoconferencia y telefonía IP. El retardo es la suma de los retardos que la trama experimenta al cruzar por cada uno de los elementos de la red como se observa en la Figura 2.1 [26].

- **Retardo de Procesamiento:** Está formado por el retardo de conmutación, que es el tiempo necesitado por el switch para determinar la interfaz de salida cuando un paquete es recibido y el retardo de encolamiento que es el tiempo que un paquete tiene que esperar en una cola mientras que otros paquetes son atendidos antes de que puedan ser transmitidos por el puerto de salida.

---

<sup>9</sup> Estas medidas son algunas proporcionadas por la herramienta de simulación OPNET IT GURU, relevantes para el estudio del tráfico en la red.

- **Retardo de Serialización:** Es el retardo causado por la ubicación uno a uno de todos los bits que se desean transmitir a través del medio físico. Este retardo depende del tamaño del paquete y de la velocidad del enlace.
- **Retardo de Propagación:** El retardo entre el tiempo en que el último bit es transmitido al primer nodo en el enlace y el tiempo en que el último bit es recibido en el último nodo. Este retardo es constante, depende de las propiedades físicas de la línea de transmisión y es proporcional a la distancia entre el transmisor y el receptor.

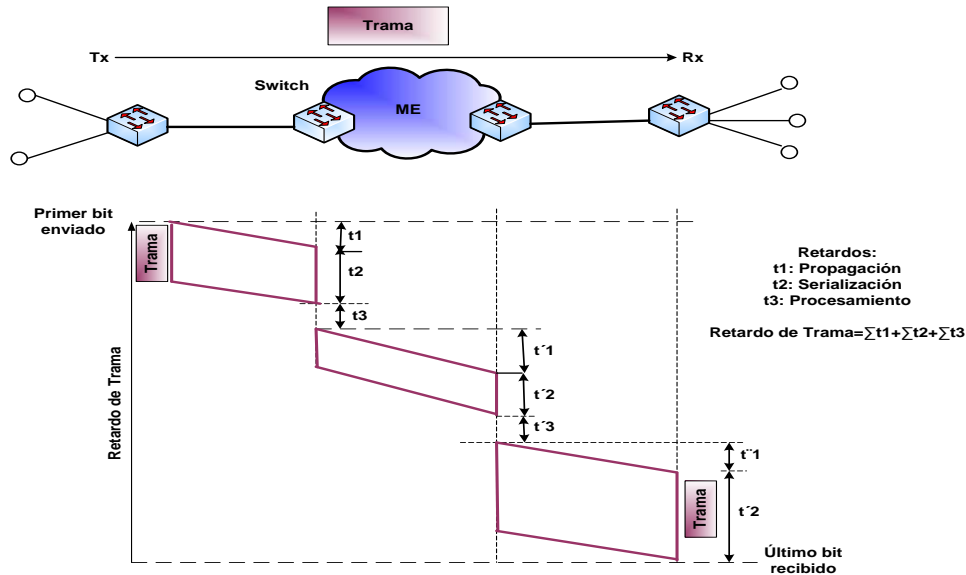


Figura 2.1 Retardo de Trama [25]

Por ejemplo, el retardo entre 2 UNIs a 10 Mbps, utilizando un intervalo de medida de 5 minutos y tramas de 1.518 bytes, si durante este tiempo 1000 tramas fueron entregadas satisfactoriamente y el máximo retardo (retardo de procesamiento y propagación) para el 95% de las tramas fue 15 ms, entonces [26]:

$$\text{Retardo de Serialización} = 1.518 \cdot 8 / 10 \cdot 10^6 = 1.214 \text{ ms}$$

$$\text{Retardo de trama} = 1.214 \text{ ms} + 15 \text{ ms} + 1.214 \text{ ms} = 17.4 \text{ ms}$$

Es necesario medir el retardo por diferentes razones [27]:

- Algunas aplicaciones no se desempeñan bien, si el retardo entre la fuente y el destino es muy grande comparado con un valor de umbral.
- Las variaciones irregulares en este parámetro hacen difícil soportar aplicaciones en tiempo real.
- Un valor mínimo de esta métrica indica retardo debido únicamente a los tiempos de propagación y de transmisión, este retardo será experimentado cuando el camino cruzado está levemente cargado, es decir probablemente todas las colas están casi vacías.
- Un valor del retardo por encima del valor mínimo indica congestión presente en el camino.

**2.1.1.2 Jitter de Trama:** Es la variación del retardo en un periodo de tiempo, tiene gran impacto en las aplicaciones de tiempo real como la telefonía IP y la transmisión de video. Estas aplicaciones en tiempo real requieren un bajo valor de jitter. El jitter de trama puede ser derivado de la medida del retardo de trama [26]. El jitter de trama se calcula así:

**Jitter de trama = retardo de trama – valor más bajo del retardo de trama** (1)

Utilizando el ejemplo anterior, si el más bajo valor del retardo de trama de las tramas conformadas fue 15ms, entonces:

$$\text{Jitter de Trama} = 17.3 \text{ ms} - 15 \text{ ms} = 2.43 \text{ ms}$$

**2.1.1.3 Pérdida de Trama:** La pérdida de trama está definida como el porcentaje de tramas que no son transmitidas correctamente en un intervalo de tiempo dado [26]. La fórmula para determinar la pérdida de trama es:

**Pérdida de trama =  $[1 - \text{Tramas entregadas} / \text{Tramas enviadas}] * 100$**  (2)

Para el ejemplo solo 995 tramas fueron entregadas, entonces: Pérdida de trama =  $(1-995 / 1000) * 100 = 0.5\%$

Finalmente se debe tener en cuenta que para el desarrollo del presente trabajo los parámetros de desempeño estudiados serán comparados con los valores límites establecidos en la Tabla 2.1. Se ha establecido que estos valores determinarán si se proporciona o no Calidad de Servicio en forma adecuada. De esta tabla se deduce que la videoconferencia y otras aplicaciones interactivas son sensibles al retardo y al jitter, mientras en las aplicaciones de datos la pérdida de paquetes es un parámetro crítico y los datos son insensibles al retardo y al jitter [25].

TIPO DE TRÁFICO	RETARDO DE TRAMA	JÍTTER DE TRAMA	PÉRDIDA DE TRAMA
VoIP	<150 ms	<1 ms	<3%
Videoconferencia	<150 ms	<1 ms	<3%
Datos	<15 s	-	<1%

**Tabla 2. 1 Estándar de requerimientos de QoS [25]**

Los valores límites en las aplicaciones interactivas como voz y videoconferencia de acuerdo a la recomendación de la ITU-T Rec. G. 1010<sup>10</sup> indican que el límite aceptable es de 150 ms aproximadamente en retardo y 1ms aproximadamente en jitter y para la aplicación FTP el valor del retardo no debe exceder los 15 s y la pérdida de paquetes no debe superar el 1%. No es recomendable superar en ningún caso estos valores, ya que se afecta significativamente la calidad de las aplicaciones [28].

La variación de los parámetros de desempeño en la red Metro Ethernet observada en las tramas tiene igual impacto en la formación de los paquetes, por esta razón es posible hacer el análisis del desempeño de prestación de Calidad de Servicio de Ethernet estudiando la variación de estos parámetros en las aplicaciones [29].

Para evaluar el comportamiento de los parámetros anteriormente descritos es necesario identificar claramente las métricas asociadas con estos mismos, a continuación se presenta la definición de cada una de las métricas relacionadas con estos parámetros.

**2.1.2 Métricas:** Se encuentran dos niveles de definición, un nivel general, donde se definen parámetros, métodos de medida y muestreo y métodos de agregación de medidas; y otro nivel particular que en este caso es aplicado a nivel

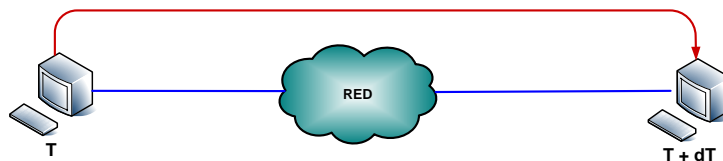
<sup>10</sup> <http://www.laas.fr/~eexposit/pmwiki/pmwiki.php/Refs/Main?action=download&upname=G1010.pdf>

técnico de la red, que especifica para cada parámetro de calidad o prestación la definición de los valores, umbrales y procedimientos de medida [30].

Estas métricas han sido establecidas por el IETF. El IETF organizó en el año 1998 un grupo de trabajo llamado IP Performance Metrics (IPPM) (IP Performance Metrics) [31], que definió un conjunto estandarizado de métricas que caracterizan la Calidad de Servicio, el desempeño y la confiabilidad de los datos que transitan a través de una red. En seguida se describirán las métricas necesarias para evaluar la QoS en una Red Metro-Ethernet Óptica:

**2.1.2.1 [RFC 2679] A One-Way Delay Metric:** (retardo unidireccional) de una fuente a un destino en un tiempo  $T$  es  $dT$ , la fuente envía el primer bit de un paquete al destino en un tiempo  $T$  y el destino recibe el último bit del paquete en el tiempo  $T + dT$ , como se observa en la Figura 2.2 [27].

Por tanto el **Retardo unidireccional =  $T + dT$**  (3)



**Figura 2.2 Retardo Unidireccional [32]**

**2.1.2.2 [RFC 2681] Round-Trip Time Delay Metric:** (Retardo de vuelta completa) de una fuente a un destino en un tiempo  $T$  es  $dT$ , la fuente envía el primer bit de un paquete en el tiempo  $T$  y el destino recibe el paquete e inmediatamente envía una respuesta hacia la fuente y el destino recibe el último bit del paquete respuesta en  $T + dT$ , como se observa en la Figura 2.3 [27].

El **Retardo de vuelta completa =  $2(T + dT)$**  (4)

**Figura 2.3 Retardo de Vuelta Completa [32]**

**2.1.2.3 [RFC 3393] IP Packet Delay Variation Metric:** El jitter dado entre un par de paquetes de un mismo flujo, desde un punto de medida fuente a otro destino se define como la diferencia entre el one-way delay de los paquetes seleccionados. En donde  $T1$  es el tiempo en que la fuente envía el primer bit del primer paquete y  $T2$  es el tiempo en que la fuente envía el primer bit del segundo paquete. Es decir la fuente envía dos paquetes, el primero en un tiempo  $T1$  (primer bit) y el segundo en un tiempo  $T2$  (primer bit) y los paquetes son recibidos por el destino en un tiempo  $dT1 + T1$  (último bit del primer paquete) y en un tiempo  $dT2 + T2$  (último bit del segundo paquete) [33].

Entonces el **jitter será  $ddT = dT2 - dT1$**  (5)

Entre algunas causas del jitter se encuentran:

- El tiempo de espera variable en las colas de transmisión, para paquetes consecutivos pertenecientes a un mismo flujo, causa que al alcanzar el destino estos paquetes tienen tiempos de llegada diferentes impidiendo la reproducción continua del flujo.
- Cambios de enrutamiento, es decir que los paquetes consecutivos de un flujo pueden no seguir la misma ruta física a través de la red.

**2.1.2.4 [RFC 2680] A One-Way Packet Loss Metric:** La pérdida de paquetes en un sentido de una fuente a un destino es cero cuando la fuente envía el primer bit de un paquete al destino en un tiempo T y este recibe el paquete. Y la pérdida de paquetes es uno cuando la fuente envía el primer bit de un paquete al destino en un tiempo T y este no lo recibe [27].

**Pérdida=0** Cuando la Trama es recibida. (6)  
**Pérdida=1** Cuando la Trama no es recibida.

Algunas causas de la pérdida de trama son [34]:

- El Rompimiento en el enlace físico: Aunque es muy poco probable que ocurra, impedirá la transmisión de un paquete, el restablecimiento en el nivel físico debido a las topologías redundantes responden dinámicamente a esta causa de pérdida de paquetes.
- Descarte por congestión: Esta es la razón principal de pérdida de paquetes en las redes. Las redes IP no manejan cargas constantes, ya que el tráfico es en ráfagas y por tanto, esta variando respecto al tiempo. Hay periodos de tiempo en los que el volumen de tráfico supera la capacidad de la red, (debido a que no hay suficiente memoria temporal para almacenarlos); cuando esto ocurre, se presenta un desbordamiento que ocasiona el descarte de paquetes.
- Descarte por paquete corrupto: Un paquete que es corrupto por ruido, es detectado cuando el campo de suma de comprobación (checksum) no es correcto. Esta causa de descarte, es insignificante en tecnologías con capas físicas modernas.

En la Tabla 2.1 se puede observar la relación entre los parámetros de desempeño y la métrica asociada a cada parámetro.

PARÁMETRO DE DESEMPEÑO	ESTÁNDAR RFC	MÉTRICA ASOCIADA
Retardo de Trama	[RFC 2679] A One-Way Delay Metric	Retardo=T+dT
	[RFC 2681] Round-Trip Delay Metric	Retardo=2(T+dT)
Jitter de Trama	[RFC 3393] IP Packet Delay Variation Metric	Jitter=ddT=dT2-dT1
Pérdida de Trama	[RFC 2680] A One-Way Packet Loss Metric	Pérdida=0 Trama es recibida Pérdida=1 Trama no es recibida

**Tabla 2. 2 Parámetros de desempeño-Métricas**

### 2.1.3 Algunas definiciones de medidas de la tecnología Ethernet [35]

En esta sección se definen algunas medidas adicionales que se pueden tomar a nivel de enlace disponibles en la herramienta de simulación y que son de utilidad para el análisis de los resultados obtenidos en las aplicaciones. Aquí se puede encontrar dos tipos de medidas, unas que son propias de la tecnología y otras propias del canal Ethernet, medidas de las VLANs y medidas en los enlaces.

En las medidas del canal Ethernet se ofrece la posibilidad de obtener información a nivel de dispositivos acerca del tráfico enviado y recibido y la utilización del canal.

- **Tráfico enviado (Traffic sent) (bits/sec):** Cantidad de tráfico enviado al canal Ethernet (canal de transmisión) desde la red.
- **Tráfico Recibido (Traffic received) (bits/sec):** Cantidad de tráfico recibido en el canal Ethernet (canal de transmisión).
- **Utilización (Utilization):** Es el porcentaje de capacidad de la red, utilizada por la misma. Por ejemplo, si la red es capaz de entregar 100Mbit/s y la cantidad observada de transmisión de datos durante un período de tiempo es de 10 Mbps, la capacidad efectiva del canal es  $10\% = 10\text{Mbps}/100\text{Mbps}$ .

De igual forma a nivel Ethernet se ofrecen medidas de retardo, carga y tráfico enviado.

- **Retardo (Delay):** Es el retardo experimentado por los paquetes recibidos por una estación.
- **Carga (Load):** Cantidad de datos que la red transmite durante un periodo de tiempo. Por ejemplo si hay 10 estaciones transmitiendo a 0.1 Mbps, la carga de la red es 1Mbps.
- **Tráfico recibido (bits/sec):** Throughput de los datos enviados por el nivel Ethernet a los niveles superiores en este nodo.

A nivel de VLAN se obtiene medidas de tráfico enviado, tráfico recibido y tráfico descartado.

- **Tráfico Enviado (Traffic Sent) (bits/sec):** Cantidad de Tráfico enviado por una VLAN.
- **Tráfico Recibido (Traffic Received) (bits/sec):** Cantidad de Tráfico recibido por una VLAN.
- **Tráfico Descartado (Traffic Dropped) (bits/sec):** Si la trama es recibida, pero la capacidad del búfer de entrada esta completamente llena, la trama puede ser pérdida por la red.

En las estadísticas en los enlaces se encuentran medidas de retardo de encolamiento y throughput.

- **Retardo de Encolamiento (queuing delay):** Retardo experimentado por un paquete, el tiempo desde que llega a la cola hasta que la deja.
- **Throughput (bits/sec):** Cantidad de datos por segundo que se transmiten por un canal.

Una vez estudiado los parámetros de desempeño y las métricas relacionadas se procede a definir el mecanismo de Calidad de Servicio utilizado en este tipo de redes, el estándar IEEE 802.1P/Q.

## 2.2 CALIDAD DE SERVICIO (QOS) EN REDES ETHERNET

La Calidad de Servicio garantiza la transmisión efectiva de cierta cantidad de datos en un tiempo determinado, para lo cual cada tipo de aplicación debe cumplir con diferentes niveles de QoS, requisitos estipulados en un SLA entre un ISP y sus clientes. La Calidad de Servicio en los diferentes tipos de aplicaciones se ve afectada por el comportamiento de ciertos parámetros tales como: el retardo de trama, jitter de trama y pérdida de trama [36].

### 2.2.1 Estándar IEEE 802.1P

Este estándar proporciona un mecanismo de QoS a nivel MAC en las redes Ethernet, mediante el concepto de clases de tráfico o CoS (Clases de Servicio) y define 8 tipos de tráfico clasificados como prioridades de usuario (priority user) por cada puerto de un switch o conmutador, para su implementación es necesario aumentar el formato básico de la trama Ethernet de 1.518 bytes a 1.522 bytes [28].

Mediante la utilización de este estándar se hace posible que los conmutadores de nivel 2 prioricen el tráfico y realicen filtraje dinámico multicast, funciona en el nivel MAC para proporcionar prioridad a flujos críticos en cuanto a tiempo se refiere. El esquema de prioridad 802.1p proporciona 8 tipos básicos de tráfico, como se muestra en la Tabla 2.3 [37].

PRIORIDAD DE USUARIO	CLASE DE TRÁFICO	COMENTARIO
0 (Predeterminado)	Best Effort (BE)	Tráfico predeterminado
1	Background (BK)	-
2	Standard	Reserva
3	Excellent Effort (EE)	Para Clientes
4	Controlled Load (CL)	Streaming Multimedia
5	Video (V)	Retardo y Jitter
6	Voice (VO)	Retardo y Jitter
7	0 (Predeterminado)	-

Tabla 2. 3 Esquema de prioridades 802.1p [37]

### 2.2.2 Estándar IEEE 802.1Q

Es un estándar para etiquetado de tramas, para multiplexación de VLANs sobre enlaces físicos. La cabecera incluye un campo para fijar prioridades, este estándar define la cabecera de etiquetas que consta de 32 bits, estos se insertan después de las direcciones de la fuente y el destino de la cabecera del paquete. El formato de trama se observa en la Figura 2.4.

**Formato de Trama:** Este estándar define un campo de prioridad dentro del encabezamiento de la etiqueta VLAN (tag), es decir 4 bytes han sido agregados a la trama Ethernet, aumentando la longitud de esta de 1.518 a 1.522 bytes. En estos 4 bytes, 3 dígitos binarios van a permitir asignar hasta 8 niveles de prioridad utilizando 802.1 P y 12 dígitos binarios van a permitir identificar la VLAN de las 4.094 posibles [38].

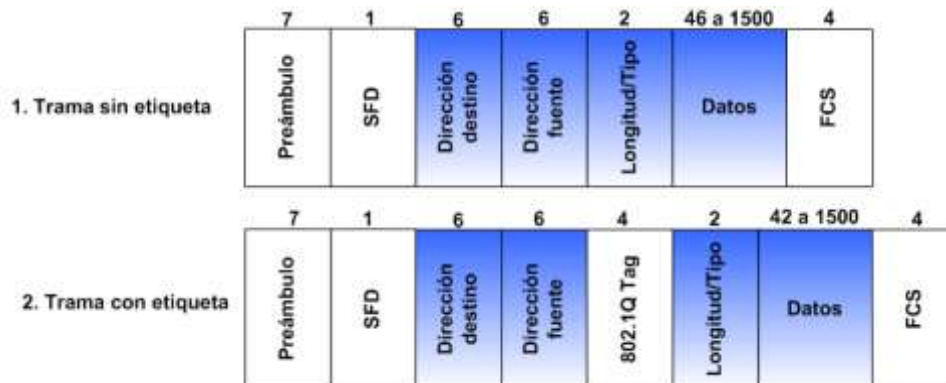


Figura 2.4 IEEE 802.1Q Etiquetado de tramas Ethernet [39]



**Formato de la trama Ethernet [40]:**

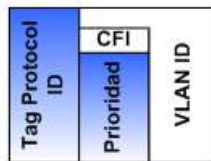
**Preámbulo:** "Un campo de 7 bytes (56 bits). El preámbulo es una secuencia de unos y ceros utilizado para sincronizar y estabilizar el medio físico antes de iniciar la transmisión de datos".

**Inicio de Trama (SFD Start of Frame Delimiter):** "Campo de 1 byte (8 bits). El SFD es un patrón de unos y ceros alternados y que termina con dos unos consecutivos. El patrón de SFD es 10101011. Indica que el siguiente bit será el bit más significativo del campo de dirección MAC de destino".

**Dirección de Destino (DA Destination Address):** "Campo de 6 bytes (48 bits), especifica la dirección MAC hacia la que se envía la trama. Esta dirección de destino puede ser de una estación, de un grupo multicast o la dirección de broadcast de la red. Cada estación examina este campo para determinar si debe aceptar el paquete".

**Dirección de Fuente (SA Source Address):** "Campo de 6 bytes (48 bits), especifica la dirección MAC desde la que se envía la trama".

**802.1Q Tag:** Permite etiquetar tramas en una LAN, se hace con dos fines, distinguir tramas pertenecientes a diferentes VLANs, cuando se mezclan en un enlace troncal y marcar un nivel de prioridad a cada trama, Figura 2.5.



802.1Q Tag

**Figura 2.5 IEEE 802.1P [39]**

**Tag Protocol ID (TPID):** Valor definido (0\*8100) en hex. Cuando una trama tiene el Ether Type igual a 8100, esta trama transporta el tag IEEE 802.1Q/802.1P.

**TCI:** El campo Tag control de información incluye la prioridad de usuario, el indicador de formato canónico y VLAN ID.

**Prioridad (User Priority):** Define la prioridad de usuario, dando 8 prioridades (2^3). El IEEE 802.1P define la operación para estos 3 bits de prioridad de usuario.

**CFI:** El Indicador de Formato Canónico esta siempre fijo en cero para switches Ethernet. El CFI es usado por razones de compatibilidad entre el tipo de red Ethernet y el tipo de red Token Ring.

**VLAN ID:** ID es el identificador de la VLAN el cual es usado por el estándar IEEE 802.1Q. Este tiene 12 bits y permiten la identificación de 4.096 (2^12) VLANs. De los 4.096 posibles VIDs, un VID 0 se utiliza para identificar la prioridad de trama y el valor 4.095 (FFF) es reservado. Así el máximo número posible de VLANs a configurar es 4.094.

**Longitud/Tipo (Length/Type):** 2 bytes. Este campo indica ó el número de MAC-cliente (bytes de datos que son contenidos en el campo de datos de la trama) ó el tipo de trama ID (si la trama es ensamblada usando un formato opcional).

**Datos:** Es una secuencia de  $n$  bytes ( $48 \leq n \leq 1500$ ) de cualquier valor. El mínimo de la trama es 64 bytes.

**Secuencia de chequeo de trama (FCS Frame Check Sequence):** 4 bytes. Esta secuencia contiene valores de 32 bits cíclicos redundantes de chequeo (CRC), que es creado por la MAC enviada y es recalculado por la MAC recibida para verificar las tramas deterioradas.

En conclusión con el desarrollo de este capítulo se lograron identificar las métricas necesarias para evaluar la Calidad de Servicio en la red Metro Ethernet y de igual forma se definió el mecanismo de Calidad de Servicio utilizado para su posterior evaluación en este tipo de redes. A continuación se estudiará detenidamente la definición del modelo aproximado de red Metro Ethernet Óptica necesario para la validación de dichos parámetros.

### 3. MODELO APROXIMADO DE RED METRO ETHERNET ÓPTICA

En este capítulo se define un modelo<sup>11</sup> de Red Metro Ethernet Óptica, el cual se utilizará para evaluar la Calidad de Servicio mediante la evaluación de parámetros de desempeño tales como: retardo, jitter y pérdida de trama, en diferentes tipos de aplicaciones como Voz, Videoconferencia y FTP (File Transfer Protocol-Protocolo de Transferencia de Ficheros), aplicaciones de mayor utilización en las redes de Telecomunicaciones en la actualidad [41].

#### 3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO DE RED

Para definir este modelo de red, se tienen en cuenta algunas consideraciones de diseño propias de una red metropolitana Ethernet, presentados a continuación.

##### 3.1.1 Requerimientos de Diseño de una Red Metro Ethernet [42].

Para el diseño de esta red se hace necesario tener en cuenta ciertas características propias de la tecnología usada, que permitan realizar una adecuada planeación del modelo. Entre algunos de los requerimientos se puede mencionar:

- Empleo de tecnología Ethernet en la capa de enlace de la red metropolitana.
- Utilización de Switches Ethernet (Red Ethernet Conmutada) en la implementación de la red.
- Interconexión con fibra óptica de los nodos de la red metropolitana particular.
- Soportar ágilmente gran variedad de servicios de voz, video y datos de las redes actuales y futuras.
- Posibilidad de actualización o reconfiguración, flexibilidad y escalabilidad de la red de forma rápida y fácil.
- Implementación del modelo de Calidad de Servicio mediante uso del estándar IEEE 802.1P/Q.
- Granularidad de ancho de banda definido por las necesidades de los usuarios: transmisiones de video en tiempo real (videoconferencia), transmisiones de datos en tiempo real (red bancaria), transmisiones de voz (VoIP), transmisiones de información no crítica en el tiempo (e-mail).

##### 3.1.2 Planeamiento de la capacidad del Modelo de Red Metro Ethernet [43].

La capacidad de ancho de banda de la red se establece de acuerdo con los tipos de servicio que se implementen en la misma, según la asignación de ancho de banda promedio requerido por cada tipo de servicio para garantizar su óptimo funcionamiento.

##### 3.1.3. Definición del Modelo de Red Metro Ethernet, a nivel físico.

La definición del modelo de Red Metro Ethernet se hace en base a modelos planteados en diferentes documentos que se describen en el anexo A.

El modelo de Red Metro Ethernet, se observa en la Figura 3.1, se compone básicamente de switches Ethernet que operan en el nivel 2 del modelo de referencia OSI. En estos dispositivos se configuran las Redes de Área Local

---

<sup>11</sup> Hace referencia al modelo de red metro Ethernet óptica que se utilizará en la simulación y que en adelante será llamado Modelo de Red y que fue construido con base en una práctica disponible en la herramienta de simulación.

Virtuales VLANs (IEEE 802.1Q) como un mecanismo para aplicar QoS a nivel de enlace, mediante el estándar IEEE 802.1P, que consiste en la clasificación de los diferentes tipos de tráfico y asignación de prioridades [44].

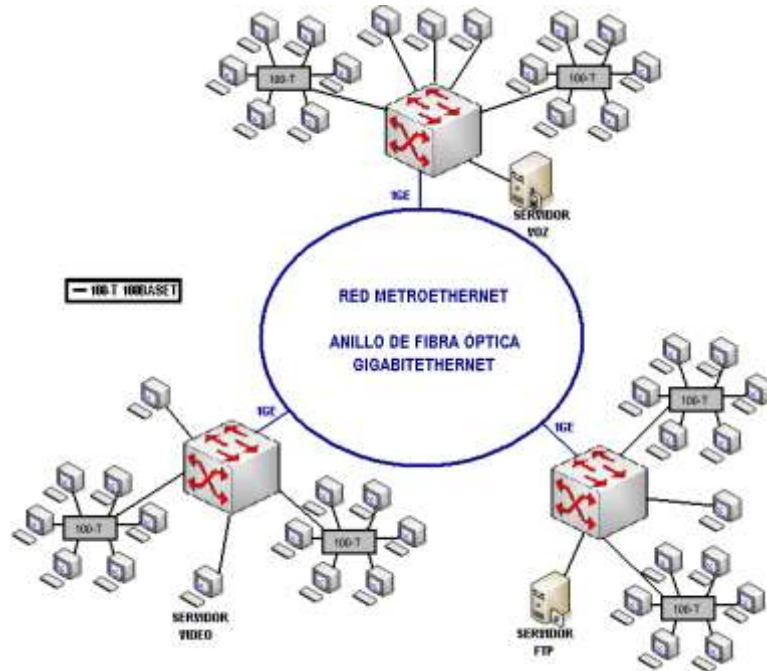


Figura 3.1 Modelo de Red Metro Ethernet

### 3.1.3.1 Componentes de la Red Metro Ethernet Óptica

El modelo de Red Metro Ethernet Óptica Figura 3.1, consiste en un núcleo de red, que provee interconectividad y da soporte a la creación de Redes de Área Local Virtuales (VLANs), que a su vez proporcionan diferentes servicios (Voz, Videoconferencia y FTP) entre los nodos y la periferia de la red, compuesta de varias redes de área local, servidores y estaciones ethernet interconectados entre sí utilizando enlaces Gigabit Ethernet. El núcleo de red se puede descomponer en el nivel físico o de transmisión por fibra óptica y el nivel de enlace.

**El Nivel Físico de la Red** esta soportado por pares de fibras monomodo (enlaces Gigabit Ethernet) entre los nodos, estableciéndose una red Metro Ethernet Óptica con topología en anillo. En el Modelo de Red Metro Ethernet se utilizaran enlaces de 1Gbps entre los nodos (switches) y enlaces 100 BaseT de los nodos a los terminales de los clientes.

Los enlaces Gigabit Ethernet son una tecnología que está siendo altamente implementada por los proveedores de servicios de telecomunicaciones como un servicio de transporte extremo a extremo. Es una tecnología apropiada para Redes de Área Metropolitana. Gigabit Ethernet está definido en los estándares [45]:

- IEEE 802.3z (1000BASE-X) de 1998, que opera a una velocidad de 1000 Mbps sobre Fibra Óptica.
- IEEE 802.3ab (1000BASE-T) de 1999, que opera a una velocidad de 1000 Mbps sobre par trenzado.
- IEEE 802.3ae (10GBASE-X) de 2002, que opera a una velocidad de 10 Gbps sobre Fibra Óptica.

Los enlaces del estándar de 1 Gigabit Ethernet permiten una distancia de 40 kilómetros para su implementación sobre una red Ethernet nativa sin la necesidad de usar repetidores o ninguna otra infraestructura o dispositivos a nivel físico.

Además Gigabit Ethernet ofrece las siguientes ventajas:

- Mayor ancho de banda, permite conexiones de alto desempeño. Capacidad Full-duplex, los datos se transmiten y se reciben simultáneamente y se eliminan los cuellos de botella.
- Escalabilidad, se puede aumentar el ancho de banda y tener velocidades multigigabit.
- QoS, se puede configurar el tráfico de la red. Esta tecnología permite los mecanismos de gestión de tráfico que ofrecen Calidad de Servicio en Ethernet.
- Integración con otros estándares, es totalmente compatible con dispositivos Ethernet y Fast Ethernet y además de fácil integración en redes existentes.
- Soporte para nuevas aplicaciones y tipos de datos, sobre Ethernet es posible enviar tráfico multimedia.
- Bajos costos de adquisición y mantenimiento, implementar Gigabit Ethernet en cable o en fibra óptica ofrece grandes posibilidades de despliegue porque utiliza gran parte de la infraestructura de red existente.

100 BaseT [46] (Fast Ethernet), es un estándar desarrollado por IEEE 802.3 y es totalmente compatible con 10BaseT. En 100BaseT los parámetros de tiempo se incrementan por un factor de diez para alcanzar un incremento de 10 veces la velocidad (100 Mbps). Es una Tecnología económica y de fácil integración con Ethernet.

**El Nivel de Enlace de la Red**, en cuanto a este nivel se cuenta con una infraestructura que proporciona un servicio de VLANs entre los nodos de la red, utilizando switches o conmutadores de nivel 2 por las ventajas que estos dispositivos ofrecen como la flexibilidad y versatilidad, la posibilidad de brindar separación de diferentes tipos de tráfico y la utilización de equipos mucho más económicos, Figura 3.2.

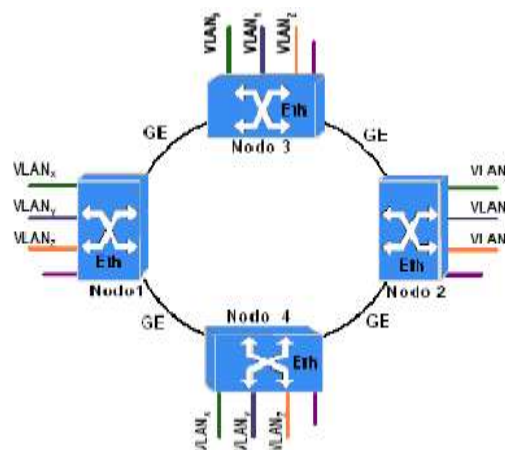


Figura 3.2 Red Lógica a nivel 2 [47]

Las características generales de la red a nivel de enlace se describen a continuación [48]:

- La topología de red usada es en anillo entre los conmutadores Ethernet de cada nodo de la red, a través de los enlaces Gigabit Ethernet. La principal ventaja que presenta una red de anillo es que se trata de una arquitectura muy sólida, confiable y flexible.
- La configuración de enlaces troncales se hace como enlaces inter-switch (“trunk”), con el propósito de que transporten tráfico de todas las VLANs.
- Dentro de los conmutadores Ethernet, cada puerto es configurado como perteneciente a una determinada VLAN o como “troncales”.

Otro elemento que forma parte del nivel lógico de la red, son los Switches Ethernet o Conmutadores de Nivel 2. Estos son dispositivos utilizados para construir redes Ethernet que operan en el nivel 2 del modelo OSI. Su antecesor es el bridge, por ello, muchas veces al switch se le refiere como un bridge multipuerto, pero con un costo más bajo, con mayor rendimiento y mayor densidad por puerto [49]. Mediante la configuración de estos switches se hace posible el soporte de las redes virtuales (VLANs), utilizando el proceso de segmentación para crear dominios de broadcast y formar grupos de trabajo independientes de la ubicación física, o según la clase de tráfico que manejen. Los switches dividen el tráfico en diferentes grupos para proporcionar diferente nivel de Calidad de Servicio, como se observa en la Figura 3.3.

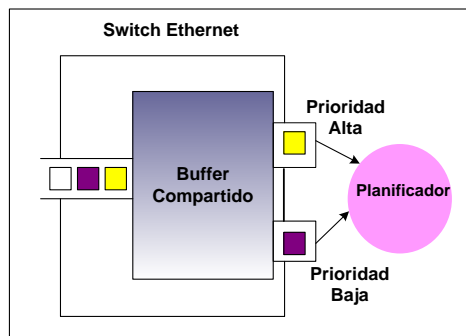


Figura 3.3 Arquitectura de un Switch Ethernet [50]

El switch de nivel 2 almacena las tramas entrantes y determina si las tramas contienen errores comprobando el checksum, si es el caso descarta las tramas. Luego, decide a qué puerto o puertos debe enviarse la trama de acuerdo a la dirección MAC destino contenida en cada trama. En el switch se crean y se mantienen actualizadas las tablas MAC por las tramas recibidas, es decir cuando el switch recibe una trama por uno de los puertos se almacena la dirección MAC de origen en la tabla que pertenece a dicho puerto. Estos, al igual que los bridges, segmentan la red en dominios de colisión, proporcionando un mayor ancho de banda por cada estación.

Algunas ventajas de los conmutadores o switches son:

- Flexibilidad: Principalmente, la posibilidad de ejecutar diversos experimentos en paralelo y la asignación del ancho de banda disponible en fragmentos de 10/100/1000 Mbps.
- Separación: se hace clasificación de tráfico.
- Utilización de equipamiento más barato, tanto los conmutadores Ethernet, como las interfaces de nivel 2 a 100 Mbps para enrutadores, sistemas finales (servidores) o conmutadores Ethernet adicionales.
- Posibilidad de conectar servidores directamente a la infraestructura de nivel 2.

Es importante resaltar que en los switches se realizan funciones orientadas a QoS tales como clasificación, marcación y conformación de tráfico, actividades que mejoran el desempeño en la transferencia de tramas [44]. La clasificación de tráfico, permite establecer grupos de tráfico a los que se les proporciona diferente nivel de Calidad de

Servicio, mediante la clasificación de tramas se puede dividir el tráfico de la red en múltiples niveles de prioridad o clases de servicio [51]. Los marcadores usan los resultados de la clasificación para marcar la trama. Finalmente, los conformadores adecuan la trama para proporcionarle el correspondiente nivel de servicio dentro del switch. La Figura 3.4 muestra el proceso que un switch utiliza para implementar QoS [44].



**Figura 3.4 Clasificación, Marcación y Formación [44]**

Además de las funciones anteriores se establecen otros mecanismos como planificación de colas, control de congestión y evasión de congestión, funciones que son necesarias para asegurar diferenciación de QoS basada en la priorización de los servicios, actividad que se puede realizar mapeando el flujo de Tráfico de servicios con prioridades diferentes en los 3 bits 802.1P de VLAN (IEEE 802.1Q) [51].

El control de congestión es otra de las funcionalidades básicas de este dispositivo; la congestión en una interfaz de salida se origina cuando esta no puede enviar tramas al medio físico tan rápidamente como le llegan procedentes de interfaces de entrada en un switch, es decir se determina el orden en que las tramas son enviadas a través de una interfaz basándose en las prioridades asignadas a las tramas.

El control de congestión involucra la creación de colas, asignación de tramas a dichas colas basándose en la clasificación, y la planificación de tramas en la cola para su transmisión, se encuentran varios algoritmos de gestión de colas entre algunos están SPQ (Strictic Priority Queing-Encolamiento de Prioridad Estricta) y CBWF (Class Based Weighted Fair Queing-Clase basada en Enconlamiento Ponderado). Durante periodos de poco tráfico, cuando no existe congestión, las tramas son enviadas a la interfaz a medida que llegan. Durante periodos de congestión de transmisión en la interfaz de salida, las tramas llegan a una velocidad mayor de la que pueden ser enviadas. Al usar control de congestión, las tramas se acumulan en una interfaz y son encoladas hasta que la interfaz quede libre para enviarlas; luego se programa su retransmisión de acuerdo a su prioridad asignada y al mecanismo de encolamiento configurado en la interfaz [51].

Las técnicas de prevención de congestión monitorean la carga de tráfico en la red y determinan cuando una trama se debe descartar con el fin de evitar la congestión debida a cuellos de botella [52]. En condiciones de congestión las colas de salida se llenan completamente y por tanto estas tramas están sujetas a ser descartadas, entre los mecanismos de prevención de congestión más usados se encuentran RED (Random Early Detection-Detección Temprana Aleatoria), el cual es óptimo para redes de tráfico de alta velocidad. En lugar de Tail Drop<sup>12</sup>, se utiliza WRED (Weighted Random Early Detection- Detección Temprana Aleatoria Ponderada) que puede mejorar el desempeño de la red [51].

Otro aspecto importante a nivel de enlace es la configuración de las VLANs. Una VLAN define un dominio de broadcast o multicast, estas redes agrupan diferentes clases de usuarios y recursos de red como por ejemplo servidores, impresoras, en forma independiente de su conexión física en la red. El objetivo de una VLAN es permitir que usuarios específicos se comuniquen como si estuvieran ubicados en el mismo segmento de red LAN, aun si se

<sup>12</sup> Mecanismo de descarte de paquetes.

encuentran distribuidos en edificios o campus diferentes. La implementación de VLANs puede ayudar a descongestionar la red, y en última instancia mantener los tiempos de respuesta de las aplicaciones dentro de límites tolerables [53].

Algunos de los Beneficios que proporciona la configuración de VLANs son [54]:

- Provee localización de tráfico, esta función también ofrece mejoras en seguridad y desempeño a las estaciones asignadas a la VLAN.
- Las VLANs son soportadas sobre todos los protocolos IEEE 802 LAN MAC, y sobre el medio compartido LANs como LANs punto a punto.
- Las VLANs hacen más fácil la administración de grupos lógicos de estaciones que pueden comunicarse como si estuvieran en la misma LAN.
- Reducen los costos administrativos relacionados con la resolución de los problemas asociados con los traslados, adiciones y cambios.

Existen 3 formas de implementar VLANs [55].

- **VLAN de Puerto Central:** En este tipo de VLAN a todos los nodos conectados a puertos en la misma VLAN se le asigna el mismo identificador de VLAN, se hace una red más eficiente porque los usuarios se asignan por puerto, las VLANs son de fácil administración, se proporciona mayor seguridad entre las VLANs, y los paquetes no se filtran a otros dominios, como se observa en la Figura 3.5.

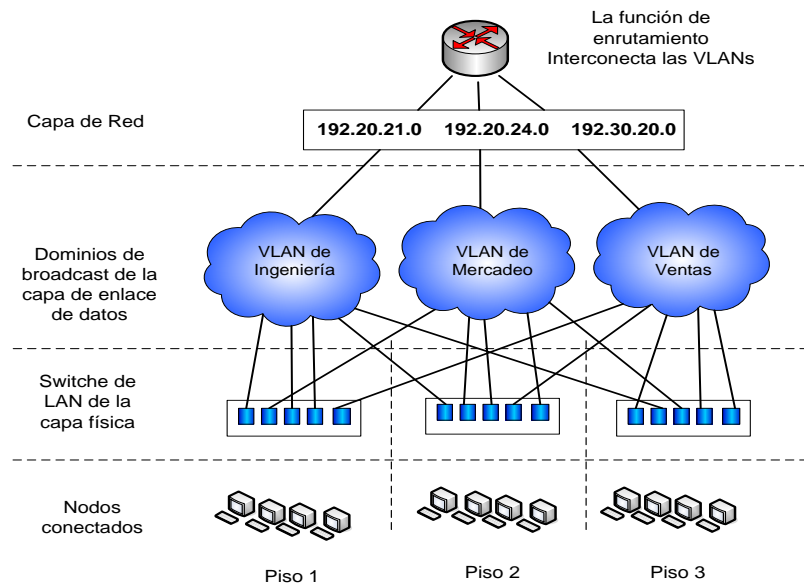


Figura 3.5 VLAN de Puerto Central [56]

- **VLAN Estática:** Las VLANs estáticas son puertos en un switch que se asignan estáticamente a una VLAN, estos puertos mantienen sus configuraciones de VLAN asignadas hasta que se cambian, son asignadas manualmente por el administrador, tiene sentido cuando no hay muchos cambios, este tipo de red es segura, de fácil configuración y monitoreo, Figura 3.6.



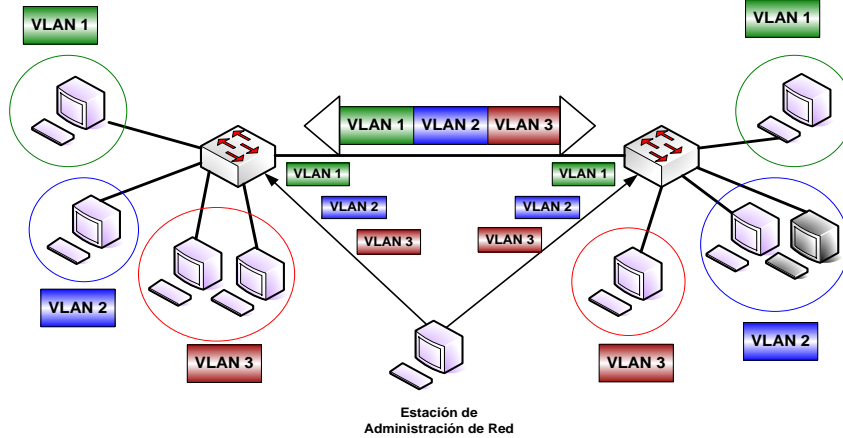


Figura 3.6 VLAN Estática [56]

- **VLAN Dinámica:** Las VLANs dinámicas son puertos del switch que pueden determinar automáticamente sus tareas VLANs, y se basan en direcciones MAC, direccionamiento lógico o tipo de protocolo de los paquetes de datos, al conectar una estación, el switch la asigna a la VLAN correspondiente, es conveniente cuando hay muchos cambios, tiene como desventaja la complejidad, como se muestra en la Figura 3.7.

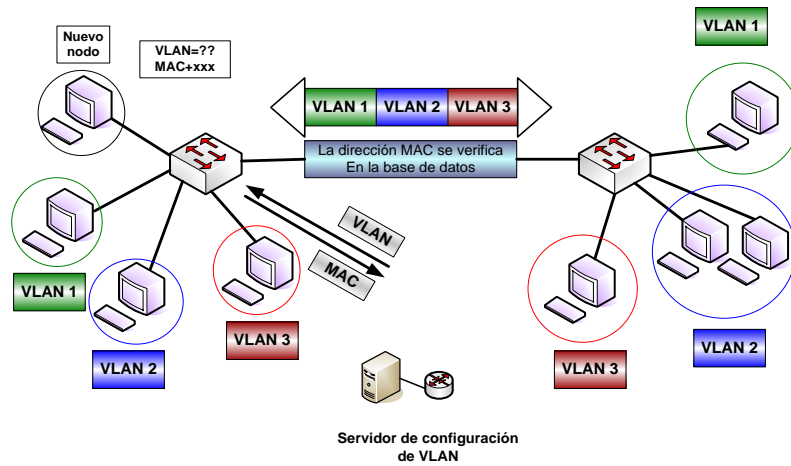


Figura 3.7 VLAN Dinámica [56]

Además se pueden encontrar 2 tipos de enlaces, enlaces de acceso y enlaces troncales.

- **Enlaces de acceso:** El enlace es parte de una sola VLAN, las estaciones no tienen conocimiento de la VLAN, toda la información de VLAN se quita de la trama antes de reenviarla a través de un enlace de acceso.
- **Enlaces troncales (trunk links):** Un enlace troncal transporta tramas de dos o más VLANs, generalmente son enlaces entre switch-switch o router-switch.

Existen diferentes formas de generar una VLAN [57]:

**1. VLAN por Puerto:** Este tipo es el más sencillo ya que un grupo de puertos forma una VLAN, un puerto solo puede pertenecer a una VLAN, este tipo es el utilizado en la red Metro Ethernet Óptica.

**2. VLAN por MAC:** Se basa en las direcciones MAC, por lo que se realiza un mapeo para que el usuario pertenezca a una determinada VLAN. Este tipo de VLAN ofrece mayores ventajas, pero es complejo porque hay que interactuar con las direcciones MAC y si no se cuenta con un software que las administre, será muy laborioso configurar cada una de ellas.

**3. VLAN por subredes de IP o IPX:** Aparte de la división que ejecuta la VLAN por protocolo, existe otra subdivisión dentro de este para que el usuario aunque esté conectado a la VLAN del protocolo IP sea asignado en otra VLAN subred que pertenecerá al grupo 10 o 20 dentro del protocolo.

**4. VLAN definidas por el usuario:** En esta política de VLAN se puede generar un patrón de bits, para cuando llegue la trama. Si los primeros cuatro bits son 1010 se irán a la VLAN de ingeniería, sin importar las características del usuario protocolo, dirección MAC y puerto. Si el usuario manifiesta otro patrón de bits, entonces se trasladará a la VLAN que le corresponda; aquí el usuario define las VLAN.

**5. VLAN Binding:** Se conjugan tres parámetros o criterios para la asignación de VLAN, si el usuario es del puerto x, entonces se le asignará una VLAN correspondiente. También puede ser puerto, protocolo y dirección MAC, pero lo importante es cubrir los tres requisitos previamente establecidos, ya que cuando se cumplen estas tres condiciones se coloca al usuario en la VLAN asignada, pero si alguno de ellos no coincide, entonces se rechaza la entrada o se manda a otra VLAN.

**6. VLAN por DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol-Protocolo de Configuración de Host Dinámico):** Aquí ya no es necesario proporcionar una dirección IP, sino que cuando el usuario enciende el computador automáticamente el DHCP pregunta al servidor para que tome la dirección IP y con base en esta acción asignar al usuario a la VLAN correspondiente. Esta política de VLAN es de las últimas generaciones.

Finalmente gracias al desarrollo del presente capítulo se logró definir claramente el modelo de red que será utilizado en la simulación junto con cada uno de sus componentes. A continuación se presenta el desarrollo de la simulación.

## 4. DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

Dentro del desarrollo de este capítulo se encuentra la metodología utilizada para la implementación de la simulación, así como también la definición de los escenarios y el desarrollo de la simulación, esto mediante una herramienta de simulación de redes previamente seleccionada (ver anexo B), con el fin de validar los parámetros de desempeño determinados en el capítulo 2 sobre el modelo de red Metro Ethernet Óptica ya establecido en el capítulo anterior.

### 4.1 METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

Es importante conocer el tratamiento que se debe dar a un sistema que se desea simular, para esto se requiere de una metodología que proporcione pautas para la obtención de información del sistema, de una forma más eficiente en cuanto a precisión, tiempo y simplicidad, además aporta elementos necesarios para el análisis de la información y para la validación e interpretación de los datos obtenidos al final de la simulación.

El desarrollo de la simulación se hizo con base a la metodología para la simulación de equipos de Telecomunicaciones [58], adaptándola de acuerdo a las necesidades requeridas para la simulación del modelo de red Metro Ethernet Óptica descrito en el capítulo anterior. Cualquier metodología sigue diferentes etapas que permiten simular y modelar un sistema cualquiera; con este fin la Ingeniería del Software recomienda seguir tres fases para el adecuado tratamiento y solución a un problema:

- **Fase de Definición:** Se relaciona con la identificación de la información acerca del problema. Ubicando esta fase dentro del contexto del proyecto se trata de la definición de los parámetros de desempeño, la identificación de las métricas necesarias y la definición del mecanismo de Calidad de Servicio a implementar.
- **Fase de Desarrollo:** Esta fase se relaciona con la identificación del cómo hacerlo, como es el diseño de la estructura y la arquitectura del software necesario. El desarrollo de esta fase se llevó a cabo mediante la definición del modelo de red Metro Ethernet Óptica y la construcción de los respectivos escenarios de simulación.
- **Fase de Mantenimiento:** Esta fase se relaciona con los cambios asociados a la corrección de errores. Dentro del contexto del trabajo realizado, esta fase se vincula con todas las pruebas efectuadas hasta la obtención de la información más importante que es incluida en el documento final.

Además para el cumplimiento de las fases arriba descritas, esta metodología contiene una secuencia de pasos, que se adaptan al contexto del presente trabajo de grado:

**A) Formulación del problema y plan de estudios:** La formulación del problema y definición de objetivos de este proyecto se llevaron a cabo en el desarrollo del anteproyecto.

**B) Recolección y procesamiento de datos:** El proceso de formación de la base conceptual se realizó dentro del desarrollo de los capítulos 1, 2 y 3.

**C) Definición de un modelo conceptual:** De acuerdo al diseño de la simulación, el primer paso es crear un modelo conceptual, en seguida se muestra un esquema general del modelo de Red Metro Ethernet Óptica, Figura 4.1. El modelo de Red Metro Ethernet Óptica que se utilizará en la simulación se define en el capítulo 3, este modelo está

compuesto por tres nodos interconectados por enlaces Gigabit Ethernet, que a nivel de enlace implementan VLANs para proporcionar la Calidad de Servicio en la red.

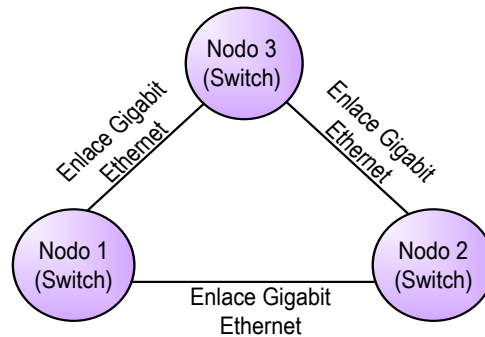


Figura 4. 1 Definición del Modelo Conceptual

**D) Formulación de un modelo de simulación:** Se define completamente el modelo de red a simular<sup>13</sup> como también los parámetros de configuración básicos del sistema general<sup>14</sup>.

**E) Diseño de experimentos:** Definición de tres escenarios de simulación (Escenario 1, Escenario 2 y Escenario 3) requeridos para alcanzar los objetivos planteados con el desarrollo del proyecto, estos escenarios se encuentran más adelante, en las páginas 35, 49 y 63.

**F) Elaboración del programa de computador (implementación de escenarios de simulación):** Configuración de los escenarios de simulación en la herramienta OPNET IT GURU<sup>15</sup> Versión Académica. La configuración realizada en la herramienta se puede observar en el Anexo C. El diseño de la simulación en OPNET IT GURU se observa en la figura 4.2 a través de un diagrama de flujo general.

<sup>13</sup> Este modelo de Red Metro Ethernet Óptica se definió en el Capítulo 3, página 23.

<sup>14</sup> Los parámetros de configuración básicos del sistema general se pueden observar en cada una de las pruebas realizadas como por ejemplo en la Tabla 4.2, página 35, se muestran los parámetros que corresponden a la prueba 1 del Escenario 1.

<sup>15</sup> www.opnet.com

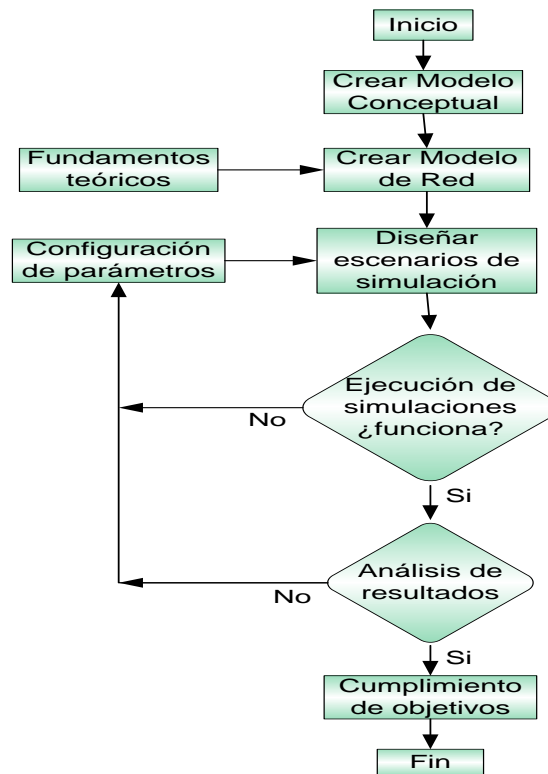


Figura 4. 2 Diseño de la simulación [43]

**G) Evaluación del modelo y de los parámetros estimados:** Análisis de la herramienta de simulación para determinar si es posible la configuración de todos los equipos necesarios y la recolección de la información requerida. Esta actividad se llevó a cabo realizando diferentes pruebas,

**H) Validación del programa (escenarios de simulación):** La realización de una serie de pruebas permitieron comprobar el correcto funcionamiento de la simulación, es decir los resultados obtenidos en las diferentes pruebas fueron comparados con los valores límites ya establecidos, para determinar si se está proporcionando calidad de servicio o no.

**I) Análisis de los datos obtenidos con la simulación:** En esta actividad se realizaron tablas que contienen los resultados y posteriormente el análisis de las pruebas realizadas, estos resultados se muestran mas adelante a partir de la página 37.

**J) Documentación e Implementación de resultados:** El desarrollo de la simulación y las conclusiones acerca de la misma se consignan en el cuarto y quinto capítulo del presente trabajo de grado.

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN Y MEDIDAS TOMADAS EN LA SIMULACIÓN

En la actualidad se encuentran numerosos servicios y aplicaciones disponibles en una red de telecomunicaciones. A menudo uno de los criterios para clasificarlos es su requerimiento temporal. Dando lugar a la aparición de dos tipos de servicios, unos denominados servicios de tiempo real, los cuales tienen unos requisitos temporales muy estrictos, y por otra parte aquellos servicios que no poseen dichos requisitos. Un ejemplo del primer tipo de servicios es la transmisión de voz sobre IP (VoIP) y Vídeo bajo demanda (VoD), mientras que el servicio de correo electrónico y la

transferencia de archivos mediante FTP son un ejemplo del segundo tipo de servicios. Además, la calidad de los servicios de tiempo real es muy sensible a las pérdidas de paquetes, ya que puede dar lugar a cortes en la reproducción de la información [59].

Por estas razones dentro del presente trabajo de grado se estudia el desempeño de la Calidad de Servicio mediante tres aplicaciones que son las de mayor uso en las redes de telecomunicaciones en Colombia<sup>16</sup> en la actualidad, como son la VoIP, la Videoconferencia y FTP [41]. Por medio del estudio del comportamiento de estas aplicaciones será posible evaluar el desempeño de la Calidad de Servicio de la red en general. A continuación se muestran la configuración de los parámetros del tráfico generado en la red, Tabla 4.1.

	APLICACIÓN VoIP	APLICACIÓN VIDEOCONFERENCIA	APLICACIÓN FTP
NÚMERO DE CUADROS		30 Tramas/seg	
TAMAÑO DEL CUADRO		128*250 pixeles	
CODIFICADOR	G.711		
TAMAÑO DE TRAMA			1.522 bytes
TIPO DE SERVICIO	Prioridad 802.1P	Prioridad 802.1P	Prioridad 802.1P
TIPO DE TRÁFICO	Discreto	Discreto	Discreto
RETARDO DE TRAMA	150ms	150ms	Insensible
JITTER DE TRAMA	1ms	1ms	Insensible
PÉRDIDA DE TRAMA	1%-5%	1%-5%	Sensible

Tabla 4.1 Características del tráfico generado en la red [59]

Además de las diferentes aplicaciones seleccionadas, se considera que los parámetros más importantes que afectan el comportamiento de la red, que se tomaran en cuenta y han sido previamente estudiados en el capítulo 2 son:

- Tráfico (VoIP, Videoconferencia, FTP).
- Número de usuarios y número de nodos.
- Tamaño de la red Metro Ethernet (de 15 a 40 Km).
- Ancho de banda de los enlaces (1 Gbps y 100 BaseT).
- Configuración de VLANs.

Estos son los parámetros que serán utilizados en el desarrollo de la simulación para observar el comportamiento de la red en diferentes situaciones y que cumplan con las condiciones de Calidad de Servicio óptimas para una Red Metro Ethernet Óptica.

Como parámetros de medida en todos los escenarios de simulación se estudiarán principalmente los parámetros de desempeño (retardo, Jitter y pérdida de trama) medidas tomadas en las aplicaciones, adicionalmente se tendrán en cuenta algunos otros parámetros que ofrece la herramienta de simulación para Ethernet como son:

- Medidas en el canal Ethernet: tráfico enviado, tráfico recibido y la utilización del canal.
- Medidas de Ethernet: Retardo, Carga y Tráfico enviado.
- Medidas en las VLAN: Tráfico Recibido y Tráfico Enviado, Tráfico Descartado.
- Medidas en los enlaces: Retardo de Encolamiento y Throughput.

<sup>16</sup> Según estudio realizado en Cintel 2007

Estas medidas son de gran importancia puesto que brindan información del funcionamiento de la red a nivel de enlace y la variación observada en estos parámetros será reflejada en las medidas tomadas en las aplicaciones, éstas son necesarias para evaluar el comportamiento de la Calidad de Servicio de la red, comparadas con los límites de Calidad de Servicio establecidos previamente<sup>17</sup>. En la tabla 4.2 se muestra la relación entre los parámetros de configuración y los parámetros de medida del sistema general.

PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN	PARÁMETROS DE MEDIDA	
	PARÁMETROS DE DESEMPEÑO	PARÁMETROS DE ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP. Videoconferencia	Retardo Jitter Pérdida de trama	<b>Medidas a nivel de dispositivos<sup>18</sup></b>
Número de usuarios y número de nodos		Canal Ethernet y medidas de Ethernet
Ancho de banda de los enlaces		Medidas en los enlaces
Prioridades en las VLANs		Medidas en las VLANs

**Tabla 4.2 Parámetros de configuración y parámetros de medida**

Es importante resaltar que de las medidas tomadas a nivel de aplicación se puede obtener la pérdida de trama reemplazando los valores del tráfico enviado y recibido en la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de trama} = [1 - \text{tramas entregadas} / \text{tramas enviadas}] * 100$$

### 4.3 DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN Y DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

En esta sección se lleva a cabo la definición de cada uno de los escenarios de simulación con sus respectivos parámetros de configuración, además se muestran las tablas con los resultados obtenidos y las gráficas más importantes de algunas simulaciones y finalmente se realiza el análisis de resultados.

#### 4.3.1 Simulación Escenario 1

En este escenario se implementan 4 pruebas, en la primera se realiza la simulación del modelo de red sin configuración de Calidad de Servicio, las siguientes 3 pruebas se hacen variando las prioridades entre las diferentes aplicaciones, con el fin de determinar que prioridad se debe asignar a cada una de las aplicaciones, con el fin de proporcionar QoS de la forma más eficiente. En la Figura 4.3 se observa el modelo de red usado en este escenario.

<sup>17</sup> Ver tabla 2.1

<sup>18</sup> Estas medidas fueron tomadas en cada uno de los servidores de la red.

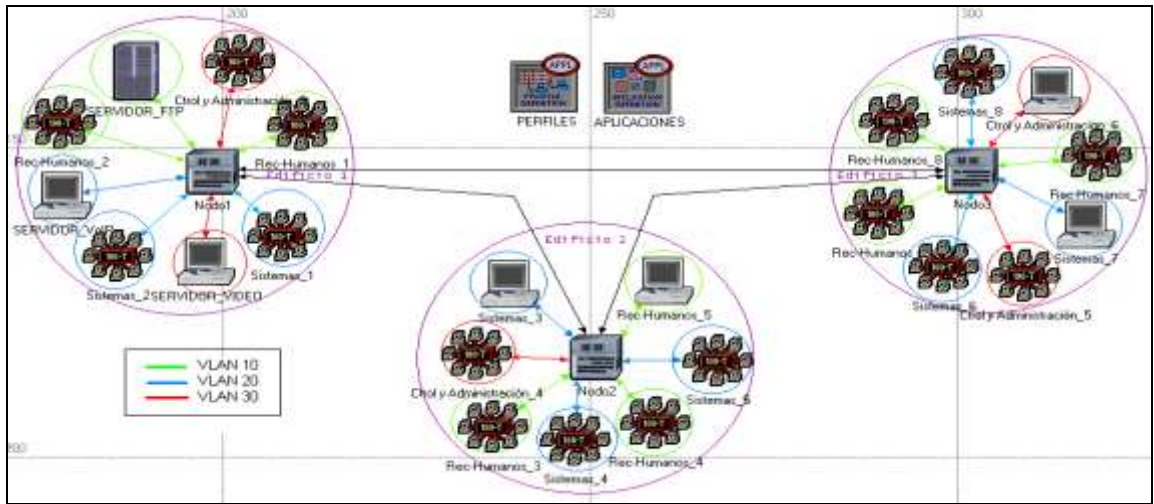


Figura 4. 3 Modelo de red del escenario 1

**4.3.1.1 Prueba 1:** A continuación se muestran los resultados de la simulación realizada sin configurar las VLANs, con el objetivo de observar cual es el comportamiento del tráfico en la red y posteriormente comparar esta información con la obtenida de las simulaciones efectuadas cuando se configura Calidad de Servicio en la red. En la Tabla 4.3 se observa la configuración de los parámetros fijos, variables y de medida definidos para la primera prueba del escenario 1.

PARÁMETROS DE CONFIGURACION		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DESEMPEÑO	ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP,Videoconferencia	Sin Configuración de VLANs	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
350 usuarios y 3 nodos			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
Distancia entre los nodos de la red de 40 km.			Medidas en los enlaces
BW (1 Gbps y 100BaseT)			

Tabla 4.3 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables de la prueba1.

**Desarrollo de la simulación:** A continuación se presentan las tablas de resultados correspondientes a esta prueba y las gráficas obtenidas en la herramienta de simulación.

En la Tabla 4.4 se consigna la información correspondiente a las medidas de los parámetros de desempeño a nivel de aplicación.

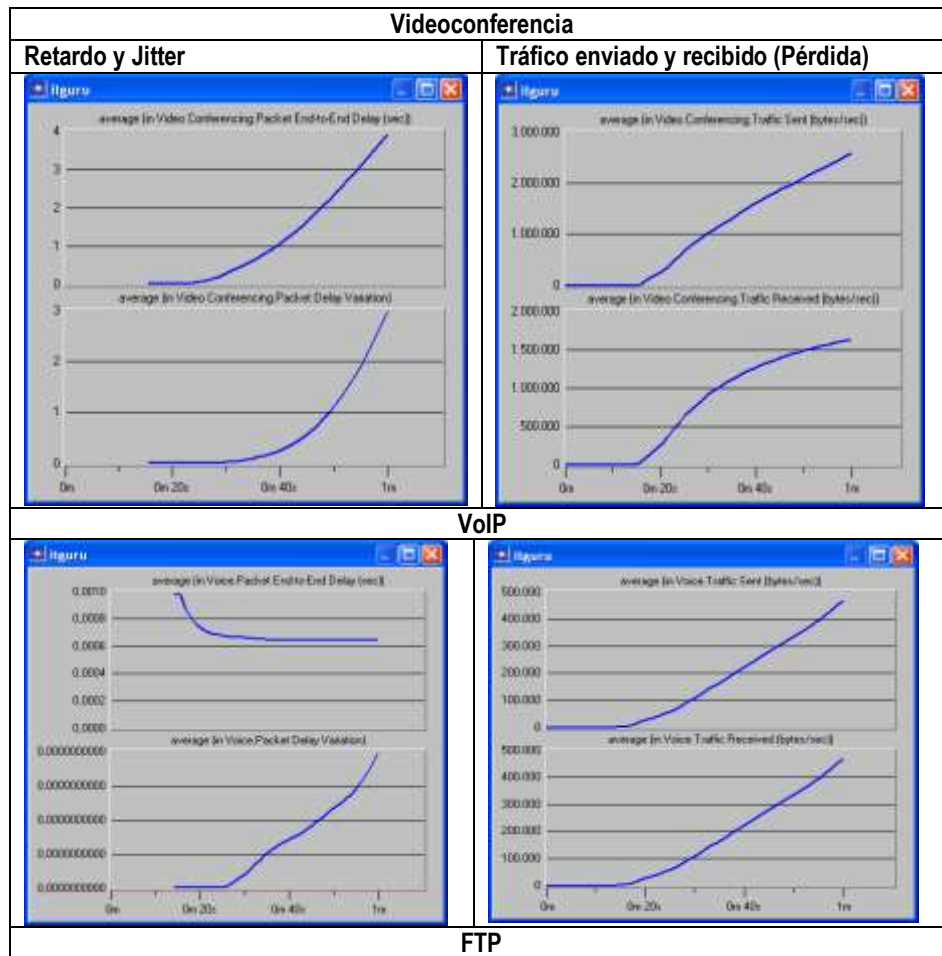
MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO (SIN VLAN)				
Videoconferencia				
<b>Retardo</b> Aumenta hasta llegar a un valor de 4 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor de 3 seg.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 2,500.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 1.600.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El porcentaje de tráfico descartado es 36%.
VoIP				



<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0.00065 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor que tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 480.000 bytes/seg	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 460.000 bytes/seg	<b>Pérdida</b> El porcentaje de tráfico descartado es 4.1%.
<b>FTP</b>				
<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> No hay variación de retardo.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1.700 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 1.650 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El porcentaje de tráfico descartado es 2.9%.

Tabla 4.4 Medidas de los Parámetros de Desempeño Prueba 1, Sin VLANs

Las figuras correspondientes a la Tabla 4.4 se muestran a continuación.



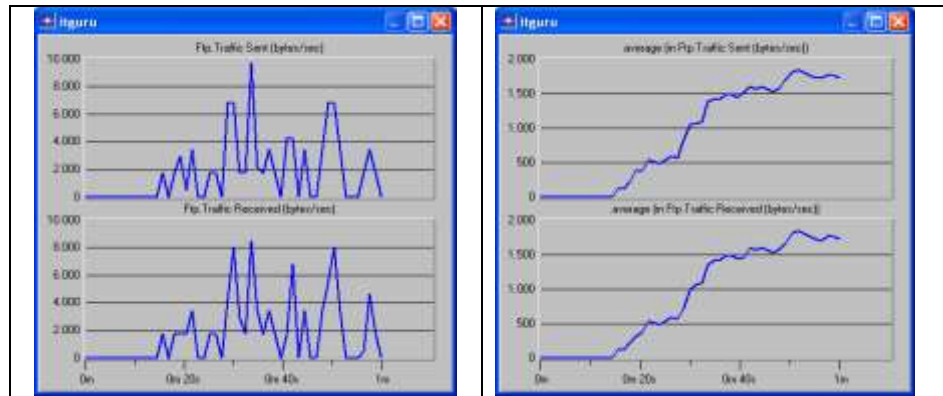


Figura 4. 4 Gráficas a nivel de aplicación, Escenario1-Prueba 1

En contraste con los resultados obtenidos a través de la investigación (Tabla 2.1), de la Tabla 4.4 se puede decir que cuando no se configura Calidad de Servicio (VLANs), los valores de los parámetros de desempeño como retardo y jitter exceden los límites establecidos<sup>19</sup>, debido a que los 3 tipos de tráfico están compitiendo por el acceso al ancho de banda disponible en la red, estos tráfico son atendidos en el orden en que van llegando a las colas, sin tener en cuenta que VoIP y Videoconferencia son aplicaciones sensibles a las variaciones del retardo. Dentro de la simulación de esta prueba esta situación se ve reflejada en el incremento de los valores de los parámetros de desempeño, disminuyendo considerablemente la eficiencia de la red.

En la tabla 4.5 se observan las medidas de Ethernet para la primera prueba y a continuación se muestran sus respectivas gráficas, Figura 4.5.

MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET (SIN VLANs)				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Tráfico Recibido	Utilización Canal Ethernet	Retardo	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
<b>Servidor Videoconferencia:</b> El Tráfico enviado es 11.000.000 bits/seg y el Tráfico recibido es 7.000.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 62.	El retardo alcanza un valor de 3.8 seg.	Tiene una carga de 11.000.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 6.500.000 bits/seg.
<b>Servidor VoIP:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido 900.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 9.	Se tiene un retardo de 0.0006 seg.	Tiene una carga de 600.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 600.000 bits/seg.
<b>Servidor FTP:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido 10.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.01.	Se tiene un retardo de 0.00055 seg.	Tiene una carga de 9.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 8.000 bits/seg.

Tabla 4.5 Medidas de la Tecnología Ethernet, Sin VLANs

MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET (SIN VLANs)	
CANAL ETHERNET	ETHERNET
Tráfico Enviado, Tráfico Recibido y Utilización Canal Ethernet	Retardo, Carga y Tráfico Recibido
<b>Servidor Videoconferencia</b>	

<sup>19</sup> Los valores límites en las aplicaciones de Voz y Videoconferencia, de acuerdo a la recomendación de la ITU-T Rec.G.1010

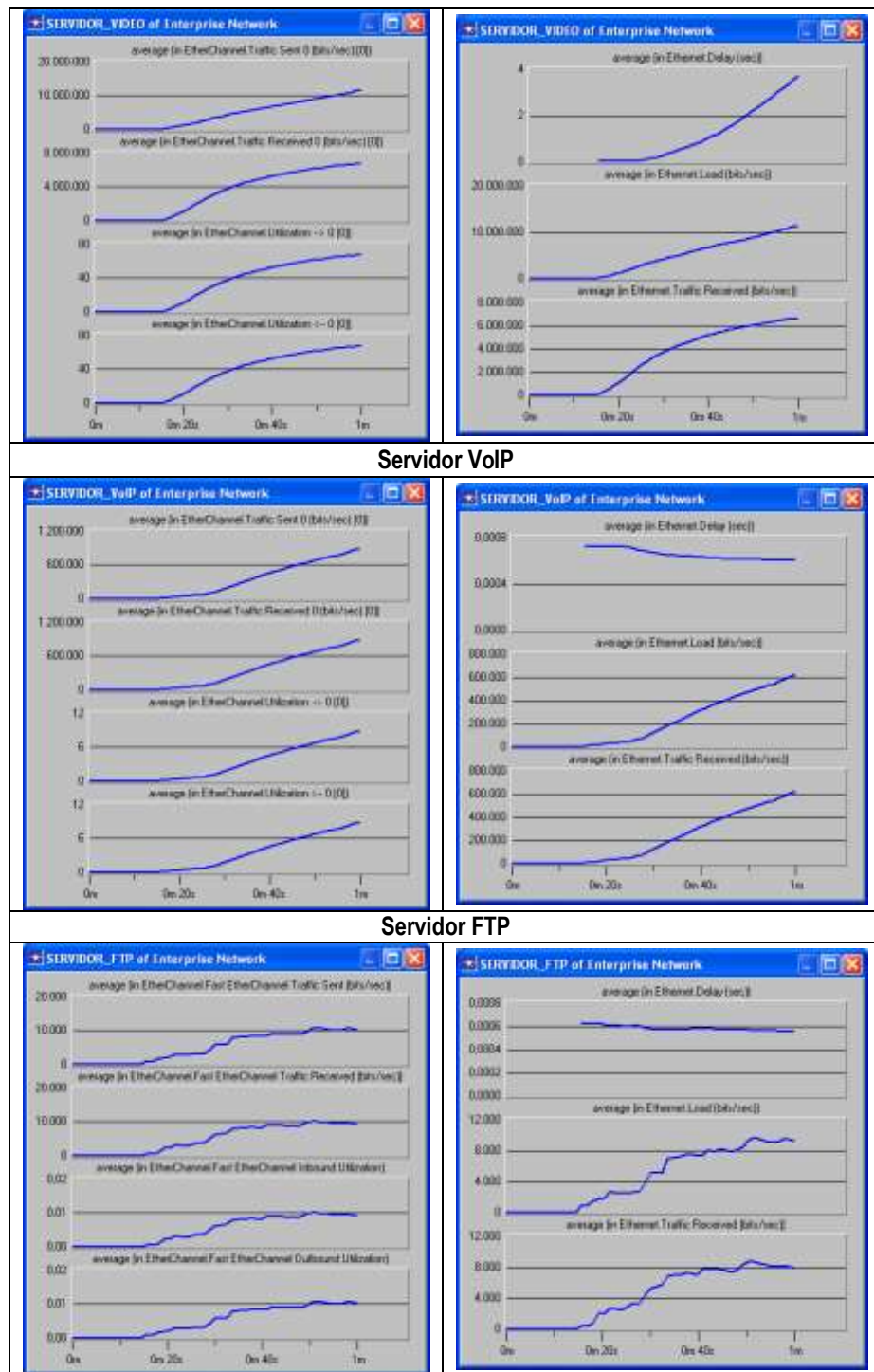


Figura 4. 5 Gráficas de la Tecnología Ethernet, Escenario 1-Prueba 1

En conclusión de las medidas tomadas a nivel de la tecnología Ethernet, se observó que cuando no se hace una configuración de VLANs en la red se presenta un incremento en la utilización y carga de la misma, lo que aumenta el valor de el retardo medido en Ethernet, además se observó que estas medidas de la Tecnología Ethernet, a nivel de enlace inciden en las medidas tomadas en los parámetros de desempeño, en las aplicaciones, puesto que entre

mayor sea el retardo observado en el canal Ethernet, se va a presentar un mayor retardo en las aplicaciones, y por lo tanto en este caso no se hace una prestación de servicios con calidad.

**4.3.1.2 Prueba 2:** En esta prueba se configuran las 3 aplicaciones con las respectivas prioridades, estas prioridades se establecen en los switches, con el fin de determinar cuál de las configuraciones es la que presenta el mejor comportamiento y proporciona el nivel de Calidad de Servicio deseado en la red. La Tabla 4.6 muestra los parámetros configurados y medidos en esta prueba.

PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DESEMPEÑO	ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP, Videoconferencia.	Configuración de Prioridades en las VLANs  -VoIP 250 -Videoconferencia 150 -FTP 100	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
350 usuarios y 4 Nodos			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
Distancia entre los nodos de la red de 40 km.			Medidas en los enlaces
BW (1 Gbps y 100BaseT).			

**Tabla 4.6 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario1-prueba 2.**

**Desarrollo de la simulación:** A continuación se presentan las tablas de resultados correspondientes a la segunda prueba y las gráficas obtenidas en la herramienta de simulación.

En la Tabla 4.7 se muestran los resultados de las medidas de los parámetros de desempeño para la prueba 2.

VoIP (Prioridad 250)				
Retardo	Jitter	Tráfico Enviado	Tráfico Recibido	Pérdida
El retardo llega hasta un valor de 0.0007 seg	Este valor tiende a 0.	Se envía en promedio un tráfico con un valor de 110.000 bytes/seg.	Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 105.000 bytes/seg.	El tráfico descartado es 4.5%
Videoconferencia (Prioridad 150)				
Retardo	Jitter	Tráfico Enviado	Tráfico Recibido	Pérdida
Adquiere un valor de 0.0026 seg.	Alcanza un valor de 0.0000000041 seg.	Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1.000.100 bytes/seg	Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 1.000.000 bytes/seg.	El tráfico descartado es 0.01%
FTP (Prioridad 100)				
Retardo	Jitter	Tráfico Enviado	Tráfico Recibido	Pérdida
No hay retardo.	Por tanto no hay variación de retardo.	Se envía en promedio un tráfico con un valor de 180 bytes/seg.	Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 178 bytes/seg.	El tráfico descartado es 0.0001%

**Tabla 4.7 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 1-Prueba 2.**

A continuación se presentan las gráficas relacionadas con los valores mostrados en la anterior tabla.

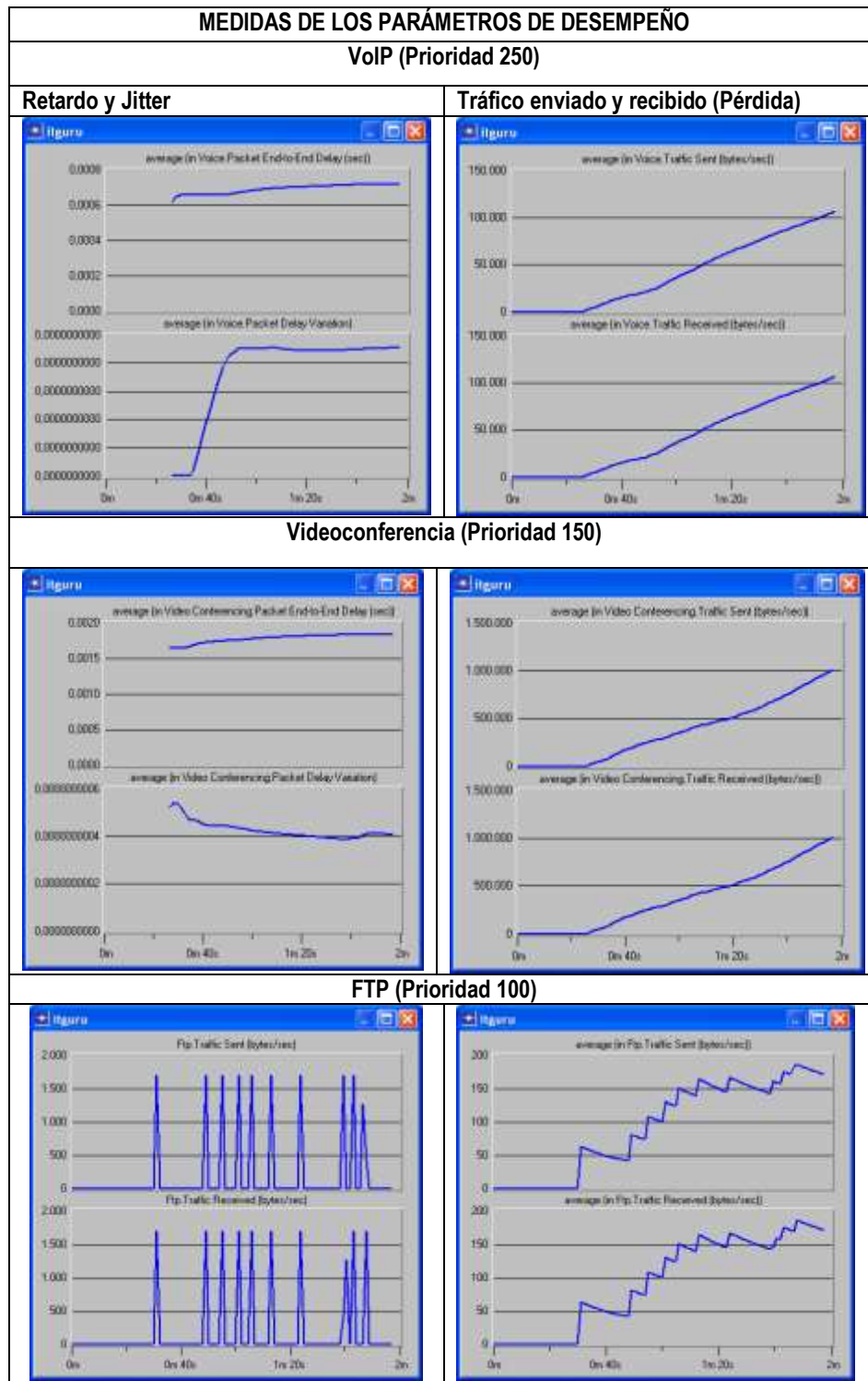


Figura 4. 6 Gráficas a nivel de aplicación, Escenario 1-Prueba 2

En la Tabla 4.7 y sus respectivas gráficas es posible observar que el comportamiento de los parámetros de desempeño es el más eficiente puesto que se presenta el menor número de pérdidas y bajos valores en cuanto a

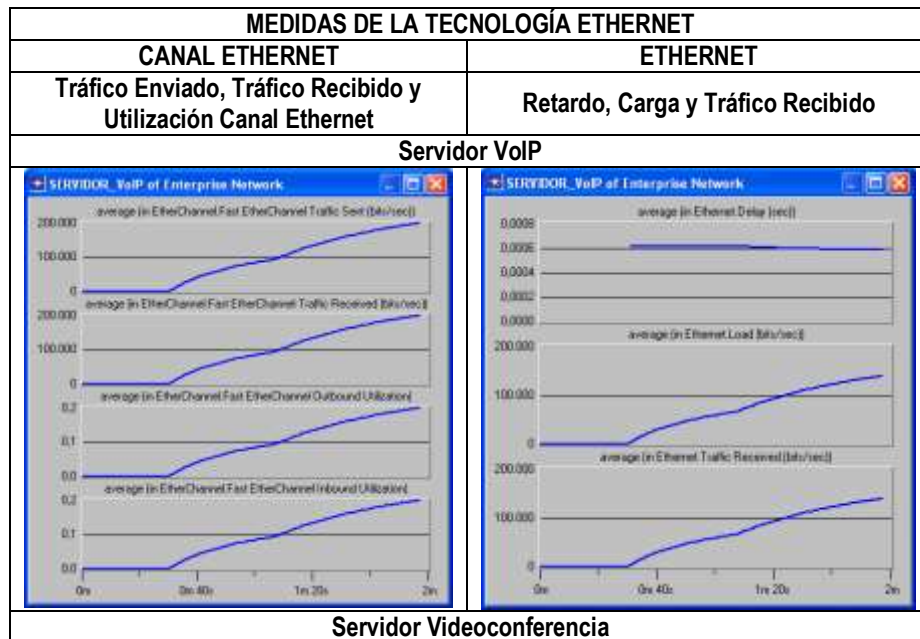
retardo y Jitter, esto debido a que el tráfico que circula por la red se agrupa en diferentes clases de servicio para darles un tratamiento especial según la prioridad asignada, asegurando que las aplicaciones más sensibles al retardo sean atendidas lo más pronto posible, lo que permite asegurar que la red trabaja con Calidad de servicio.

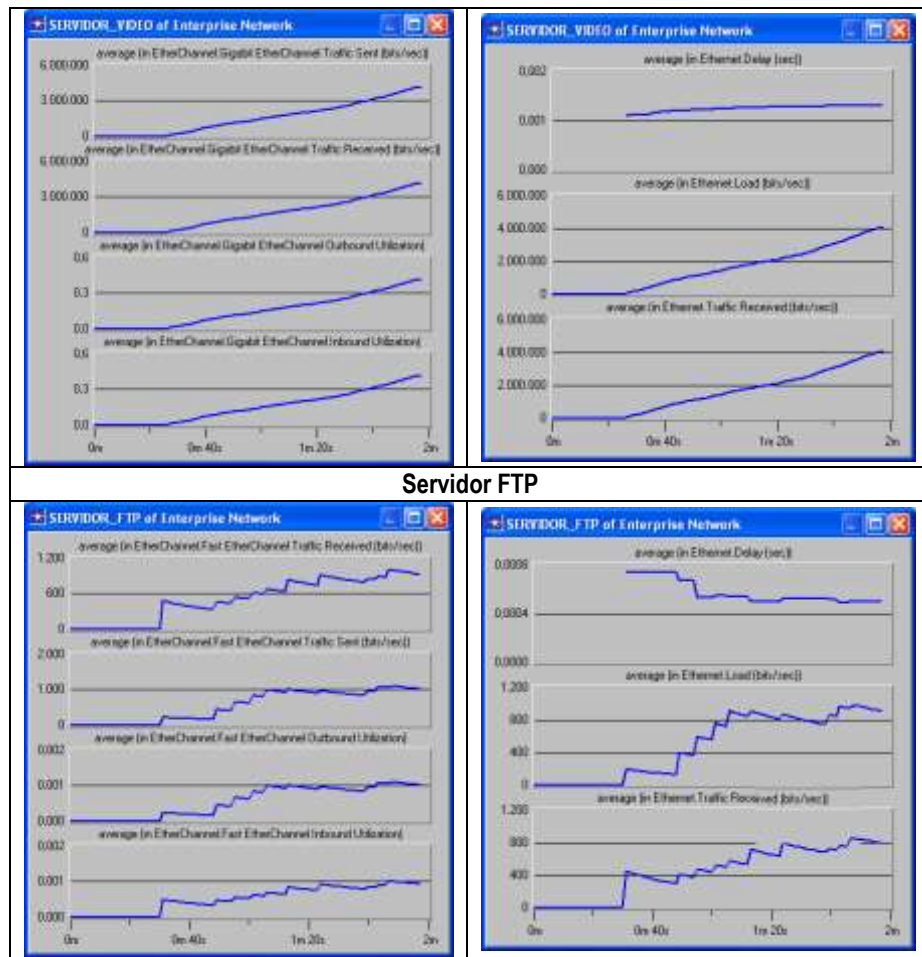
En la tabla 4.8 se observan las medidas de Ethernet para la prueba 2.

MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET (CON VLANs)				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Tráfico Recibido	Utilización	Retardo	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
<b>Servidor VoIP:</b> El Tráfico enviado y el Tráfico recibido son iguales, 200.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.2.	Se tiene un retardo de 0.0006 seg.	Tiene una carga de 145.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 145.000 bits/seg
<b>Servidor Videoconferencia:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido, 4.100.000 bits/seg.	Con una utilización de 0.4.	Adquiere un valor de 0.0013 seg.	La carga tiene un valor de 4.000.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 4.400.000 bits/seg
<b>Servidor FTP:</b> El Tráfico enviado es 1.000 bits/seg y el Tráfico recibido es 1.000 bits/seg.	La utilización es de 0.001.	Tiene un valor de 0.0005 seg.	La carga tiene un valor de 900 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 800 bits/seg

Tabla 4.8 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 1-Prueba 2

En la Figura 4.7 se muestran las gráficas de la tecnología Ethernet mostradas en la tabla anterior.





**Figura 4.7 Gráficas de la tecnología Ethernet, Escenario 1-Prueba 2**

En la Tabla 4.7 y sus respectivas gráficas es posible observar que el comportamiento de los parámetros de desempeño es el más eficiente puesto que se presenta el menor número de pérdidas y bajos valores en cuanto a retardo y Jitter, esto debido a que el tráfico que circula por la red se agrupa en diferentes clases de servicio para darles un tratamiento especial según la prioridad asignada, asegurando que las aplicaciones más sensibles al retardo sean atendidas lo más pronto posible, lo que permite asegurar que la red trabaja con Calidad de servicio.

A continuación se muestran las medidas obtenidas en las VLANs, seguidas de las gráficas correspondientes a la información vista en la Tabla 4.9.

MEDIDAS EN LAS VLANs					
VLAN 10		VLAN 20		VLAN30	
Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)
El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 400 bits/seg.	El Tráfico descartado es 50 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 1.700.000 bits/seg.	El Tráfico descartado es 50 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2.000.000 bits/seg.	El Tráfico descartado es 70 bits/seg.

Tabla 4.9 Medidas en las VLANs, Escenario 1-Prueba 2

En la Figura 4.8 se muestran los resultados obtenidos con la herramienta de simulación para la prueba 2.



Figura 4. 8 Medidas en las VLANs, Escenario 1-Prueba 2

En conclusión de los resultados obtenidos a nivel de VLANs se observó un mejor comportamiento de la red cuando se realiza esta configuración, puesto que el tráfico crítico es atendido tan pronto como llega al switch. Adicionalmente se puede observar que los el mejor comportamiento de red se produce cuando la configuración de prioridades hace la asignación de la mayor prioridad a VoIP, porque en este caso hay una mayor proporción de tráfico enviado y recibido en la red y por lo tanto se disminuye el tráfico descartado. De esta manera se comprobó que cuando se configuran las VLAN como un mecanismo de prestación de Calidad de Servicio, se hace una mejor utilización del ancho de banda disponible en la red.

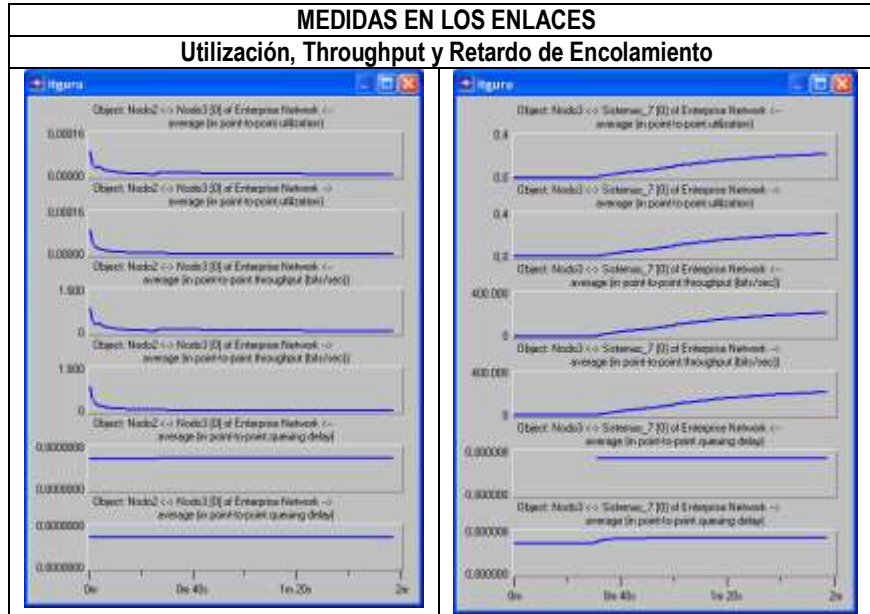
MEDIDAS EN LOS ENLACES		
Utilización	Throughput (bits/seg)	Retardo de Encolamiento (seg)
<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.000001.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput que tiende a 0.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento que inicia en 0.0000006.



<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene una utilización que alcanza un valor de 0.2.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un Throughput que alcanza un valor de 200.000.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.000006 seg.
--	--	---

**Tabla 4.10 Medidas en los Enlaces, Escenario 1-Prueba 2.**

En la figura 4.9 se presenta las gráficas correspondientes a las medidas tomadas en los enlaces.



**Figura 4. 9 Gráficas de las medidas en los Enlaces, Escenario 1-Prueba 2**

Después de estudiar el comportamiento de la red mediante la observación de las medidas tomadas a nivel de enlace para el primer escenario se concluye que el mejor comportamiento se presenta en la segunda de las pruebas, incrementando el desempeño de la red. En este caso se observó que el retardo de encolamiento toma un valor muy pequeño por lo tanto el tráfico en los conmutadores va a ser atendido en forma rápida, esto debido a que el tráfico es atendido de forma eficiente y no se presenta la formación de muchas colas ni retardo de encolamiento.

**4.3.1.3 Prueba 3:** En esta prueba se configura Videoconferencia con la mayor prioridad, la asignación de los parámetros fijos y variables y los parámetros de medida se muestran en la Tabla 4.11.

PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DESEMPEÑO	ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP, Videoconferencia	Configuración de Prioridades en las VLANs	Retardo de Jitter	Medidas en las VLANs
350 usuarios y 4 Nodos	- Videoconferencia 250	Pérdida de trama	Canal Ethernet y medidas de Ethernet
Distancia entre los nodos de la red de 40 km.	- VoIP 150		Medidas en los enlaces
BW (1 Gbps y 100BaseT)	- FTP 100		

**Tabla 4.11 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario1-Prueba 3**

**Desarrollo de la simulación:** A continuación se presentan las tablas de resultados correspondientes a la tercera prueba, las gráficas obtenidas en la herramienta de simulación se pueden observar en el Anexo D.

En las Tablas 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 se muestran los valores de las medidas tomadas de los parámetros de desempeño, de la tecnología Ethernet, medidas en las VLANs y medidas en los enlaces respectivamente que corresponden a la prueba 3.

MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO				
Videoconferencia (Prioridad 250)				
<b>Retardo</b> El retardo alcanza un valor de 0.0018 seg.	<b>Jitter</b> Adquiere un valor de 0.0000000004 seg.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1,000.095 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 1,000.005 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El tráfico descartado es 0.009%.
VoIP (Prioridad 150)				
<b>Retardo</b> El retardo tiene un valor de 0.00072 seg.	<b>Jitter</b> Este valor tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 105.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 103.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El tráfico descartado es 1.9%.
FTP (Prioridad 100)				
<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> Por tanto no hay variación de retardo.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 170 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 170 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> No hay pérdida.

Tabla 4.12 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 1-Prueba 3

MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Tráfico Recibido	Utilización	Retardo	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
<b>Servidor Videoconferencia:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido, 4.000.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.38.	Tiene un valor de 0.0013 seg.	Tiene una carga de 4.000.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 4.000.000 bits/seg.
<b>Servidor VoIP:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido, 220.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.2.	Se tiene un retardo de 0.0006 seg.	Tiene una carga de 140.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 140.000 bits/seg.
<b>Servidor FTP:</b> El Tráfico enviado es 1.000 bits/seg y el Tráfico recibido es 900 bits/seg.	Con una utilización de 0.001.	Se tiene un retardo de 0.00048 seg.	Tiene una carga de 900 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 800 bits/seg.

Tabla 4.13 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario1-Prueba 3.

MEDIDAS EN LAS VLANs						
VLAN 10			VLAN 20		VLAN30	
Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)		Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)

El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 400 bits/seg.	El tráfico descartado es 50 bits/seg. .	Estos 2 tráficos son iguales, 1.800.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 60 bits/seg.	Estos 2 tráficos son iguales, 2.000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 50 bits/seg.
---	---	---	---------------------------------------	---	---------------------------------------

**Tabla 4.14 Medidas en las VLANs, Escenario1-Prueba 3**

MEDIDAS EN LOS ENLACES		
Utilización	Throughput(bits/seg)	Retardo de Encolamiento (seg)
<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.000001.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput que tiende a 0.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000006 seg.
<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene una utilización de 0.2.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un Throughput de 200.000 bits/seg.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000006 seg.
<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene una utilización que inicia en 0.00008 y finaliza en 0.000001.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un Throughput que inicia en 800 y llega a 0.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.000007 seg.

**Tabla 4.15 Medidas en los Enlaces, Escenario 1-Prueba 3.**

Según las Tablas 4.12 – 4.15 se determina que configuración de VLANs en la red, incrementa la eficiencia de la misma, pero en este caso de configuración de prioridades, a pesar de que se está proporcionando Calidad de Servicio, se observa un mejor comportamiento en la prueba anterior, ya que el tráfico de VoIP es el que se ve más afectado por lo retardos introducidos en la red .

**4.3.1.4 Prueba 4:** En esta prueba se configura FTP con la mayor prioridad, la asignación de los parámetros fijos y variables y los parámetros de medida se muestran en la Tabla 4.16.

PARÁMETROS DE CONFIGURACION		PARÁMETROS DE MEDIDA	
PARÁMETROS FIJOS	PARÁMETROS VARIABLES	PARÁMETROS DE DESEMPEÑO	PARÁMETROS DE ETHERNET
Aplicaciones: FTP, VoIP, Videoconferencia	Configuración de Prioridades en las VLANs  - FTP 250 - VoIP 150 - Videoconferencia 100	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
4 Nodos y 350 usuarios			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
Tamaño de la red 40 Km.			
BW (1 Gbps y 100BaseT)			Medidas en los enlaces

**Tabla 4.16 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 1-Prueba 4**

**Desarrollo de la simulación:** A continuación se presentan las tablas de resultados correspondientes a la tercera prueba, las gráficas obtenidas en la herramienta de simulación se puede observar en el Anexo D.

En las Tablas 4.17, 4.18, 4.19 y 4.20 se muestran los valores de las medidas tomadas de los parámetros de desempeño, de la tecnología Ethernet, medidas en las VLANs y medidas en los enlaces respectivamente que corresponden a la prueba 4.

MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO				
<b>FTP (Prioridad 250)</b>				
<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> Por tanto no hay variación de retardo.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 175 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 175 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> No hay tráfico descartado.
<b>VoIP (Prioridad 150)</b>				
<b>Retardo</b> Llega hasta un valor de 0.0016 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor que tiende a 0..	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 110.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 108.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El porcentaje de tráfico descartado es de 1.8%.
<b>Videoconferencia (Prioridad 100)</b>				
<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0.0018 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor de 0.0000000004 seg.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1.000.020 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 1.000.010 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El porcentaje de tráfico descartado es de 0.01%.

Tabla 4.17 Medidas de los Parámetros de Desempeño Escenario 1-Prueba 4

MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Tráfico Recibido	Utilización	Retardo	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
<b>Servidor FTP:</b> El Tráfico enviado es 1.000 bits/seg y el Tráfico recibido es 900 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.001.	El retardo tiene un valor de 0.0005 seg.	La carga tiene un valor de 900 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 800 bits/seg
<b>Servidor VoIP:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido, 200.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.2.	El retardo tiene un valor de 0.0006 seg.	La carga tiene un valor de 130.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 130.000 bits/seg
<b>Servidor Videoconferencia:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido 4.200.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.45.	El retardo tiene un valor de 0.0013 seg.	La carga tiene un valor de 4.000.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 4.000.000 bits/seg

Tabla 4.18 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 1-Prueba 4.

MEDIDAS EN LAS VLANs					
VLAN 10		VLAN 20		VLAN30	
Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Tráfico Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)

El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 400 bits/seg.	El tráfico descartado es 70 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 1.700.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 60 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2.000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 50 bits/seg.
---	---------------------------------------	---	---------------------------------------	---	---------------------------------------

**Tabla 4.19 Medidas en las VLANs, Escenario 1-Prueba 4**

MEDIDAS EN LOS ENLACES		
Utilización	Throughput (bits/seg)	Retardo de Encolamiento (seg)
<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.000001.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput de 0.1 bits/seg.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000007 seg.
<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene una utilización de 0.2.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un Throughput de 200.000 bits/seg.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.000007 seg.

**Tabla 4.20 Medidas en los Enlaces, Escenario 1-Prueba 4**

En conclusión de la observación realizada dentro de las pruebas del escenario 1 se puede decir que:

- El comportamiento de los parámetros de desempeño cuando se implementan las VLANs en la red es mucho más eficiente en comparación al desempeño de la misma sin la configuración de este mecanismo de Calidad de Servicio, esto debido a que la priorización de tráfico que hace la asignación de de la etiqueta IEEE802.1Q hace que los flujos de tráfico más sensibles al retardo sean atendidos más rápido.
- Se verificó que el funcionamiento de los parámetros de desempeño es el más eficiente cuando se configura el mecanismo de Calidad de Servicio mediante VLANs puesto que se presenta el menor número de pérdidas y bajos valores en cuanto a retardo y Jitter, esto debido a que el tráfico que circula por la red se agrupa en diferentes clases de servicio para darles un tratamiento especial según la prioridad asignada, asegurando que las aplicaciones más sensibles al retardo sean atendidas lo más pronto posible, lo que permite asegurar que la red trabaja con Calidad de servicio.
- Una configuración de la priorización de los flujos conforme a lo establecido en la tabla de prioridades del estándar IEEE802.1P/Q, es la que proporciona el mejor desempeño de la red; donde la mayor de las prioridades es asignada a la aplicación de VoIP por ser más sensible al retardo y a la variación del retardo.
- Al configurar la aplicación de FTP con la mayor de las prioridades el comportamiento de la red presenta las condiciones más desfavorables en comparación con las otras alternativas.

Finalmente gracias al desarrollo de este primer escenario se determinó que la asignación de prioridades más adecuada según el tipo de aplicación es VoIP, Videoconferencia y FTP, puesto que es en este caso donde se pueden observar que los valores de los parámetros de desempeño son los mas bajos y por esta razón esta es la configuración que será usada en las demás pruebas realizadas en la simulación.

### 4.3.2 Simulación Escenario 2

En este escenario se realizan 5 pruebas, con el propósito de estudiar cual es el comportamiento del desempeño de la red cuando se hace un incremento en el número de usuarios y de nodos en la misma, a través de la observación del comportamiento de los parámetros de desempeño y de algunas medidas propias de la tecnología Ethernet. En la Figura 4.10 se observa el modelo de red utilizado en este escenario.

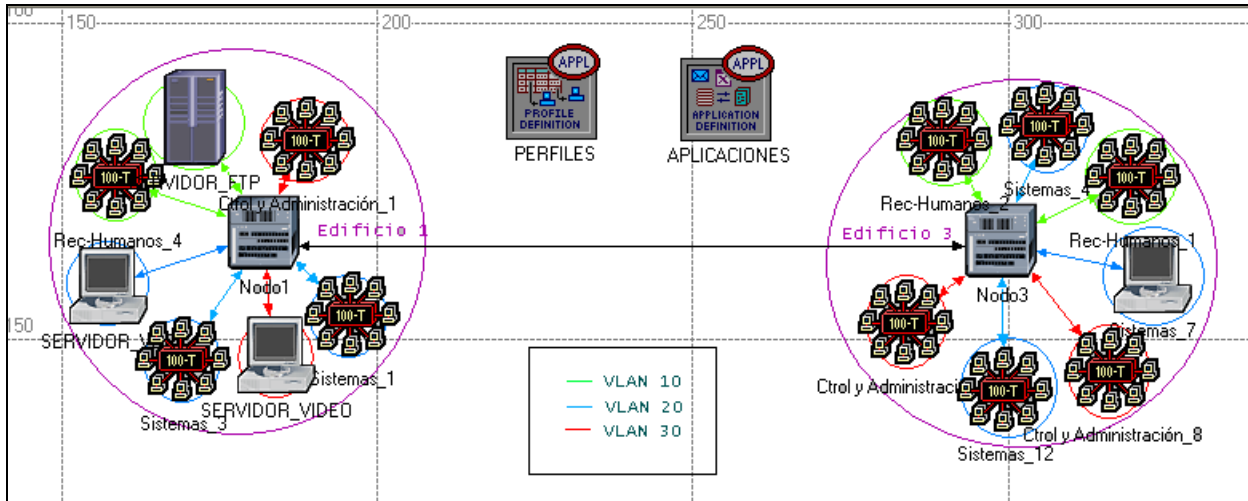


Figura 4. 10 Modelo de red del escenario 2

**4.3.2.1 Prueba 1:** El análisis de esta prueba se realiza con un tamaño de red máximo, en donde se tienen como parámetros variables el número de usuarios y el número de nodos, se varían estos parámetros con el fin de observar cual es el comportamiento de los parámetros de desempeño. En la Tabla 4.21 se observa la configuración de los parámetros fijos, variables y de medida definidos para la primera prueba del escenario 2.

PARÁMETROS DE CONFIGURACION		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DESEMPEÑO	ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP, Videoconferencia	3 nodos y 533 usuarios	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
Configuración de VLANs			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
Distancia entre los nodos 40 Km.			Medidas en los enlaces
BW (1 Gbps y 100BaseT)			

Tabla 4.21 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 2-Prueba1.

**Desarrollo de la simulación:** En esta sección se presentan las tablas de los resultados, las gráficas y las conclusiones de las pruebas realizadas en la prueba 1.

En la Tabla 4.22 se observan los resultados obtenidos de las medidas de los parámetros de desempeño en cada una de las aplicaciones.

MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO (3NODOS Y 533 USUARIOS)				
VoIP				
<b>Retardo:</b> Tiene un valor de 0.0005 seg.	<b>Jitter:</b> Tiene un valor que tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 110.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 108.700 bytes/seg.	<b>Pérdida:</b> Se observa un porcentaje de tráfico descartado 1.1%.
Videoconferencia				
<b>Retardo:</b> El retardo llega hasta un valor de 0.0017 seg.	<b>Jitter:</b> Adquiere un valor de 0.0000000 0038 seg.	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1,000.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 995.000 bytes/seg.	<b>Pérdida:</b> Hay un porcentaje de Tráfico descartado 0.5%
FTP				
<b>Retardo:</b> No hay retardo.	<b>Jitter:</b> Por tanto no hay variación de retardo.	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 170 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 170 bytes/seg.	<b>Pérdida:</b> No hay pérdida 0%.

Tabla 4.22 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 2-Prueba 1

A continuación en las Figuras 4.11 se muestran las gráficas correspondientes a esta prueba.



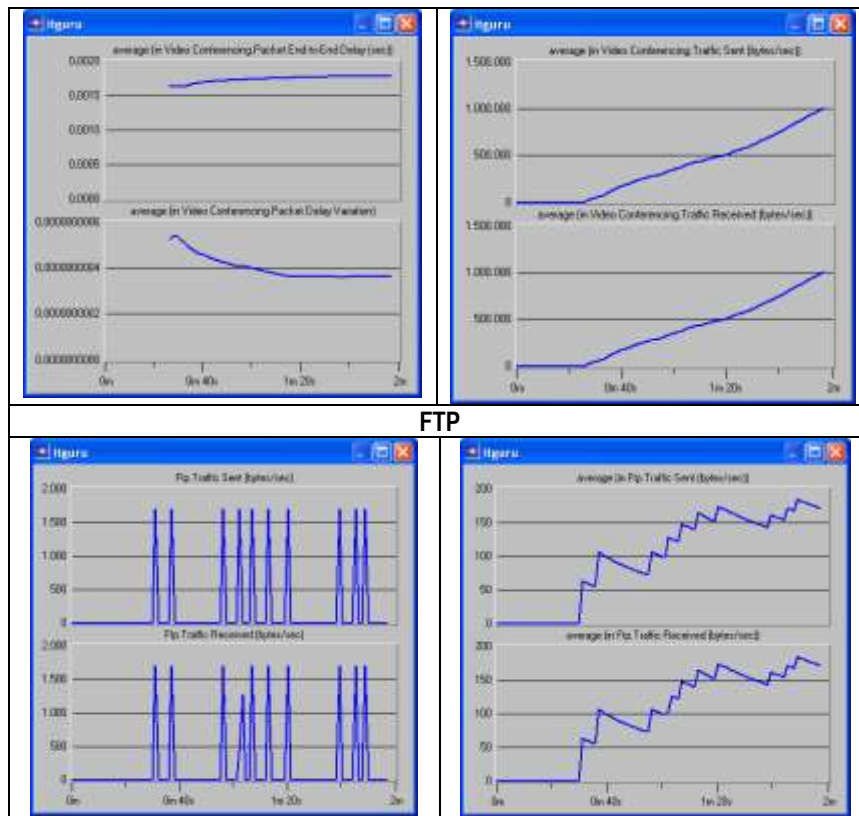


Figura 4. 11 Gráficas de las aplicación, Escenario 2-Prueba 1

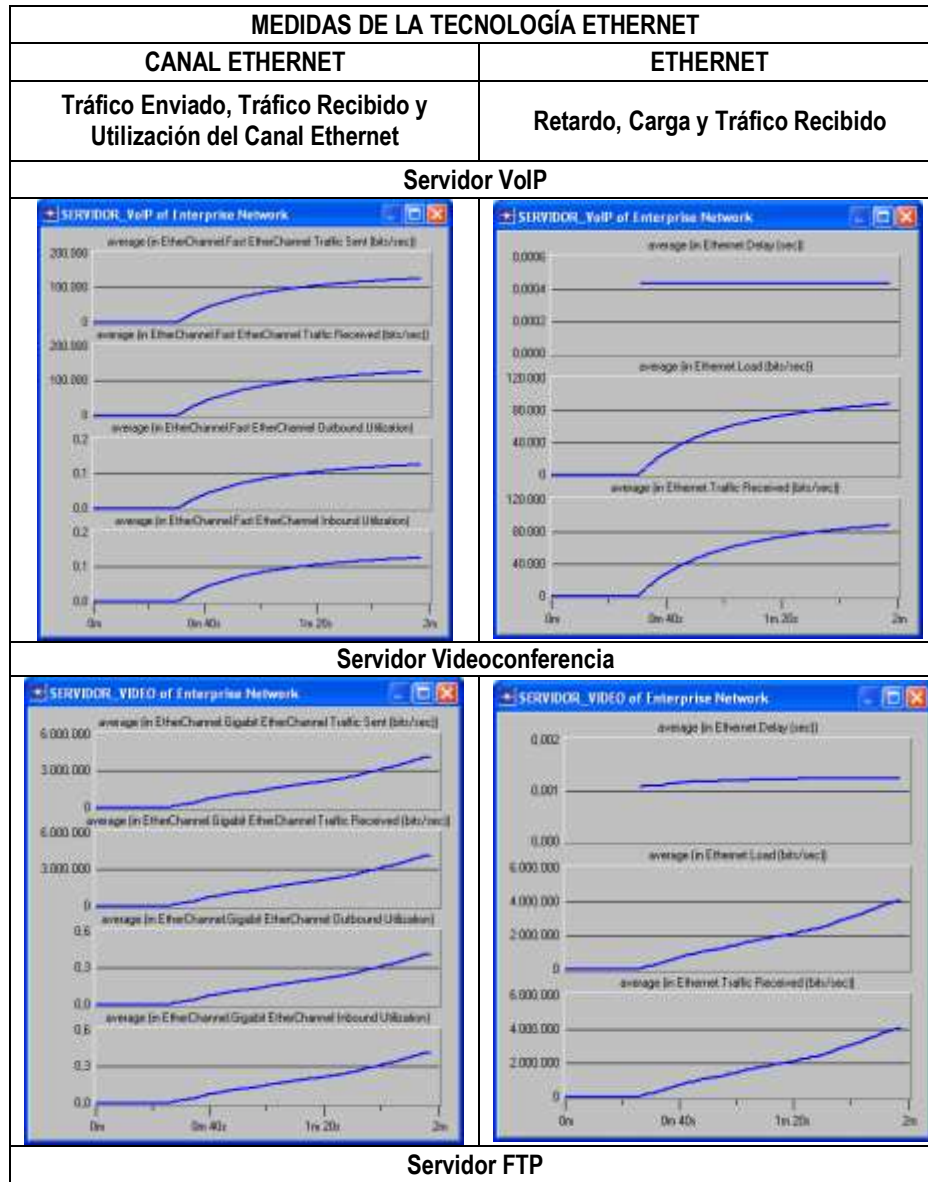
En la Tabla 4.23 se observan las medidas tomadas de la Tecnología Ethernet, en cada uno de los servidores de las aplicaciones.

MEDIDAS DE ETHERNET				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Tráfico Recibido	Utilización	Retardo	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
<b>Servidor VoIP:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido y su valor es de 130.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.12.	Se tiene un retardo de 0.00042 seg.	Tiene una carga de 85.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 85.000 bits/seg
<b>Servidor Videoconferencia:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido 4,100.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.4.	Se tiene un retardo de 0.0013 seg.	Tiene una carga de 4,000.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 4,000.000 bits/seg
<b>Servidor FTP:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido 1.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.0009.	El retardo tiene un valor de 0.00042 seg.	Tiene una carga de 800 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 1.000 bits/seg.

Tabla 4.23 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 2-Prueba 1

En la Figura 4.12 se puede observar las gráficas relacionadas con esta prueba.





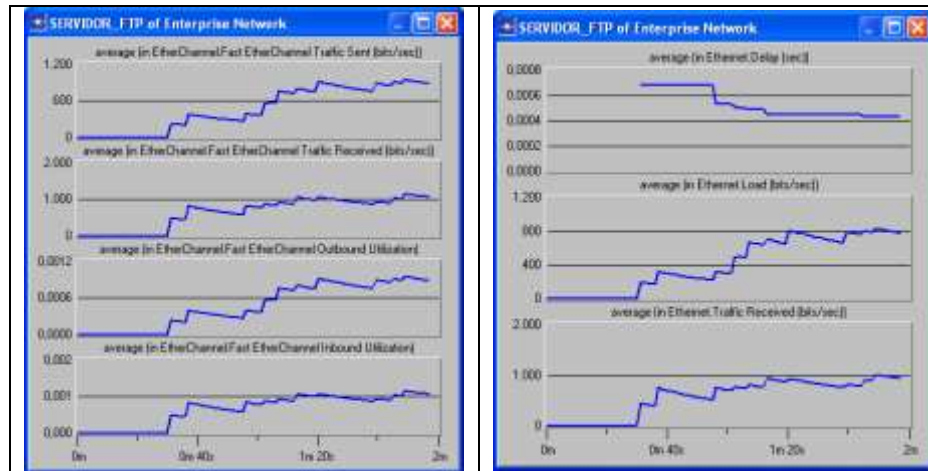


Figura 4. 12 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 2-Prueba 1

Según las Figuras 4.12 y la Tabla 4.23 en las medidas tomadas a nivel de la tecnología Ethernet se pueden observar los parámetros que miden la eficiencia de la red; la utilización, carga de red y el retardo. Se muestra que para este incremento en el número de nodos y usuarios, se tiene un bajo porcentaje de utilización en las 3 aplicaciones, debido a que la carga de la red no es excesiva y por tanto los tiempos de respuesta de la red son bajos (retardo), obteniéndose así prestaciones con calidad. Estas medidas se ven reflejadas en los parámetros de desempeño en cada una de las aplicaciones.

En la Tabla 4.24 se muestran las medidas tomadas en las VLANs.

MEDIDAS EN LAS VLANs						
VLAN 10		VLAN 20		VLAN30		
Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	
El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 400 bits/seg.	El tráfico descartado es 50 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 1.600.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 60 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2.000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 50 bits/seg.	

Tabla 4.24 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Prueba 1

En las Figuras 4.13 se observan las gráficas correspondientes con estas medidas.



Figura 4. 13 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Prueba 1

Según las Figuras 4.13 y la Tabla 4.24 se observa que los tráficos enviado y recibido en cada una de las VLANs son similares, presentando una pequeña porción de tráfico descartado, gracias a la utilización de las VLANs que permiten hacer un control más inteligente del tráfico que circula por la red, mediante el empleo de switches de nivel 2 que brindan la capacidad de aislar el tráfico para disminuir la congestión, de esta manera se incrementa la eficiencia y se asegura una mejor utilización del ancho de banda de la red.

En la Tabla 4.25 se tienen los resultados de las medidas tomadas en los enlaces.

MEDIDAS EN LOS ENLACES		
Utilización	Throughput (bits/seg)	Retardo de Encolamiento (seg)
<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.18.	<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput de 1.800.000 bits/seg.	<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento que inicia en 0.0000017.
<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.0001	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput que inicia en 800 y tiende a cero.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000006 seg.

Tabla 4.25 Medidas en los enlaces, Escenario 2-Prueba 1

En las Figuras 4.14 se observan las gráficas relacionadas con estas medidas.

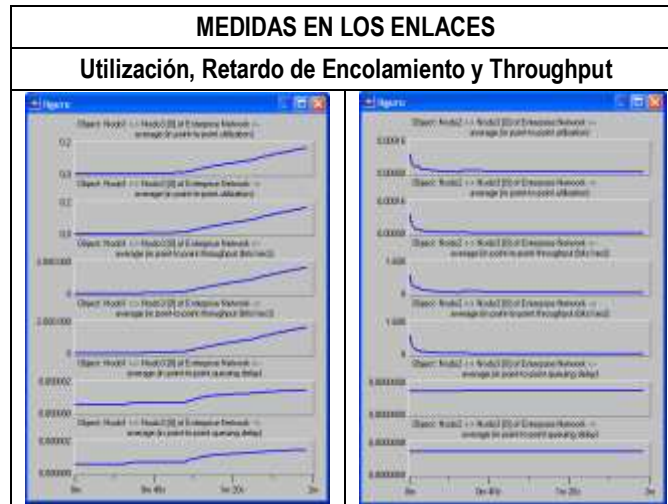


Figura 4. 14 Medidas en los enlaces, Escenario 2-Prueba 1

Según las Figuras 4.14 y la Tabla 4.25 se observa un bajo valor de retardo de encolamiento, ya que las tramas pertenecientes a cada una de las VLANs son atendidas de acuerdo a su nivel de prioridad.

Después de analizar el comportamiento de la red cuando se cuenta con 3 nodos y 533 usuarios es posible concluir que el rendimiento de la red es eficiente, los valores de las medidas de los parámetros de desempeño se encuentran por debajo de los valores límites establecidos.

**4.3.2.2 Prueba 2:** El análisis de esta prueba se hace con el fin de observar cómo se ven afectados los parámetros de desempeño cuando de incrementa el número de usuarios y nodos en la red. La Tabla 4.26 muestra los parámetros configurados y medidos en esta prueba.

PARÁMETROS DE CONFIGURACION		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DESEMPEÑO	ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP, Videoconferencia	4 nodos y 375 usuarios	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
Prioridades en las VLANs			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
Distancia entre los nodos de la red 40 Km.			Medidas en los enlaces
BW (1 Gbps y 100BaseT)			

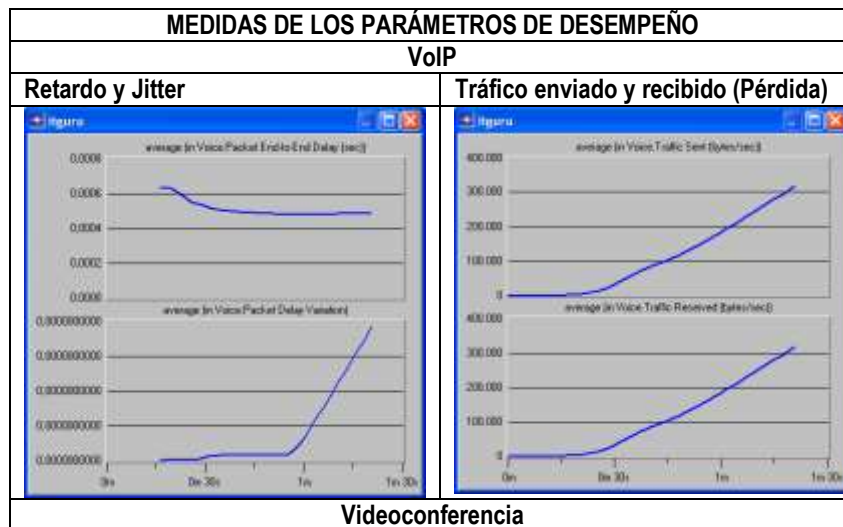
Tabla 4.26 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 2-Prueba 2.

**Desarrollo de la simulación:** A continuación se presentan las tablas de resultados correspondientes a la segunda prueba y las gráficas obtenidas en la herramienta de simulación. En la Tabla 4.27 se muestran las medidas tomadas de los parámetros de desempeño.

MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO (4 NODOS Y 375 USUARIOS)				
VoIP				
<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0.0005 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor que tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 310.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 309.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> Se tiene un porcentaje de pérdida de 0.3%.
Videoconferencia				
<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0.0023 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor de 0.00000038 seg.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1.950.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 1.920.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> Se tiene una pérdida de 1.5%.
FTP				
<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> Por tanto no hay jitter.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un Tráfico con un valor de 700 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 700 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> No hay pérdida 0%.

Tabla 4.27 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 2-Prueba 2.

En la Figura 4.15 se observan las gráficas relacionadas con estas medidas.



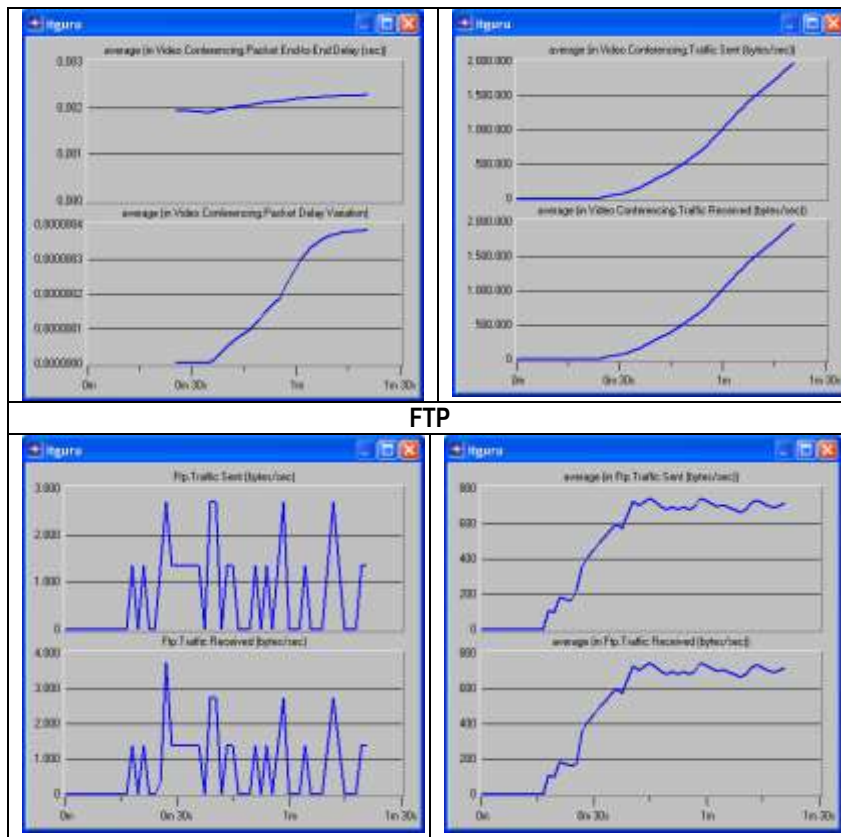


Figura 4. 15 Medidas de los Parámetros de desempeño, Escenario 2-Prueba 2

Según las Figuras 4.15 y la Tabla 4.27 se observa que para el incremento realizado en el número de nodos y usuarios (4 nodos y 597 usuarios) de este escenario, los valores de los parámetros de desempeño (retardo, jitter y pérdida) aumentan en comparación con los valores obtenidos en la prueba anterior, dichos valores están por debajo de los límites establecidos de acuerdo a la Tabla 2.1 y por tanto se proporciona calidad de servicio, es decir según se va aumentando el número de usuarios que acceden a las aplicaciones que requieren un alto nivel de calidad, se aumenta el tráfico de la red y las prestaciones de la red se deterioran.

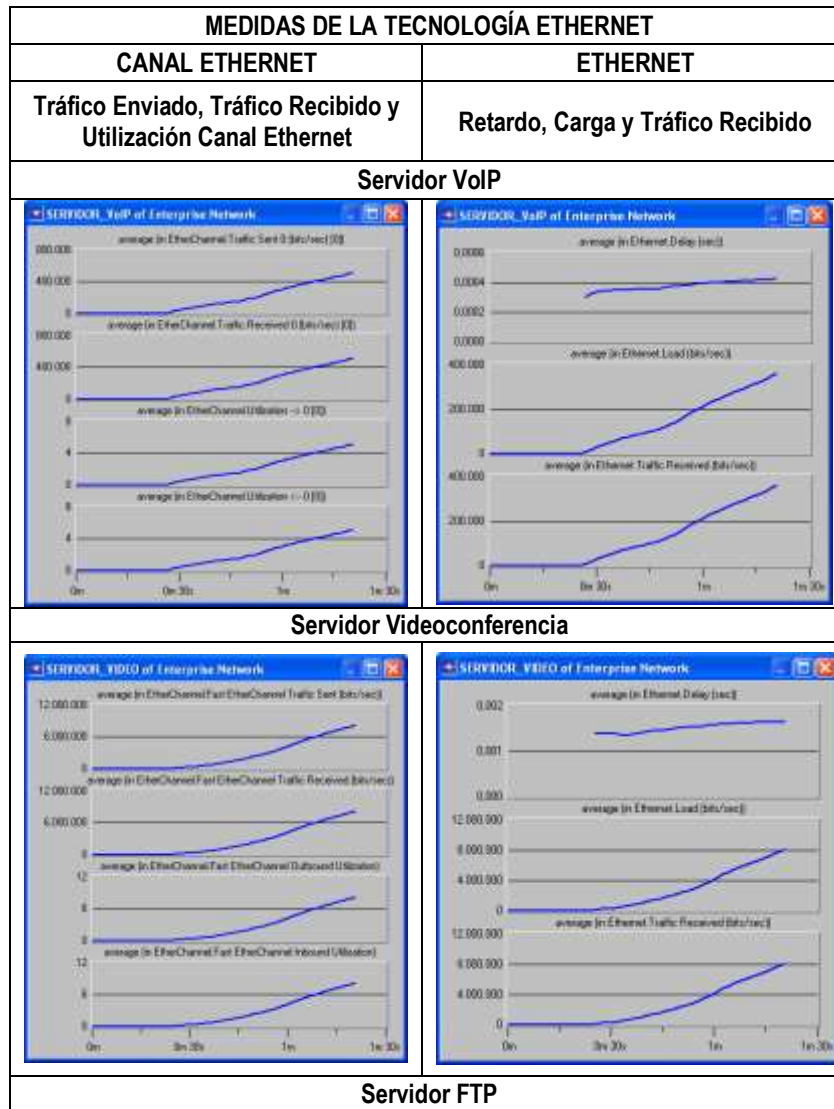
La Tabla 4.28 muestra los resultados de las medidas de la Tecnología Ethernet.

MEDIDAS DE ETHERNET				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Recibido	Utilización	Retardo	Carga	Tráfico Recibido
<b>Servidor VoIP:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido y su valor es de 500.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 5.	Se tiene un retardo de 0.00041 seg.	Tiene una carga de 350.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 350.000 bits/seg
<b>Servidor Videoconferencia:</b> El Tráfico enviado es igual al tráfico recibido 8,000.000 bits/seg	Se tiene una utilización de 8.	Se tiene un retardo de 0.0016 seg.	Tiene una carga de 8,000.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 8,000.000 bits/seg

<b>Servidor FTP</b> El Tráfico enviado es igual al tráfico recibido y tiene un valor de 4.100 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.04.	El retardo tiene un valor de 0.00075 seg.	Tiene una carga de 3.900 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 3.800 bits/seg.
--	-----------------------------------	---	------------------------------------	--

Tabla 4.28 Medidas de la Tecnología Ethernet

En las Figuras 4.16 se puede observar las gráficas correspondientes con estas medidas.



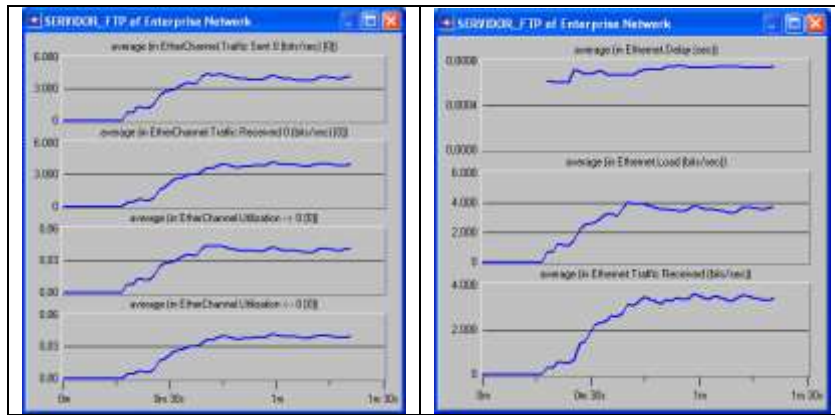


Figura 4. 16 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 2-Prueba 2

Según las Figuras 4.16 y la Tabla 4.28 en las medidas tomadas de la tecnología Ethernet se pueden observar que los valores de los parámetros que miden la eficiencia de la red; la utilización, carga de red y el retardo aumentan en esta prueba, debido a que se incrementa el número de nodos y usuarios que acceden a las aplicaciones que requieren un alto nivel de calidad, aumentando el porcentaje de utilización de los servidores de las aplicaciones y la carga de la red y estas variaciones hacen que se aumente el retardo, deteriorándose las prestaciones de la red. Estas medidas se ven reflejadas en los parámetros de desempeño en cada una de las aplicaciones.

En la Tabla 4.29 se observan los resultados obtenidos en las medidas de las VLANs.

MEDIDAS EN LAS VLANs					
VLAN 10		VLAN 20		VLAN30	
Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)
El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 70 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2,200.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 60 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 3,800.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 150 bits/seg.

Tabla 4.29 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Prueba 2

En las Figuras 4.17 se muestran las gráficas propias de estas medidas.





**Figura 4. 17 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Prueba 2**

Según las Figuras 4.17 y la Tabla 4.29 se observa que los tráficos enviado y recibido en cada una de las VLANs son similares, presentando una pequeña porción de tráfico descartado, gracias a la utilización de las VLANs que permiten hacer un control más inteligente del tráfico que circula por la red, disminuyendo la congestión e incrementando la eficiencia de toda la red.

A continuación en la Tabla 4.30 se presentan los resultados obtenidos en las medidas de los enlaces.

<b>MEDIDAS EN LOS ENLACES</b>		
<b>Utilización</b>	<b>Throughput (bits/seg)</b>	<b>Retardo de Encolamiento (seg)</b>
<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.3.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput 3.200.000 bits/seg.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000018 seg.
<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene una utilización que inicia en 0.00008 y tiende a 0.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un Throughput que inicia en 800 y tiende a 0.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000006 seg.

**Tabla 4.30 Medidas en los Enlaces, Escenario 2-Prueba 2**

En las Figuras 4.18 se muestran las gráficas pertenecientes a estas medidas.

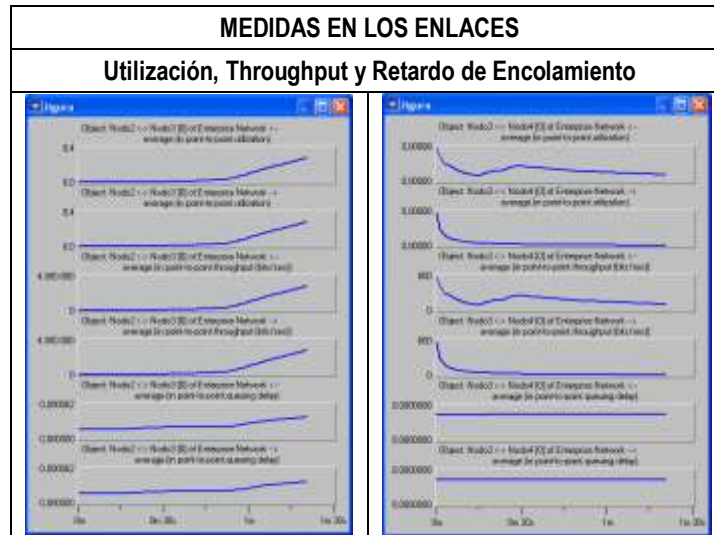


Figura 4. 18 Medidas en los Enlaces, Escenario 2-Prueba 2

De la Tabla 4.30 y de las Figuras 4.18 se observa que el tiempo que las tramas tienen que esperar en las colas para ser atendidas va aumentando en comparación con la prueba anterior, es decir a medida que se aumenta el tráfico en cada una de las VLANs se aumenta también el retardo de encolamiento, ya que las tramas pertenecientes a cada una de las VLANs son atendidas se acuerdo a su nivel de prioridad.

**TABLAS DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS 3, 4 Y 5.**

En esta sección se presentan las tablas de los resultados de las Pruebas 3, 4 y 5 y las correspondientes gráficas de estas pruebas se pueden observar en el anexo D. A continuación se presenta la configuración de los parámetros fijos, variables y los parámetros de medida de estas pruebas.

PARÁMETROS DE CONFIGURACION		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DE DESEMPEÑO	ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP, Videoconferencia.	- 2 nodos y 345 usuarios - 2 nodos y 458 usuarios - 4 nodos y 597 usuarios	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
Prioridades en las VLANs			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
Distancia entre los nodos de la red 40 Km.			Medidas en los enlaces
BW (1 Gbps y 100BaseT)			

Tabla 4.31 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables Escenario 2-Pruebas 3,4 y 5.

En seguida se muestran las medidas de los parámetros de desempeño.

<b>PRUEBA 3 2 nodos y 345 usuarios</b>	<b>VoIP</b>				
	<b>Retardo:</b> El retardo llega hasta un valor de 0.00048 seg	<b>Jitter:</b> Tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 140.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 139.700 bytes/seg.	<b>Pérdida:</b> Se tiene una pérdida de 0.2%.
	<b>Videoconferencia</b>				
	<b>Retardo:</b> Tiene un valor de 0.002 seg.	<b>Jitter:</b> Tiene un valor de 0.00000001 2 seg.	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1.500.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 1.498.000 bytes/seg.	<b>Pérdida:</b> Se tiene una pérdida de 0.13%.
	<b>FTP (Prioridad 100)</b>				
	<b>Retardo:</b> No hay retardo.	<b>Jitter:</b> Por tanto no hay jitter.	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 360 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 355 bytes/seg.	<b>Pérdida:</b> Se tiene una pérdida de 1.3%.
<b>PRUEBA 4 2 nodos y 458 usuarios</b>	<b>VoIP</b>				
	<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0,0005 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor que tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 249.500 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un Tráfico con un valor de 248.100 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> Se tiene una perdida de 0.5%.
	<b>Videoconferencia</b>				
	<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0.0018 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor de 0.00000003 seg.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 2,898.907 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 2,897.710 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> Se tiene una pérdida de 0.04%.
	<b>FTP</b>				
	<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> Por tanto no hay jitter.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 800 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 800 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> No hay Tráfico descartado 0%.
<b>PRUEBA 5 4 nodos y 597 usuarios</b>	<b>VoIP</b>				
	<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0.0006 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor que tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un Tráfico con un valor de 241.500 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un Tráfico con un valor de 240.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> Se tiene una pérdida del 0.6%.
	<b>Videoconferencia</b>				
	<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0.002 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor de 0.00000000 36 seg.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un Tráfico con un valor de 1.420.100 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un Tráfico con un valor de 1.380.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> Se tiene una pérdida de 2.8%.
	<b>FTP</b>				
	<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> Por tanto no hay jitter.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un Tráfico con un valor de 500 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un Tráfico con un valor de 500 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> No hay pérdida 0%.

Tabla 4.32 Medidas de los Parámetros de Desempeño, Escenario 2 –Pruebas 3, 4 y 5.

De acuerdo a la Tabla 4.32 se observa que para los incrementos en el número de nodos y usuarios en este escenario, los valores de los parámetros de desempeño (retardo, jitter y pérdida) van aumentando y están por debajo de los límites establecidos de acuerdo a la Tabla 2.1 y por tanto se proporciona calidad de servicio. Pero si el número de usuarios que acceden a las aplicaciones que requieren un alto nivel de calidad, es excesivo se sobrecarga la red y las prestaciones se deterioran.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las medidas de la tecnología Ethernet.

MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET					
	CANAL ETHERNET		ETHERNET		
	Tráfico Enviado y Tráfico Recibido	Utilización	Retardo	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
PRUEBA 3	<b>Servidor VoIP:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido 1.100.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 1.1.	Se tiene un retardo de 0.00049 seg.	Tiene una carga de 797.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 797.000 bits/seg
	<b>Servidor Videoconferencia:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido y su valor es de 2.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.02.	Se tiene un retardo de 0.00075 seg.	Tiene una carga de 6.000.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 6.000.000 bits/seg.
	<b>Servidor FTP:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido de 2.900 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.029.	El retardo tiene un valor de 0.00079 seg.	La carga sube hasta un valor de 1.700 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 1.700 bits/seg.
PRUEBA 4	<b>Servidor VoIP:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido 1.200.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 1.2.	Se tiene un retardo de 0.0005 seg.	Tiene una carga de 800.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 800.000 bits/seg
	<b>Servidor Videoconferencia:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido y su valor es de 12.000.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 12.	Se tiene un retardo de 0.0014 seg.	Tiene una carga de 12.000.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 12.000.000 bits/seg.
	<b>Servidor FTP:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido de 4.100 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.042.	El retardo tiene un valor de 0.0007 seg.	La carga alcanza un valor de 4.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 4.000 bits/seg.
PRUEBA 5	<b>Servidor VoIP:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido 250.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.28.	Se tiene un retardo de 0.0005 seg.	Tiene una carga de 180.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 180.000 bits/seg
	<b>Servidor Videoconferencia:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido y su valor es de 6.000.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 6.	Se tiene un retardo de 0.0015 seg.	Tiene una carga de 6.000.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 6.000.000 bits/seg.
	<b>Servidor FTP:</b> El tráfico enviado es igual al tráfico recibido de 2.900 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.029.	El retardo tiene un valor de 0.00079 seg.	La carga sube hasta un valor de 2.500 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 2.500 bits/seg.

Tabla 4.33 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario 2-Pruebas 3,4 y 5.

De acuerdo a la Tabla 4.28 en las medidas tomadas de la tecnología Ethernet se pueden observar que los valores de los parámetros la utilización, carga de red y el retardo aumentan en estas pruebas, debido a que se incrementa el tráfico de la red (el número de nodos y usuarios) y hacen que se deterioren las prestaciones de la red, estas medidas se ven reflejadas en los valores de los parámetros de desempeño en cada una de las aplicaciones.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las medidas de las VLANs.

MEDIDAS EN LAS VLANs						
	VLAN 10		VLAN 20		VLAN30	
PRUEBA 3	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)
	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 1.600 bits/seg.	El tráfico descartado es 22 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2,500.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 22 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 6.800.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 25 bits/seg.
PRUEBA 4	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2.500 bits/seg.	El tráfico descartado es 20 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 5,000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 22 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 12,000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 70 bits/seg.
PRUEBA 5	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2.300 bits/seg.	El tráfico descartado es 50 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2,000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 120 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 5,000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 110 bits/seg.

Tabla 4.34 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 2-Pruebas 3,4 y 5.

Según la Tabla 4.34 se observa que los tráfico enviado y recibido en cada una de las VLANs son idénticos, presentando una pequeña porción de tráfico descartado, gracias a la utilización de las VLANs que permiten aumentar la eficiencia de la red.

En seguida se observan los resultados obtenidos en las medidas de los enlaces.

MEDIDAS EN LOS ENLACES			
	Utilización	Throughput (bits/seg)	Retardo de Encolamiento (seg)
PRUEBA 3	Nodo 1-Nodo 2: Se tiene una utilización de 0.04.	Nodo 1-Nodo 2: Se tiene un Throughput de 4.000.000 bits/seg.	Nodo 1-Nodo 2: Se tiene un retardo de encolamiento inicia en 0.0000002 seg.
PRUEBA 4	Nodo 1-Nodo 2: Se tiene una utilización de 0.08.	Nodo 1-Nodo 2: Se tiene un Throughput de 8,000.000	Nodo 1-Nodo 2: Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000002 seg.
PRUEBA 5	Nodo 2-Nodo 3: Se tiene una utilización de	Nodo 2-Nodo 2: Se tiene un Throughput de	Nodo 2-Nodo 2: Se tiene un retardo de

	0.39.	5,000.000 bits/seg.	encolamiento de 0.000004 seg.
	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene una utilización que inicia en 0.000002 y tiende a 0.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un Throughput de 0.000001 bits/seg.	<b>Nodo 3-Nodo 4:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000006 seg.

**Tabla 4.35 Medidas en los enlaces, Escenario 2-Pruebas 3, 4 y 5.**

Después de realizar las 5 pruebas correspondientes a este escenario se puede concluir:

- Según se van agregando a la red más nodos y más usuarios que accedan a aplicaciones que requieran alto ancho de banda, las prestaciones se deterioran, esto debido a la disputa que se presenta por el ancho de banda, aumentando así los valores de los parámetros de desempeño. Cabe resaltar que en las pruebas anteriores del escenario 2 se varían factores que afectan la eficiencia de la red como son la cantidad de tráfico (número de nodos y número de usuarios).
- La tendencia del aumento del tráfico de la red debido al incremento del número de nodos y usuarios permite observar el incremento de los valores de los parámetros de desempeño (retardo, jitter y pérdida) contribuyendo al deterioro significativo de la calidad de servicio.
- De las medidas tomadas a nivel de la tecnología Ethernet en este escenario se observa que al aumentar el tráfico de la red también se incrementa el porcentaje de utilización en las aplicaciones y la carga de la red; estas variaciones inciden en los niveles del retardo, es decir estos pequeños aumentos en tráfico tienen como consecuencia disminuciones en la calidad de servicio ofrecida. La carga excesiva de la red causa un retardo considerable del tráfico. Estas medidas se ven reflejadas en los parámetros de desempeño en cada una de las aplicaciones.
- Al aumentar la cantidad de tráfico el mecanismo de calidad de servicio implementado las VLANs permiten hacer un control más inteligente del tráfico, asegurando una mejor utilización del ancho de banda disminuyendo así la congestión y aumentando la eficiencia de la red.

### 4.3.3 Simulación Escenario 3

El propósito general de este escenario es observar el comportamiento de la red cuando se incrementa la distancia entre los nodos. Se considera una distancia máxima que sobrepasa el límite establecido por el MEF para compararla con una red de un tamaño de 40 km. Este análisis se hace en base al comportamiento de los parámetros de desempeño y algunas medidas propias de Ethernet proporcionadas por la herramienta de simulación. En la Figura 4.19 se muestra el escenario básico montado para este escenario.

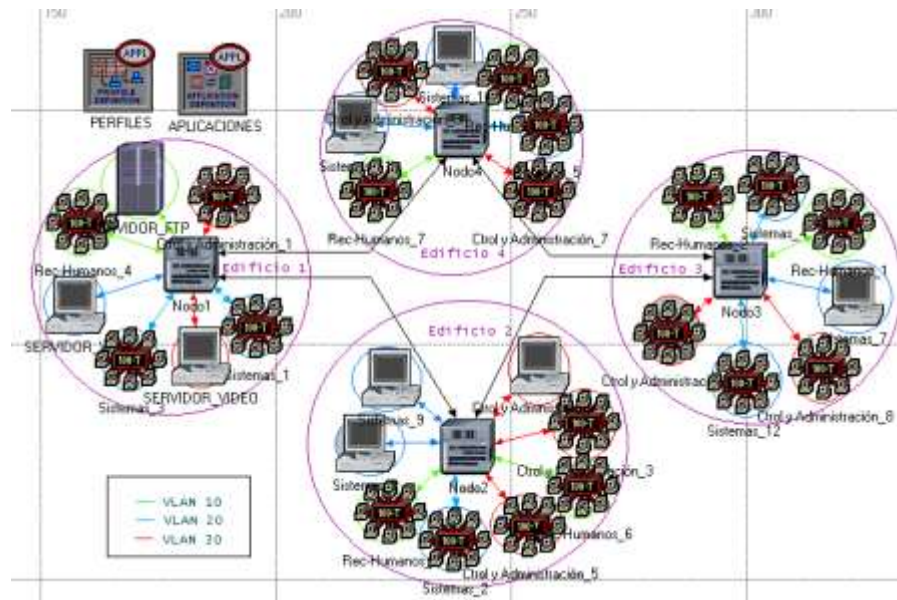


Figura 4. 19 Modelo de red, Escenario

4.3.3.1 Prueba 1: El propósito de esta prueba es comprobar que el comportamiento de los parámetros de desempeño en una red de un tamaño de 15 Km, satisface los requerimientos de Calidad de Servicio.

La configuración de los parámetros fijos, variables y de medida se muestra en la Tabla 4.35.

PARÁMETROS DE CONFIGURACION		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DESEMPEÑO	ETHERNET
Aplicaciones: FTP, VoIP, Videoconferencia	Distancia entre los nodos de la red 15 Km.	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
Configuración de VLANs			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
4 Nodos y 350 usuarios			Medidas en los enlaces
BW (1 Gbps y 100BaseT)			

Tabla 4.32 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 3-Prueba 1.

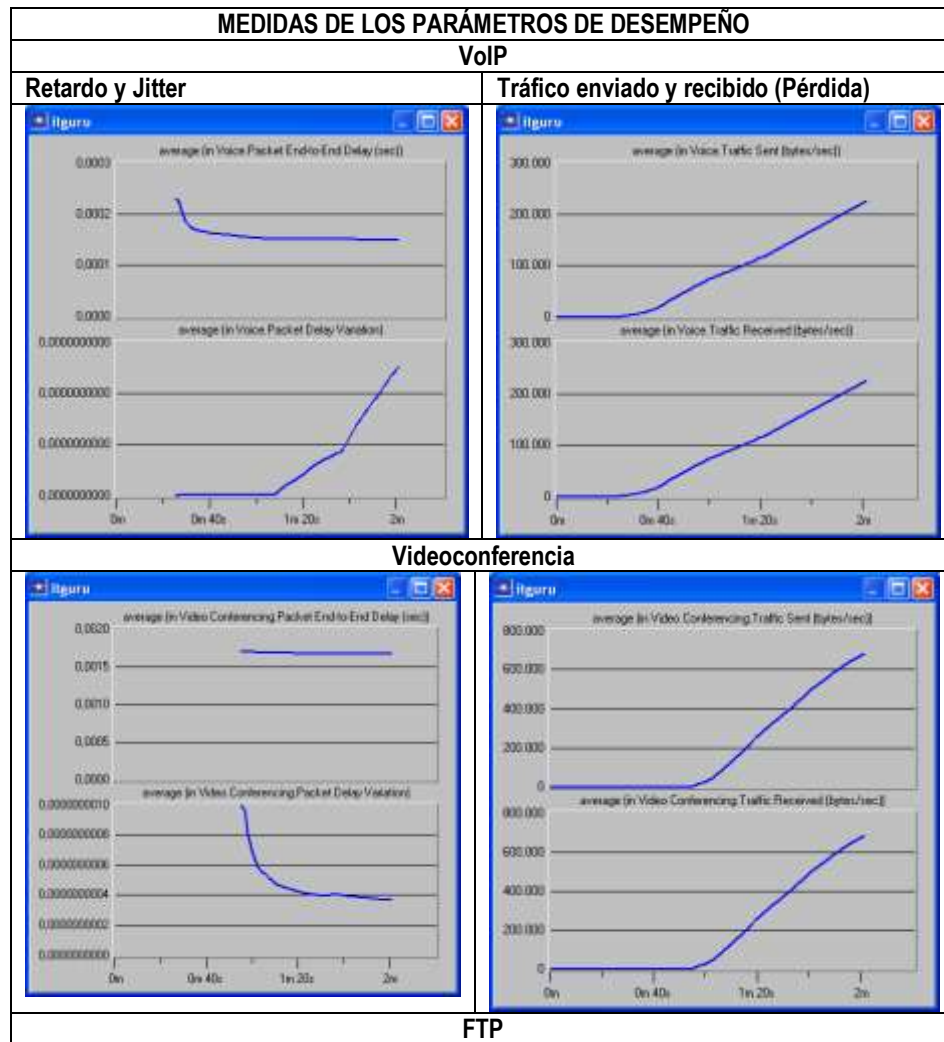
Desarrollo de la simulación: A continuación se presentan las tablas de resultados correspondientes a la primera prueba y las gráficas obtenidas en la herramienta de simulación.

MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO				
VoIP				
<b>Retardo</b> El retardo tiene un valor de 0.00015 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor que tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 220.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 219.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El tráfico descartado es 0.4%.
Videoconferencia				
<b>Retardo:</b> El retardo tiene un	<b>Jitter:</b> Adquiere un	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio	<b>Pérdida:</b> El tráfico

valor de 0.0017 seg	valor de 0.000000003 9 seg.	promedio un tráfico con un valor de 680.000 bytes/seg.	un tráfico con un valor de 677.000 bytes/seg.	descartado es 0.45%.
<b>FTP</b>				
<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> Por tanto no hay variación de retardo.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 680 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 675 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El tráfico descartado es 0.7%.

Tabla 4.33 Medidas de los Parámetros de Desempeño Escenario 3-Prueba 1.

A continuación se presentan las gráficas relacionadas con los valores mostrados en la anterior tabla.





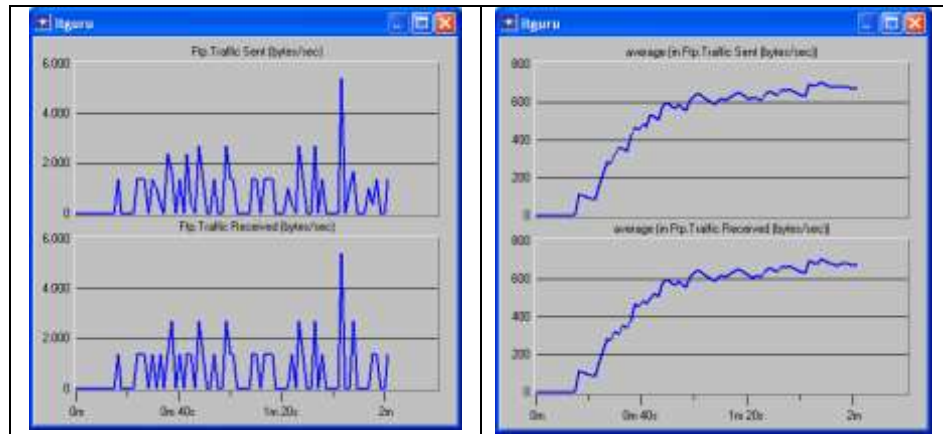


Figura 4. 20 Gráficas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba 1

En la Tabla 4.36 y las gráficas de la Figura 4.20, se observa que para este tamaño de red, los valores de los parámetros de desempeño: retardo, jitter y pérdida de tramas, son muy bajos y satisfacen los requerimientos de Calidad de Servicio, establecidos (Tabla 2.1). De acuerdo a las recomendaciones dadas por el fabricante de fibra óptica, para distancias menores de 40 Km no hay deterioro de la señal, es decir, se puede operar en este rango de distancia sin la necesidad del uso de amplificadores. Esta prueba permite corroborar esta información porque a una distancia de 15 Km no hay deterioro de la señal y por tanto los valores de los parámetros de desempeño no se ven afectados, permitiendo la prestación de servicios con buenos niveles de calidad.

En la tabla 4.23 se observan las medidas de Ethernet para la prueba 1.

MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Tráfico Recibido (bits/seg.)	Utilización	Retardo (seg.)	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
<b>Servidor VoIP:</b> El Tráfico enviado y el Tráfico recibido es igual, es 410.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 0.48.	Se tiene un retardo de 0.00012.	Tiene una carga de 300.000.	Se recibe un tráfico promedio de 300.000.
<b>Servidor de Videoconferencia:</b> El Tráfico enviado y el Tráfico recibido es igual, es 3.800.000.	La utilización es de 2.8.	Se tiene un retardo de 0.0011.	Tiene una carga de 2.800.000.	Se recibe un tráfico promedio de 2.800.000.
<b>Servidor de FTP:</b> El Tráfico enviado y el Tráfico recibido son iguales, 4.000.	La utilización es de 0.04.	Se tiene un retardo promedio de 0.0005.	Tiene una carga de 3.700.	Se recibe un tráfico promedio de 3.600.

Tabla 4.34 Medidas de la Tecnología Ethernet, Escenario3-Prueba 1.

En la Figura 4.21 se observan las gráficas relacionadas con esta prueba.

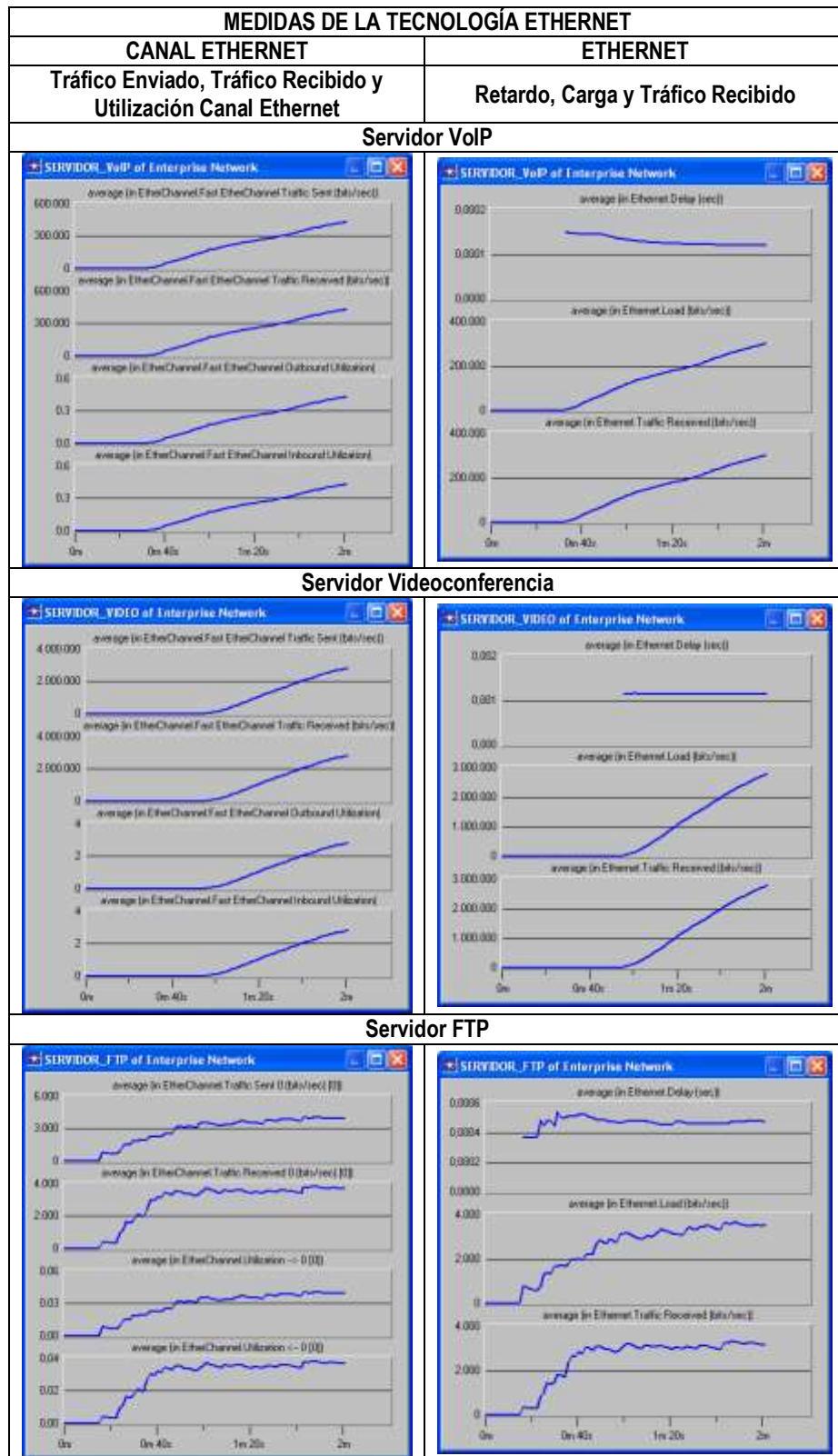


Figura 4. 21 Gráficas de la Tecnología Ethernet, Escenario 3-Prueba 1

En los resultados observados en la Tabla 4.37 y la Figura 4.21, fue posible corroborar que los parámetros configurados para esta prueba ofrecen un excelente comportamiento de la red en cuanto a su desempeño, puesto que los valores de las medidas de la tecnología Ethernet, presentan valores realmente bajos, consecuentes con los valores observados a nivel de aplicación, debido a que se está trabajando con un corta distancia donde es posible asegurar que no se van a presentar valores muy elevados de retardo, y además mostrando valores de pérdida nulos.

MEDIDAS EN LAS VLANs					
VLAN 10		VLAN 20		VLAN30	
Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)
El tráfico recibido es igual al tráfico enviado 3.500 bits/seg.	El tráfico descartado es 20 bits/seg.	El tráfico recibido es igual al tráfico enviado 2.400.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 130 bits/seg.	El tráfico recibido es igual al tráfico enviado 2.000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 195 bits/seg.

Tabla 4.35 Medidas en las VLAN, Escenario 3-Prueba 1



Figura 4. 22 Gráficas de las VLAN, Escenario 3-Prueba 1

De igual forma dentro de la primera prueba de este escenario se pudo observar que el comportamiento de las VLANs configuradas asegura la Calidad de Servicio en la red, mostrando que el tráfico enviado y recibido son muy similares y además que el porcentaje de tráfico perdido es bajo con respecto a la cantidad de información que se transporta en la red, gracias a que el trafico crítico es tratado ágilmente reduciendo el porcentaje de pérdidas y retardos en la red mediante la implementación de las VLANs.

En la Tabla 4.39 se observan los resultados de las medidas tomadas en los enlaces.

MEDIDAS EN LOS ENLACES		
Utilización	Throughput (bits/seg)	Retardo de Encolamiento (seg)
<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.000002.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput de 0.1 bits/seg.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento 0.0000006 seg.
<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.2.	<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput de 2.000.000.	<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.000001 seg.

Tabla 4.36 Medidas de los enlaces, Escenario 3-Prueba 1

A continuación se muestran las gráficas relacionadas con esta prueba.

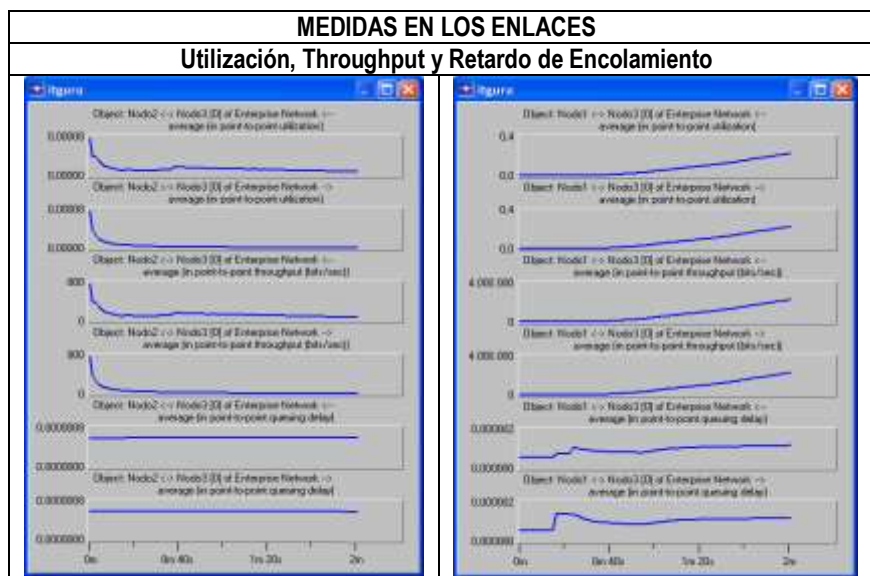


Figura 4. 23 Gráficas de las medidas en los enlaces, Escenario 3-Prueba 1

Asimismo para los resultados obtenidos a nivel de enlace se observó que el comportamiento de los parámetros a este nivel toman valores muy bajos, puesto que la distancia de los nodos configurados en la red con la cual se está trabajando es pequeño, lo que reduce el los valores de retardo y utilización de los enlaces y el desempeño de la red es muy eficiente gracias al uso de la fibra óptica que proporciona fiabilidad en este tipo de redes y distancias.

Después de realizar el análisis de los resultados de la primera prueba del escenario 3 es posible concluir que:

- La Calidad de Servicio ofrecida cuando se configura una red Metro Ethernet sobre una distancia corta es muy eficiente cuando se observa el comportamiento de los parámetros de desempeño, gracias a la configuración de VLANs y a que la fibra óptica proporciona fiabilidad en la información.
- La observación de las medidas tomadas a nivel de la tecnología Ethernet es coherente con los resultados obtenidos en las aplicaciones debido a la corta distancia configurada, los parámetros de utilización, carga y retardo toman valores bajos.

**4.3.3.2 Prueba 2:** Esta simulación se realiza con un tamaño de red de 30 kilómetros. La configuración de los parámetros fijos y variables y los parámetros de medida se muestran a continuación en la Tabla 4.40.

PARÁMETROS DE CONFIGURACION		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DESEMPEÑO	ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP, Videoconferencia	Distancia entre los nodos de la red 40 Km.	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
350 usuarios y 4 Nodos			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
BW (1 Gbps y 100BaseT)			Medidas en los enlaces
Configuración de VLANs			

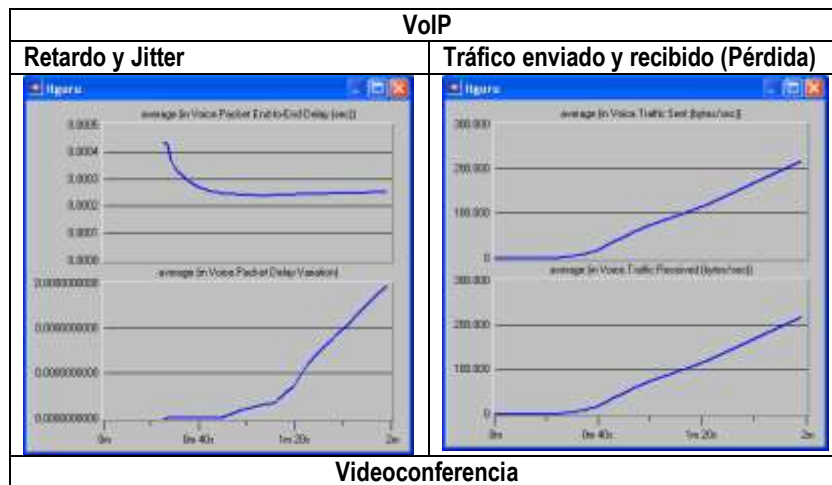
Tabla 4.37 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 3-Prueba2

En la tabla 4.41 se muestran las medidas de los parámetros de desempeño tomadas a nivel de aplicación.

MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO				
<b>VoIP</b>				
<b>Retardo</b> Tiene un valor de 0.00025 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor que tiende a 0.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 220.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 219.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El porcentaje de Tráfico perdido es de 0.4%.
<b>Videoconferencia</b>				
<b>Retardo:</b> Se tiene un retardo con un valor de 0.0070 seg.	<b>Jitter:</b> Tiene un valor de 0.000000000 42 seg.	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1,800.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 1.790.000 bytes/seg.	<b>Pérdida:</b> El porcentaje de Tráfico perdido es de 0.5%.
<b>FTP</b>				
<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> Por tanto no hay variación de retardo.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un Tráfico con un valor de 750 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 750 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> No hay tráfico descartado.

Tabla 4.41 Medidas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba2

En la Figuras 2.24 se observan las gráficas de los parámetros de desempeño.



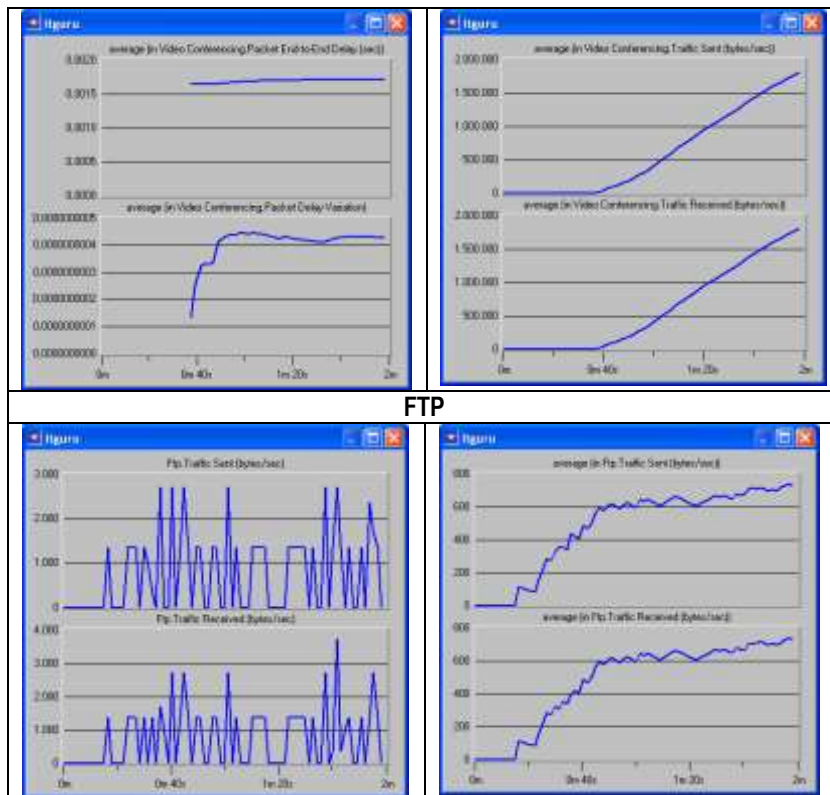


Figura 4. 24 Gráficas de las medidas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba 2

En la Tabla 4.41 y las gráficas de la Figura 4.24, se observa que para este tamaño de red, 40 Km, los valores de los parámetros de desempeño (retardo, jitter y pérdida de tramas), aumentan en comparación con la prueba anterior (15 Km), pero aun satisfacen los requerimientos de Calidad de Servicio, establecidos (Tabla 2.1). Para este tamaño de red no hay deterioro de la señal, es decir, se puede operar en este rango de distancia sin la necesidad del uso de amplificadores. Aunque los valores de los parámetros de desempeño se ven afectados, permite la prestación de servicios con niveles de calidad aceptables.

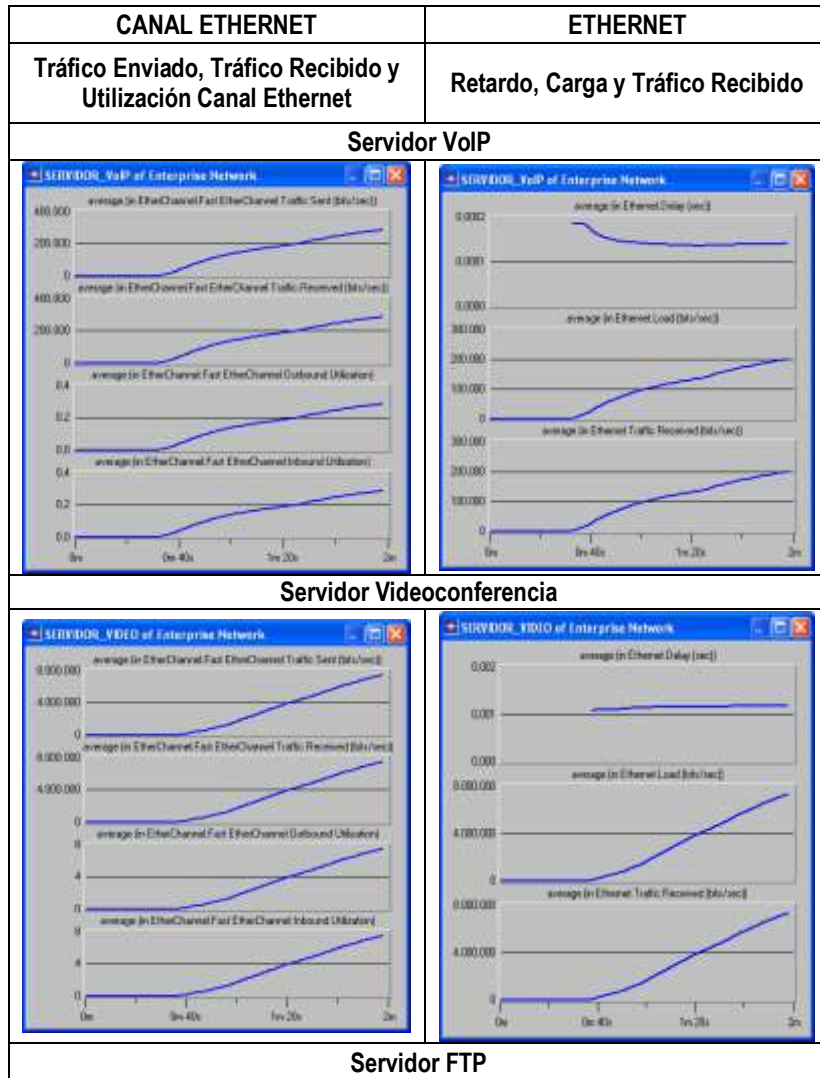
En la Tabla 4.42 se observan las medidas tomadas a nivel de la tecnología Ethernet para la prueba dos.

MEDIDAS DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Tráfico Recibido	Utilización	Retardo	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
<b>Servidor VoIP:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido y es 280.000 bits/seg.	-La utilización alcanza un valor de 0.28.	Se tiene un retardo de 0.00014 seg.	Tiene una carga de 200.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 200.000 bits/seg
<b>Servidor Videoconferencia</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido y su valor es de 7.900.000 bits/seg.	-La utilización alcanza un valor de utilización de 7.9.	Se tiene un retardo de 0.011 seg.	Tiene una carga de 7.500.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 7.500.000 bits/seg.
<b>Servidor FTP:</b> El tráfico enviado es igual al	Se tiene una utilización de	El retardo tiene un valor de	La carga sube hasta un valor de	Se recibe un tráfico promedio de 3.900

Tráfico recibido, tiene un valor de 4.000 bits/seg.	0.04.	0.00059 seg.	3.500 bits/seg.	bits/seg.
---	-------	--------------	-----------------	-----------

Tabla 4.42 Medidas de desempeño, Escenario 3-Prueba 2

En la Figuras 4.25 se muestran las gráficas de las medidas tomadas de la Tecnología Ethernet.



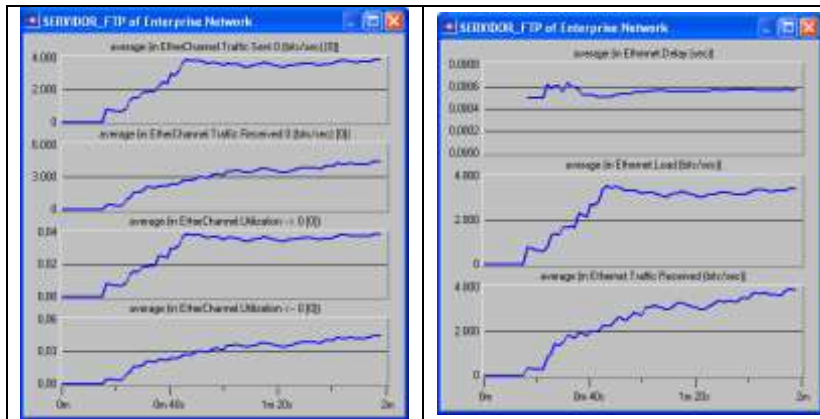


Figura 4. 25 Gráficas de las medidas de la tecnología Ethernet, Escenario 3-Prueba 2

En este caso se concluye que para este tamaño de red el desempeño del sistema es satisfactorio porque la implementación de las Redes de Área Virtual logran establecer las prioridades más convenientes y enviar el flujo de datos de forma tal que no se observa gran cantidad de tráfico perdido o sea que el Tráfico enviado y recibido tienen igual magnitud.

La Tabla 4.43 se observan las medidas realizadas a nivel de VLAN de la prueba 2.

MEDIDAS EN LAS VLANs					
VLAN 10		VLAN 20		VLAN30	
Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)
El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 4.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 10 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 2,600.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 40 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 4,100.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 150 bits/seg.

Tabla 4.43 Medidas tomadas en las VLANs, Escenario 3-Pruebas 2

En la Figura 4.26 se observan las gráficas de las medidas tomadas en las VLANs.



Figura 4. 26 Gráficas de las medidas en las VLANs, Escenario 3-Prueba 2



MEDIDAS EN LOS ENLACES		
Utilización	Throughput (bits/seg)	Retardo de Encolamiento (seg)
<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.000001.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput de 0.1.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000006 seg.
<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización que inicia en 0.3.	<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput de 3.800.000 bits/seg.	<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000018 seg.

Tabla 4. 44 Medidas en los enlaces, Escenario 3-Pruebas 2

En la Figura 4.27 se muestran las gráficas de las Medidas tomadas en los enlaces.

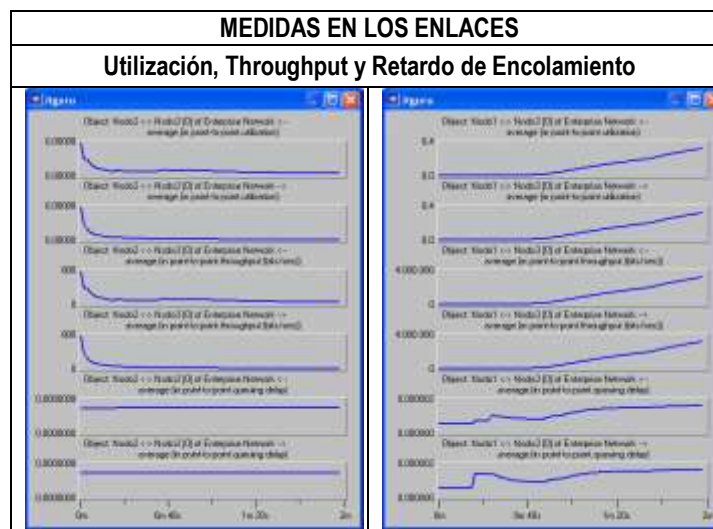


Figura 4. 27 Medidas tomadas en los enlaces

De las medidas realizadas a nivel de enlace mostradas en la Tabla 4.44 y la anterior figura, se obtuvo bajos valores de las medidas de utilización y sobre todo de retardo de encolamiento de donde se deduce que el desempeño de la red es bueno, puesto que los paquetes no tienen que esperar mucho tiempo en ser atendidos.

A manera de conclusión de esta prueba, después de analizar los resultados obtenidos, se puede decir que cuando se trabaja con un modelo de red configurado con un tamaño de 40 kilómetros, la red proporciona un servicio eficiente, los valores de los parámetros de desempeño no exceden los límites establecidos para los tráficos estudiados y la configuración de las VLANs proporcionan la Calidad de Servicio requerida por la red.

Además gracias a la configuración del mecanismo de calidad de servicio implementado con la VLANs fue posible incrementar la eficiencia de la red puesto que los tráficos de videoconferencia y VoIP son tratados con mayor prioridad asegurando que no se presenten valores muy altos de retardo o pérdidas de información en la red.

**4.3.3.3 Prueba 3:** Esta simulación se efectúa con un tamaño de red de 120 Km. La configuración de los parámetros fijos, variables y de medida se muestra en la Tabla 4.40 para esta prueba.

PARÁMETROS DE CONFIGURACION		PARÁMETROS DE MEDIDA	
FIJOS	VARIABLES	DESEMPEÑO	ETHERNET
Servicios soportados: FTP, VoIP, Videoconferencia	Distancia entre los nodos de la red 120 Km.	Retardo Jitter Pérdida de trama	Medidas en las VLANs
350 usuarios y 4 Nodos			Canal Ethernet y medidas de Ethernet
BW (1 Gbps y 100BaseT)			Medidas en los enlaces
Configuración de las VLANs			

Tabla 4.38 Parámetros de medida y configuración de parámetros fijos y variables, Escenario 3-Prueba3

MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO				
<b>VoIP</b>				
<b>Retardo</b> El retardo tiene un valor de 0.00088 seg.	<b>Jitter</b> Tiene un valor de 0.00000000015 seg.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 420.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 410.000 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El porcentaje de tráfico descartado es de 2.3%
<b>Videoconferencia</b>				
<b>Retardo:</b> El retardo alcanza un valor de 1 seg	<b>Jitter:</b> Adquiere un valor de 2 seg.	<b>Tráfico Enviado:</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 5.200.000 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido:</b> Se recibe en promedio un tráfico con un valor de 4.200.000 bytes/seg.	<b>Pérdida:</b> El porcentaje de tráfico descartado es de 19.2%.
<b>FTP</b>				
<b>Retardo</b> No hay retardo.	<b>Jitter</b> Por tanto no hay variación de retardo.	<b>Tráfico Enviado</b> Se envía en promedio un tráfico con un valor de 1.800 bytes/seg.	<b>Tráfico Recibido</b> Se recibe en promedio un tráfico de 1.790 bytes/seg.	<b>Pérdida</b> El porcentaje de tráfico descartado es de 0.5%.

Tabla 4.39 Medidas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba 3

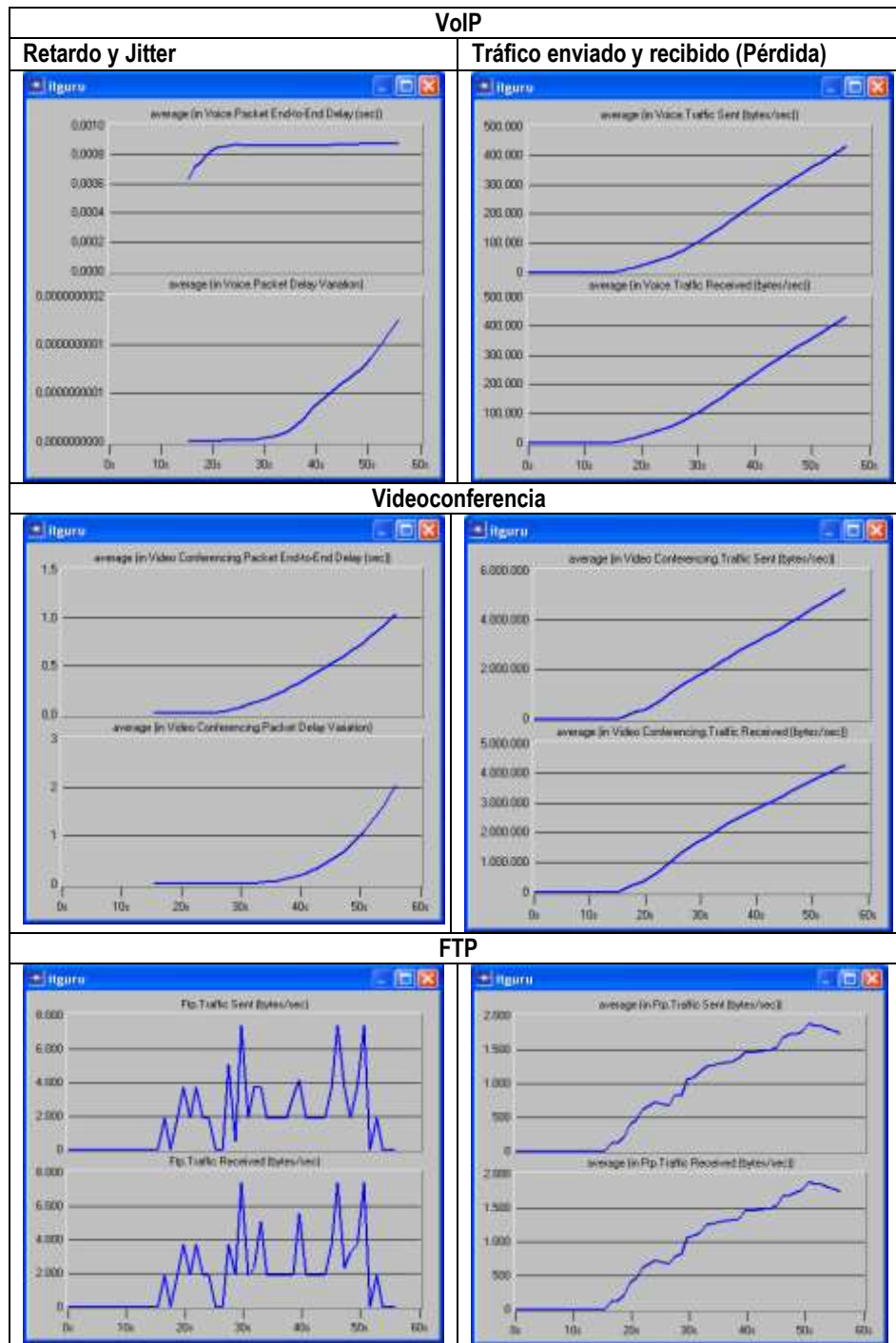


Figura 4. 28 Gráficas de los parámetros de desempeño, Escenario 3-Prueba 3

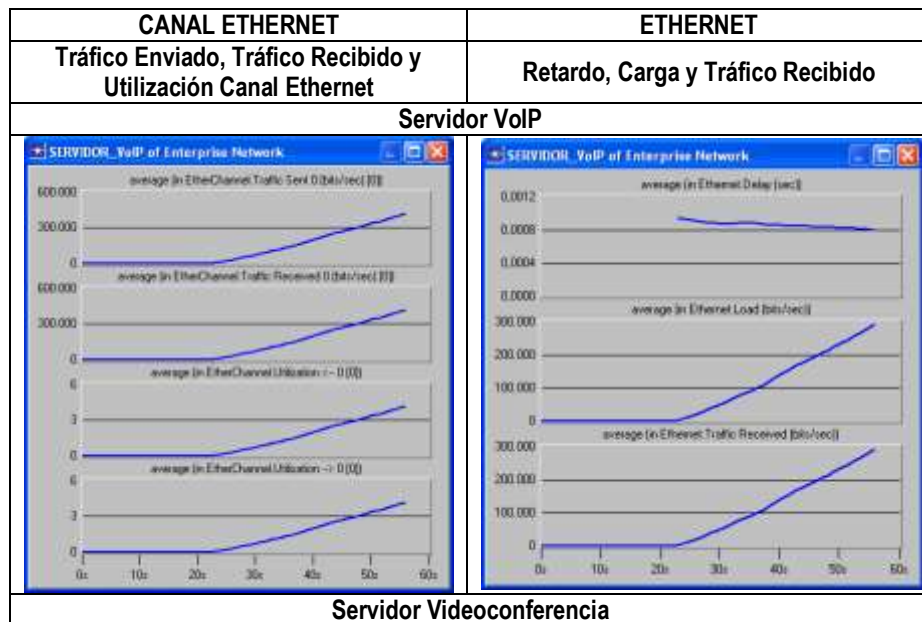
De la información consignada en la Tabla 4.41 y sus respectivas gráficas se puede observar que el comportamiento de la red disminuye su eficiencia presentando mayores valores de retardo, Jitter y pérdida, de donde se concluye que en este caso no se está proporcionando Calidad de Servicio en la red puesto que la distancia a la cual se está trabajando es muy grande y no es posible que la información llegue íntegra al destino.

En la Tabla 4.42 se muestran los resultados obtenidos en las medidas de la Tecnología Ethernet para la prueba 3.

MEDIDAS DE ETHERNET				
CANAL ETHERNET		ETHERNET		
Tráfico Enviado y Tráfico Recibido	Utilización	Retardo	Carga (bits/seg)	Tráfico Recibido (bits/seg)
<b>Servidor VoIP:</b> El Tráfico enviado es igual al Tráfico recibido 420.000 bits/seg.	La utilización es de 4.	Se tiene un retardo de 0.0008 seg.	Tiene una carga de 298.000 bits/seg.	Se recibe un Tráfico promedio de 298.000 bits/seg
<b>Servidor Videoconferencia:</b> El Tráfico enviado es 21.000.000 bits/seg y el Tráfico recibido es 17.000.000 bits/seg.	Se tiene una utilización de 2.5.	Se tiene un retardo de 0.9 seg.	Tiene una carga de 21.000.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 16.500.000 bits/seg.
<b>Servidor FTP:</b> El Tráfico enviado es 8.200 bits/seg y el Tráfico recibido es 10.000 bits/seg.	La utilización es de 0.008.	Se tiene un retardo de 0.00079 seg.	Tiene una carga de 8.000 bits/seg.	Se recibe un tráfico promedio de 10.000 bits/seg.

Tabla 4.40 Medidas de la tecnología Ethernet, Escenario 3-Prueba 3

En la Figura 4.29 se muestran las gráficas correspondientes con estas medidas.



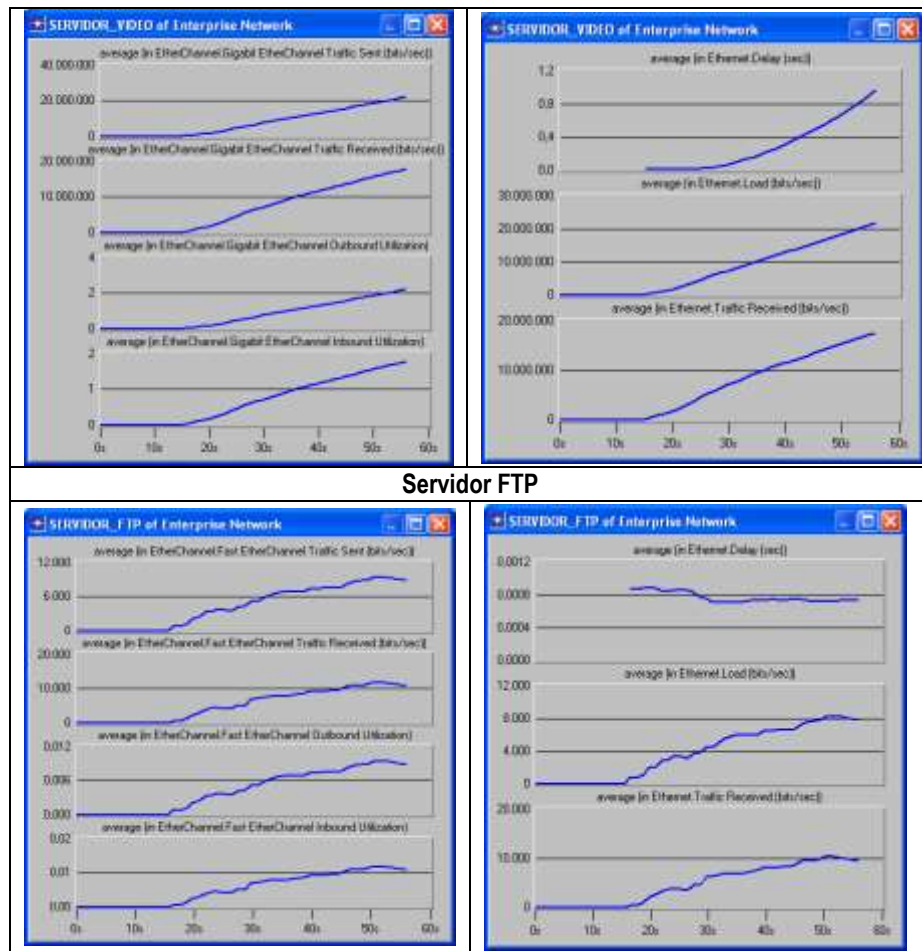


Figura 4. 29 Gráficas de las medidas de Ethernet, Escenario 3-Prueba 3

Al igual que en caso anteriormente descrito, se observa que para los valores de las medidas de la tecnología Ethernet, se ven afectados incrementando su valor, esta variación se hace más evidente en las aplicaciones más sensibles al retardo como son Videoconferencia y VoIP, esto debido de igual forma a la distancia configurada en la simulación.

MEDIDAS EN LAS VLANs						
		VLAN 10		VLAN 20		VLAN30
Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráficos Enviado y Recibido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)	Tráfico Perdido (bits/seg)
El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 10.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 50 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 7.000.000 bits/seg.	El tráfico descartado es 250 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 16.000.000 bits/seg.	El Tráfico recibido es igual al Tráfico enviado 50 bits/seg.	El tráfico descartado es 50 bits/seg.

Tabla 4.41 Medidas en las VLANs, Escenario 3-Prueba 3

A continuación se observan las gráficas correspondientes a las medidas tomadas en las VLANs.



Figura 4. 30 Gráficas de las medidas en las VLANs, Escenario 3-Prueba 3

En la Tabla 4.44 se consignan los valores obtenidos para las medidas de los enlaces para la prueba 3 del tercer escenario.

MEDIDAS EN LOS ENLACES		
Utilización	Throughput (bits/seg)	Retardo de Encolamiento (seg)
<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.00001.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput de 0.1 bits/seg.	<b>Nodo 2-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.0000006 sseg..
<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene una utilización de 0.8.	<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene un Throughput que inicia en 8.000.000 bits/seg.	<b>Nodo 1-Nodo 3:</b> Se tiene un retardo de encolamiento de 0.000003 seg.

Tabla 4.42 Medidas en los enlaces, Escenario 3-Prueba 3

Las gráficas correspondientes a los valores consignados en la tabla anterior se muestran a continuación.

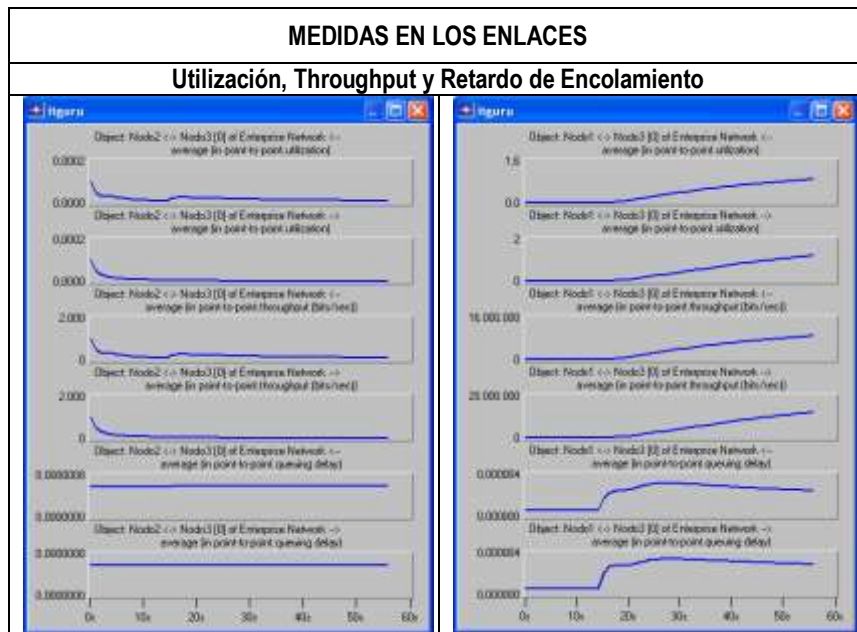


Figura 4. 31 Gráficas de las medidas en los enlaces, Escenario 3-Prueba 3

En esta prueba se verificó que cuando se aumenta la distancia entre los nodos de la red, este incremento se refleja de igual forma en las medidas a nivel de enlace de Ethernet, donde se observa que los valores de los parámetros del canal, el retardo y la carga se incrementan, dando lugar a una disminución de la eficiencia del desempeño de la red donde ya no se puede garantizar la Calidad de Servicio deseada.

De las pruebas realizadas en el escenario 3 se verificó que cuando se incrementa el tamaño de la red más de 40km (120 km) todos los parámetros de desempeño (retardo, jitter y pérdida de tramas) se ven afectados negativamente puesto que se están variando parámetros físicos como es la distancia entre los nodos y se deteriora la señal, al exceder la distancia donde ya no se proporciona calidad de servicio y se hace necesario la utilización de amplificadores.

Finalmente después de haber analizado el comportamiento de la red Metro Ethernet Óptica a nivel de simulación, mediante la observación de la variación de los parámetros de desempeño, se procede a describir las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los objetivos propuestos en este trabajo de grado se alcanzaron satisfactoriamente, además a través del desarrollo de este trabajo se adquirieron conocimientos relacionados con la tecnología Metro Ethernet y la implementación de mecanismos de Calidad de Servicio a nivel de enlace.

### RESPECTO AL TRABAJO.

El estudio realizado permitió evaluar el impacto de la implementación de un mecanismo de prestación de Calidad de Servicio definido, más específicamente a través de la configuración de Redes de Área Local Virtuales o VLAN en una red característica<sup>20</sup>, observando el comportamiento de la red cuando se aplica la priorización de cada flujo de datos para satisfacer los requerimientos de aquellos tráficos más sensibles; esto midiendo los parámetros de desempeño en la red.

Es importante resaltar que la identificación de los valores límites de los parámetros de desempeño de cada una de las aplicaciones establecidas como referencia para el desarrollo del trabajo, porque permitirán determinar el grado de servicio que cada una de ellas debe proporcionar, brindando la información para establecer la configuración más apropiada de cada aplicación y finalmente definir cuál es la mejor opción para trabajar.

Además gracias a la investigación efectuada se concluyó que los parámetros de calidad elegidos para el estudio fueron suficientes y aportaron la información necesaria para evaluar el desempeño de la Calidad de Servicio; sin embargo también se analizaron ciertos parámetros propios de la tecnología Ethernet, ofrecidos por la herramienta de simulación, con el objetivo de observar más detenidamente el comportamiento a nivel de enlace de la red elegida.

Con el desarrollo de este trabajo de grado se obtuvo un amplio conocimiento de la tecnología Metro Ethernet Óptica y la Calidad de Servicio en este tipo de redes, un tema de mucha relevancia en la actualidad a nivel investigativo en la línea de Calidad de Servicio del GNTT; sirviendo como una base conceptual para temas abordados en cursos y asignaturas del programa de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones que traten con temáticas relacionadas.

Este trabajo de grado es de gran utilidad para los proveedores y operadores de red, debido a las ventajas que ofrece la evaluación de la implementación de un adecuado mecanismo de QoS con el fin de obtener un mejor desempeño de las redes metropolitanas Ethernet, y de esta manera lograr una mejor percepción de Calidad de Servicio de los usuarios.

Se considera de suma importancia, para un análisis más profundo, el planteamiento de diversos escenarios de red, en los que se tengan en cuenta la variación de la mayoría de los parámetros físicos que inciden en el comportamiento de una red.

Finalmente fue posible establecer que es de vital importancia contar con una potente herramienta de simulación en este tipo de temáticas, que proporcione los medios necesarios para poder realizar todas las pruebas y de igual forma posibilite la adecuada y fácil configuración de los diferentes elementos que conforman el modelo de red y el montaje de los distintos escenarios de simulación. En consecuencia, fue necesario explorar diferentes opciones para realizar una selección apropiada de la herramienta de simulación para el desarrollo de este proyecto.

---

<sup>20</sup> Modelo aproximado de Red Metro Ethernet



## RESPECTO A LA CALIDAD DE SERVICIO Y A LA SIMULACIÓN

- En una red Metro Ethernet Óptica es posible asegurar Calidad de Servicio mediante la implementación de VLANs para asegurar que el tráfico más sensible al retardo no se vea afectado por ninguna de las características propias de la red.
- Los parámetros técnicos más importantes que afectan el desempeño de la red Metropolitana Ethernet son la distancia total entre los nodos de la red, el número de nodos que tiene la red y en consecuencia el número de usuarios que soporta la misma.
- El ancho de banda es otro de los factores físicos que mejoran el comportamiento de la red aumentando la eficiencia de la misma.

El análisis de los resultados de la simulación se presenta a continuación:

- Se comprobó que el comportamiento de los parámetros de desempeño cuando se implementan las VLANs en la red es mucho más eficiente en comparación al desempeño de la misma sin la configuración de este mecanismo de Calidad de Servicio.
- Se observó que una configuración de la priorización de los flujos conforme a lo establecido en la tabla de prioridades del estándar IEEE802.1P/Q, es la que proporciona el mejor desempeño de la red; donde la mayor de las prioridades es asignada a la aplicación de VoIP por ser más sensible al retardo y al Jitter.
- Se comprobó que cuando se configura la aplicación de FTP con la mayor de las prioridades el comportamiento de la red presenta las condiciones más desfavorables en comparación con las otras alternativas.
- Gracias a las pruebas realizadas en el escenario 1 se determinó que la asignación de prioridades mas adecuada según el tipo de aplicación es VoIP, Videoconferencia y FTP, configuración que será usada en las demás pruebas realizadas en la simulación.
- Se comprobó que el incremento del número de usuarios, aumenta la carga de la red y esto ocasiona que se eleven los valores de los parámetros de desempeño, es decir que se eleva el valor del retardo de extremo a extremo.
- Se observó que cuando se hace más grande la distancia entre los nodos de la red todos los parámetros de desempeño se ven afectados negativamente evidenciando un incremento en cada uno de ellos.
- Se verificó que utilizando un tamaño de red superior al establecido por el MEF, el comportamiento de los parámetros de desempeño es deficiente.
- Fue posible observar en las medidas del canal Ethernet que la aplicación de videoconferencia presenta la mayor proporción de tráfico en la red, por lo tanto realiza la mayor utilización del canal y de igual forma se aumenta el retardo y carga Ethernet de la red.
- También se observó en las medidas del canal Ethernet que la aplicación de VoIP presenta un valor menor de tráfico, Retardo, Carga y Utilización en comparación con Videoconferencia, las cuales son las aplicaciones más sensibles al retardo y al Jitter y debido a esto en las medidas tomadas a nivel de aplicaciones, VoIP tiene un mejor comportamiento que Videoconferencia.
- En las medidas obtenidas en las VLANs se observó que el mejor comportamiento de la red se obtiene cuando la configuración de prioridades hace la asignación de la mayor prioridad a VoIP, porque en este caso hay una mayor proporción de tráfico enviado y recibido en la red y por lo tanto se disminuye el tráfico descartado.

De los resultados obtenidos se puede concluir que el mecanismo de Calidad de Servicio a nivel de enlace basado en la implementación de VLANs, proporciona un mejor comportamiento de los parámetros de desempeño y a su vez mejora la eficiencia de la red.

## RECOMENDACIONES

Es de gran importancia para la realización de diferentes trabajos de grado, contar con herramientas potentes de simulación de redes de Telecomunicaciones como la denominada OPNET MODELER, la cual por necesitar de licencia no es de posible acceso a los estudiantes. Esta es una herramienta de fácil manipulación y muy completa en comparación con esta misma herramienta en su versión académica.

Es de gran importancia estudiar en forma completa y detallada las posibles limitaciones de las diferentes opciones de las herramientas de simulación de las que se disponen para el desarrollo del trabajo, con el fin de elegir la opción que mas se adecue para el propósito del mismo.

Adicionalmente se ve la necesidad de realizar trabajos de grado relacionados con la tecnología Ethernet, temática que ha tenido gran evolución y penetración en el sector de las telecomunicaciones y que en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca no han sido numerosos.

Finalmente es posible decir que aún resta una gran labor en cuanto al análisis de la implementación de mecanismos de Calidad de Servicio a nivel de enlace en redes Metropolitanas Ópticas basadas en tecnología Ethernet, mas precisamente en ciertos aspectos mencionados a continuación:

- Se recomienda realizar trabajos encaminados al desarrollo de un nuevo mecanismo o esquema que sea capaz de proporcionar Calidad de Servicio en la red.
- Es necesario efectuar un estudio del comportamiento de la Calidad de Servicio en redes Ópticas Metropolitanas Ethernet en los niveles superiores que muestre la importancia del soporte de QoS a nivel de enlace.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CISCO SYSTEMS. "Servicios y soluciones Metro Ethernet", 2005. [PDF] Documento disponible en: <http://www.cisco.com/web/LA/docs/ppt/MetroEthernetBDM.ppt>
- [2] HABIB, I. et al. Guest Editorial Advances in Metropolitan ÓPTICAL Networks (Architecture and Control). IEEE Journal On Selected Areas In Communications, vol. 22, No. 8, Octubre. 2004. [PDF] Documento disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/49/29532/01339399.pdf>
- [3] CISCO SYSTEM. "Metro Ethernet Conjunto de Herramientas para Ventas". [PDF] Documento disponible en: [www.cisco.com/web/LA/docs/doc/MetroESalesToolkitFinal.doc](http://www.cisco.com/web/LA/docs/doc/MetroESalesToolkitFinal.doc)
- [4] PUBLICACIONES MKM. "COLT obtiene el Premio al Mejor Proveedor de Servicios 2007 en EMEA en el Metro Ethernet Forum", 2007. Artículo disponible en: <http://www.mkm-pi.com/mkmpi.php?article876>
- [5] HAWKINS, John. "State of the Industry for ÓPTICAL Ethernet.MEF-Nortel Networks". 2003. [PDF] Documento disponible en: [http://metroethernetforum.org/PDF\\_Documents/MEF%20NFOEC%20Hawkins%20Preso%20v1.2.pdf](http://metroethernetforum.org/PDF_Documents/MEF%20NFOEC%20Hawkins%20Preso%20v1.2.pdf)
- [6] "Curso de doctorado Redes y Sistemas Ópticos de Telecomunicación". [PDF] Documento disponible en: <http://www.gco.upv.es/es/webdocente/redes/transpar/ro8nuevo.pdf>
- [7] Wang, Jiyang. "ÓPTICAL Ethernet: Making Ethernet Carrier Class for Professional Services". 2004. [PDF] Documento disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?tp=&arnumber=1323292&isnumber=29301](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=1323292&isnumber=29301)
- [8] Gualyani, Manish y Gautier, Yannick. "Network Evolution: Network Domain Layer Convergence". 2006. Documento disponible en: [http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/articlepaperlibrary/html/ATR2003Q3/ATR2003Q3A04\\_EN.jhtml;jsessionid=TEZEK4TWJNK0RLAWFRUE1D3MCYWGI3GC?DARGS=/common/atr/DATR\\_table\\_of\\_contents.jhtmlA&DAV=/com/en/appxml/articlepaperlibrary/networkevolutionnetworkdomainlayerconvergencecm17217491635.jhtml](http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/articlepaperlibrary/html/ATR2003Q3/ATR2003Q3A04_EN.jhtml;jsessionid=TEZEK4TWJNK0RLAWFRUE1D3MCYWGI3GC?DARGS=/common/atr/DATR_table_of_contents.jhtmlA&DAV=/com/en/appxml/articlepaperlibrary/networkevolutionnetworkdomainlayerconvergencecm17217491635.jhtml)
- [9] Sánchez Gómez, Gustavo. "MetroEthernet", 2005. Artículo disponible en: [www.rediris.es/jt/jt2005/archivo/ficheros/MetroEthernet-RedIris.ppt](http://www.rediris.es/jt/jt2005/archivo/ficheros/MetroEthernet-RedIris.ppt)
- [10] "Ethernet Óptica: Introducción, descripción y aplicaciones", Documento disponible en: [http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/PRG\\_0599.EXE/7582\\_4.PDF?NrOcoSis=21744&CdLinPrg=pt](http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin/PRG_0599.EXE/7582_4.PDF?NrOcoSis=21744&CdLinPrg=pt).
- [11] Sivarajan, Kumar; Santitoro, Ralph; Easley, Craig. "The 5 Attributes of Carrier Ethernet & Industry Specifications". [PDF] Documento disponible en: [metroethernetforum.org/.../20070924%2009\\_40%20Introduction%20to%20Carrier%20Ethernet%20-%20Final.ppt](http://metroethernetforum.org/.../20070924%2009_40%20Introduction%20to%20Carrier%20Ethernet%20-%20Final.ppt)
- [12] Sierra, Javier; Maya, Marcela y Betancur, Leonardo. "Proyecto Metro Ethernet en Medellín Antioquia". Universidad Pontificia Bolivariana, 2005. [PDF] Documento disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos17/metro-ethernet/metro-ethernet.shtml>

- [13] Egger, Arno Schmid y Kirstadter, Andreas. "Ethernet in Core Networks: A Technical and Economical Analysis", 2005. [PDF] Documento disponible en: [http://www.lkn.e-technik.tu-muenchen.de/~akirstaedter/papers/2006\\_HPSR\\_100G.pdf](http://www.lkn.e-technik.tu-muenchen.de/~akirstaedter/papers/2006_HPSR_100G.pdf)
- [14] Anaguano, Patricio. "Redes Públicas de Nueva Generación", 2007. [PDF] Documento disponible en: <http://www.itba.edu.ar/capis/epg-tesis-y-tf/anaguano-trabajo-final-de-especialidad.pdf>
- [15] Qgirish chiruvolu, An Ge; Elie-dit-Cosaque, David y Alí Maher Rouyer, Jessy. "Issues and Approaches on Extending Ethernet Beyond LANs", 2004. [PDF] Documento disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?tp=&arnumber=1273777&isnumber=28504](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=1273777&isnumber=28504).
- [16] "Attacking the Spanning Tree Protocol". Documento disponible en: [http://www.ciscopress.com/content/images/9781587052569/samplechapter/1587052563\\_CH03.pdf](http://www.ciscopress.com/content/images/9781587052569/samplechapter/1587052563_CH03.pdf)
- [17] CISCO SISTEM. "Chapter 13, Configuring Quality of Service", 2008. Documento disponible en: [http://www.cisco.com/en/US/docs/ÓPTICA/15000r4\\_6/ethernet/454/guide/qos\\_cf.html](http://www.cisco.com/en/US/docs/ÓPTICA/15000r4_6/ethernet/454/guide/qos_cf.html)
- [18] Xiaoming, He; Mingying, Zhu y Qingxin, Chu. "Transporting Metro Ethernet Services over Metropolitan Area Networks", 2006. [PDF] Documento disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?tp=&arnumber=1636271&isnumber=34302](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=1636271&isnumber=34302)
- [19] "An Introduction to Resilient Packet Rings", Nortel,2007. [PDF] Documento disponible en:<http://www.nortel.com/solutions/ÓPTICA/collateral/nn122480.pdf>
- [20] "Evolution of the Spanning Tree Protocol", Force10 Networks,2007. [PDF] Documento disponible en: [http://www.force10networks.com/whitepapers/pdf/F10\\_wp19\\_v1%201.pdf](http://www.force10networks.com/whitepapers/pdf/F10_wp19_v1%201.pdf)
- [21] "Alternative Multiple Spanning Tree Protocol (AMSTP) for ÓPTICA Ethernet Backbones". [PDF] Documento disponible en: [http://www.imdea.org/portals/2/institutos/networks/Alternative\\_Multiple\\_Spanning\\_Tree\\_Protocol\\_\(AMSTP\)\\_for\\_ÓPTICA\\_Ethernet\\_Backbones\\_-\\_2004\\_EN.pdf](http://www.imdea.org/portals/2/institutos/networks/Alternative_Multiple_Spanning_Tree_Protocol_(AMSTP)_for_ÓPTICA_Ethernet_Backbones_-_2004_EN.pdf)
- [22] "BLADE 802.1s Spanning Tree and Interoperability with Cisco", Blade Network Technologies, 2006. [PDF] Documento disponible en: [http://www.bladenetwork.net/media/PDFs/WP\\_8021s\\_SpanningTree\\_Cisco.pdf](http://www.bladenetwork.net/media/PDFs/WP_8021s_SpanningTree_Cisco.pdf)
- [23] RED IRIS. "Ethernet: de 2.94 a 1000 Mb/s en 25 años Tercera Parte: El funcionamiento", 2007. Artículo disponible en: <http://www.rediris.es/rediris/boletin/49/enfoque3.html>
- [24] "Ethernet: de 2.94 a 1000 Mb/s en 25 años Tercera Parte: El funcionamiento". Documento disponible en: <http://www.rediris.es/rediris/boletin/49/enfoque3.html>
- [25] Hens, Francisco y Caballero, Jose.. "QoS in Metro Ethernet Provision and Testing",Trend Communications, 2005. [PDF] Documento disponible en: [http://www.trendtest.com/trendweb/resource.nsf/viFileURLLookup/QoS+Metro/\\$FILE/an.QoS.metro.pdf](http://www.trendtest.com/trendweb/resource.nsf/viFileURLLookup/QoS+Metro/$FILE/an.QoS.metro.pdf)
- [26] Santitoro, Ralph. "Metro Ethernet Services - A Technical Overview". [PDF] Documento disponible en: <http://www.metroethernetforum.org/metro-ethernet-services.pdf>

- [27] Almes, G; Kalidindi, S y Zekauskas, M. "A One-way Delay Metric for IPPM (RFC 2679)", 1999. Documento disponible en: <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2679.html>
- [28] ITU-T Rec. G 1010 "Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks. Quality of service and performance". 2001. Documento PDF disponible en: <http://www.laas.fr/~eexposit/pmwiki/pmwiki.php/Refs/Main?action=download&upname=G1010.pdf>
- [29] España María, "Servicios Avanzados de Telecomunicaciones", 2003. Pág.18 y 19.
- [30] Bellido, Luis; Lopez de Vergara, Jorge E y González, Francisco. "Metodología para la Evaluación de Servicios de Telecomunicaciones desde la Perspectiva del Usuario", Universidad Politécnica de Madrid, 2005. [PDF] Documento disponible en: <http://jungla.dit.upm.es/~jlopez/publicaciones/telecomid04lbt.pdf>
- [31] "IP Performance Metrics (ippm)", 2008. <http://www.ietf.org/html.charters/ippm-charter.html>
- [32] Galiano, Berna. "Curso selectivo perfil Sistemas" [PDF] Documento disponible en: [http://www.ua.es/es/servicios/syf/formacion/cursos\\_programados/2007/otrasconvocatorias/documentacion/tema\\_6\\_1.pdf](http://www.ua.es/es/servicios/syf/formacion/cursos_programados/2007/otrasconvocatorias/documentacion/tema_6_1.pdf)
- [33] Demichelis, C. "IP Packet Delay Variation Metric (RFC 3393)", 2002. Documento disponible en: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt>
- [34] Semeria, Chuck, "Supporting Differentiated Service Classes: Queue Scheduling Disciplines", Juniper Networks White paper. 2001. Documento disponible en: <http://cnscenter.future.co.kr/resource/rsc-center/vendor-wp/juniper/200019.pdf>
- [35] OPNET IT GURU, "Documentación disponible en la herramienta de simulación". 2001.
- [36] Álvarez M, Sebastián y González V, Agustín. "Estudio y configuración de Calidad de Servicio para Protocolos IPV4 e IPV6 en una red de fibra óptica WDM", Universidad Técnica Federico Santa María, 2005. [PDF] Documento disponible en: <http://www.ist-mobydick.org/publications/cita2002.pdf>
- [37] Herberling, Allen. "IEEE P802.15 Wireless Personal Area Networks", 2001. Documento disponible en: [http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2001/Nov01/01469r2P802-15\\_TG3-QoS-Policy-Proposal.doc](http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2001/Nov01/01469r2P802-15_TG3-QoS-Policy-Proposal.doc)
- [38] "802.1Q IEEE Standards for Local and metropolitana área networks. Virtual Bridged Local Area Networks", 2003. [PDF] Documento disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2003.pdf>
- [39] "Technical Specification MEF 12 Metro Ethernet Network Architecture Framework Part 2: Ethernet Services Layer", 2005. [PDF] Documento disponible en: <http://metroethernetforum.org/PDFs/Standards/MEF12.pdf>
- [40] "Formato de la Trama Ethernet". [PDF] Documento disponible en: <http://humbertofp.files.wordpress.com/2008/01/trmas.pdf>
- [41] Cintel, Panorama de las telecomunicaciones en Colombia 2007, 2007. [PDF] Documento disponible en: [http://66.98.248.31/andicom/export/download/comunicados/Panorama\\_Telecomunicaciones.pdf](http://66.98.248.31/andicom/export/download/comunicados/Panorama_Telecomunicaciones.pdf)

[42] Salazar, Jorge y Mora, Liz, "Criterios para el Diseño de una Red de Paquetes IP sobre una Red Óptica DWDM (IPoDWDM)", Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, 2003.

[43] Escallón, Felipe y Barrios, James. "Criterios para el Monitoreo del Canal Óptico y la Incidencia de los Parámetros que afectan la Calidad de la señal Óptica en el desempeño de una Red Metropolitana WDM. FIET, Universidad del Cauca. 2008.

[44] Jacobs, A; Wernicke, S; Oral, B y George, A. "Experimental Characterization of QoS in Commercial Ethernet Switches for Statistically Bounded Latency in Aircraft Networks", 2004. Documento PDF disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/9433/29935/01367218.pdf?arnumber=1367218>

[45] "Gigabit Ethernet Technology and Solutions". [PDF] Documento disponible en: [http://www.intel.com/network/connectivity/resources/doc\\_library/white\\_papers/gigabit\\_ethernet/gigabit\\_ethernet.pdf](http://www.intel.com/network/connectivity/resources/doc_library/white_papers/gigabit_ethernet/gigabit_ethernet.pdf)

[46] Pachón, Álvaro. "Ethernet". Universidad Icesi. [PDF] Documento disponible en: <http://dimeint.com.mx/PDF/ETHERNET.pdf>

[47] García, Carlos; Valera, Francisco y Díaz, Luis M. "Experiencias con Redes Privadas Virtuales de Nivel 2 sobre una infraestructura óptica metropolitana de IP sobre DWDM", Universidad Carlos III de Madrid, 2003. [PDF] Documento disponible en: [http://www.it.uc3m.es/preambulo/resources/jitel\\_vpn2\\_def.pdf](http://www.it.uc3m.es/preambulo/resources/jitel_vpn2_def.pdf)

[48] García, C; Valera, F y Bellido, L. "Diseño, despliegue y utilización de una red óptica metropolitana IP-DWDM". 2004. [PDF] Documento disponible en: <http://www.rediris.es/rediris/boletin/66-67/ponencia8.pdf>

[49] "Transmision de datos industriales Ethernet". Documento disponible en: [http://www.westermo.com/dman/Document.phx/Espanol/Ethernet+Handbook+5.0+Spanish/Ethernet\\_catalog\\_part1.pdf?folderId=%2FEspanol%2FEthernet+Handbook+5.0+Spanish&cmd=download](http://www.westermo.com/dman/Document.phx/Espanol/Ethernet+Handbook+5.0+Spanish/Ethernet_catalog_part1.pdf?folderId=%2FEspanol%2FEthernet+Handbook+5.0+Spanish&cmd=download)

[50] Janowski, Robert; Krawiec, Piotr y Burakowski, Wojciech. "On assuring QoS in Ethernet Access network", Warsaw University of Technology. Poland. 2007. [PDF] Documento disponible en: [http://tnt.tele.pw.edu.pl/include/members/Artikuly/paper\\_icns07\\_v6.pdf](http://tnt.tele.pw.edu.pl/include/members/Artikuly/paper_icns07_v6.pdf)

[51] He, Xiaoming; Zhu, Mingying y Chu, Qingxin. "Traffic Engineering for Metro Ethernet Based on Multiple Spanning Trees", School of Electronic and Information Engineering South China University of Technology, 2006. [PDF] Documento disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/10841/34159/01628343.pdf?isnumber=34159&prod=CNF&arnumber=1628343&arSt=+97&ared=+97&arAuthor=Xiaoming+He%3B+Mingying+Zhu%3B+Qingxin+Chu>

[52] Garcia , Gabriel. "Desarrollo de Plano de Gestión para una Red MPLS", Universidad Politécnica de Catalunya, 2005. [PDF] Documento disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3781/2/40628-2.pdf>

[53] "Practica No. 4 VLANs", Instituto Politecnico Nacional, 2004. [PDF] Documento disponible en: <http://usuarios.lycos.es/mydesire/PracticaNo.4VLANs.pdf>

[54] Vicente, Carlos. "Introducción a Switching Ethernet". [PDF] Documento disponible en: <http://ws.edu.isoc.org/workshops/2004/CEDIA/presentaciones/cv/switching/Switching-Ethernet.pdf>

- [55] "LAN Switching y VLANs". [PDF] Documento disponible en: [http://personals.ac.upc.edu/joseb/std\\_t2\\_d\\_01.pdf](http://personals.ac.upc.edu/joseb/std_t2_d_01.pdf)
- [56] Collado, Eduardo. "CCNA-CNAP Capítulo 3: Las VLAN", 2004. [PDF] Documento disponible en: [http://www.edua\[ngi.com/documentos/3\\_CCNA2.pdf](http://www.edua[ngi.com/documentos/3_CCNA2.pdf)
- [57] "Introducción a las VLANs 802.1Q". Documento disponible en: [gsync.escet.urjc.es/moodle/file.php/37/moddata/forum/115/10283/1.A\\_B\\_2\\_clase\\_VLAN\\_CONSTRUCTION.ppt](http://gsync.escet.urjc.es/moodle/file.php/37/moddata/forum/115/10283/1.A_B_2_clase_VLAN_CONSTRUCTION.ppt)
- [58] C. Muñoz, J. Muñoz, "Metodología para la Simulación de Equipos de Telecomunicaciones", Trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Popayán, 1995.
- [59] Magana, Eduardo; Izkue, Edurne y Villadangos, Jesús. "Análisis de Prestaciones de un Planificador de Tráfico sobre Plataformas de Propósito General". Universidad Pública de Navarra, 2001. [PDF] Documento disponible en: <https://www.tlm.unavarra.es/~eduardo/publicaciones/20010403-alcom>
- [60] "Práctica 3 Redes de Área Local Virtuales". [PDF] Documento disponible en: [http://ceres.ugr.es/it/ral/downloads/p3\\_ral\\_curso20062007.pdf](http://ceres.ugr.es/it/ral/downloads/p3_ral_curso20062007.pdf)
- [61] Canet, Cesc y Zaballos, Juan Agustín. "Security Labs in OPNET IT Guru. Ingeniería i Arquitectura La Salle", Universitat Ramon Llull, 2004. [PDF] Documento disponible en: [http://www.opnet.com/university\\_program/teaching\\_with\\_opnet/textbooks\\_and\\_materials/index.html](http://www.opnet.com/university_program/teaching_with_opnet/textbooks_and_materials/index.html)
- [62] García, Carlos; Valera, Francisco y Díaz, Luis M. "Experiencias con Redes Privadas Virtuales de Nivel 2 sobre una infraestructura óptica metropolitana de IP sobre DWDM", Universidad Carlos III de Madrid, 2003. [PDF] Documento disponible en: [http://www.it.uc3m.es/preambulo/resources/jitel\\_vpn2\\_def.pdf](http://www.it.uc3m.es/preambulo/resources/jitel_vpn2_def.pdf)
- [63] Herrera, José Miguel. "NS-2 Network Simulator". Valparaíso, 2004. [PDF] Documento disponible en: <http://www.inf.utfsm.cl/~jherrera/docs/mios/ns.pdf>
- [64] "Herramientas Software para la Simulación de Redes de Comunicaciones". [PDF] Documento disponible en: <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/NCTUnsReferences/capitulo4.pdf>
- [65] Riabov, Vladimir. "Networking Simulation Labs in Web-enhanced IT Classes". 2006. Documento disponible en: [faculty.rivier.edu/vriabov/NCTT-9-Curriculum-Workshop-2006-Riabov.ppt](http://faculty.rivier.edu/vriabov/NCTT-9-Curriculum-Workshop-2006-Riabov.ppt)
- [66] "Redes de Computadores". [PDF] Documento disponible en: <http://www.redes.upv.es/rds/es/practicas/Introduccion.pdf>