

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

PROGRAMA DE GRADUADOS EN ELECTRÓNICA,  
COMPUTACIÓN, INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES



SIMULACIÓN COMPUTACIONAL COMO COMPLEMENTO A DISEÑO  
TOPOLÓGICO BASADO EN HEURÍSTICAS.

**TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN SISTEMAS  
COMPUTACIONALES

POR:

ROGELIO GUTIÉRREZ DELGADO

MAYO DE 2003

**SIMULACIÓN COMPUTACIONAL COMO COMPLEMENTO A DISEÑO  
TOPOLÓGICO BASADO EN HEURÍSTICAS.**

**POR:**

**ROGELIO GUTIÉRREZ DELGADO**

**TESIS**

Presentada al Programa de Graduados en Electrónica, Computación,  
Información y Comunicaciones.

Este trabajo es requisito parcial para obtener el título de

Maestro en Ciencias con Especialidad en Sistemas  
Computacionales.

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**MAYO DE 2003**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY**

**DIVISIÓN DE ELECTRÓNICA, COMPUTACIÓN,  
INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES**

**PROGRAMAS DE GRADUADOS EN ELECTRÓNICA,  
COMPUTACIÓN, INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la presente tesis del Ing. Rogelio Gutiérrez Delgado sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias con Especialidad en Sistemas Computacionales.

**Comité de tesis:**

---

Juan A. Nolzco Flores, Ph. D.  
Asesor

---

César Vargas Rosales, Ph. D.  
Sinodal

---

Gerardo A. Castañon A., Ph. D.  
Sinodal

---

David Alejandro Garza Salazar, Ph. D.  
Director del Programa de Graduados en Electrónica,  
Computación, Información y Comunicaciones.

MAYO DE 2003

## ***Dedicatoria***

*A mi madre y a mi hermano José Luis por su apoyo incondicional durante el desarrollo de toda mi vida. Los amo, son las personas que más admiro y respeto.*

*Gracias.*

## *Agradecimientos*

*A Dios por guiarme y escuchar mis oraciones.*

*A mi hermano Martín por su apoyo y por ser el compañero de toda una vida.*

*A mis hermanos Beatriz y Armando por su apoyo y consejos.*

*A mis sobrinos Armando, Marielle, Tania, Andrea, María Fernanda y especialmente a Giselle por su cariño y amor.*

*A mis amigos Luis, Martha, Alfredo, Catos, Juan Carlos, Daniel y Kelo por su amistad incondicional y un agradecimiento especial a Erick Santos por sus consejos y apoyo para la realización de esta tesis.*

*Al Ph.D. Juan A. Nolazco Flores por el enorme apoyo brindado para la realización de esta tesis, por ser una maestro, asesor y sobre todo un amigo.*

*Agradezco al Ph.D. Cesar Vargas Rosales y al Ph.D. Gerardo A. Castañon por sus valiosas contribuciones para el desarrollo de esta tesis.*

*Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), así como al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de Maestría.*

*Al Centro de Investigación en Informática por el apoyo para la realización de esta tesis.*

*Gracias*

# *Resumen*

En el presente trabajo de tesis se presenta una comparación del tiempo de atraso promedio obtenido del diseño de una red utilizando algoritmos heurísticos con el atraso de la misma red cuando se simula. La ventaja del diseño heurístico es que permite diseñar redes a partir de requerimientos de tiempo de atraso promedio de la red, de costo y de confiabilidad. Por otro lado la ventaja de la simulación computacional de una red de datos es que permite observar detalles que no se toman en cuenta en el diseño heurístico. Por ejemplo la función de distribución de atraso de la red.

La metodología que se siguió fue dada una red de datos, y sus requerimientos, se desarrolla el diseño utilizando algoritmos heurísticos usando el paquete “Econets” [Sharma, 1997]. Posteriormente, usando los resultados en la primera etapa, se desarrolló la simulación utilizando el paquete de simulación de redes “Comnet”.

Los resultados muestran que no existe diferencia entre los valores promedios del tiempo de atraso obtenidos por “Econets” y “Comnet”. Sin embargo es importante destacar que se requiere tener mucho cuidado al “sintonizar” los parámetros de diseño de los paquetes heurísticos y la parte correspondiente en la modelación utilizada en la simulación. También se observó que algunos datos de diseño son muy sensibles y tienen gran efecto en el diseño y por lo tanto en el cálculo del tiempo promedio de atraso.

# Tabla de Contenido

<b>Dedicatoria</b> .....	i
<b>Agradecimientos</b> .....	ii
<b>Resumen</b> .....	iii
<b>Tabla de Contenido</b> .....	iv
<b>Lista de Gráficas</b> .....	vi
<b>Lista de Tablas</b> .....	viii
<b>Capítulo 1 Introducción</b> .....	1
1.1 Prefacio.....	1
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Metodología.....	2
1.4 Estructura de la Tesis.....	3
<b>Capítulo 2 Redes de Datos, Diseño y Simulación de Redes</b> .....	4
2.1 Conceptos básicos de redes.....	4
2.1.1 Cobertura geográfica de redes.....	4
2.1.2 Métodos de acceso.....	5
2.1.3 Topología de la red.....	5
2.1.4 Técnicas de transmisión y multiplexado.....	9
2.1.5 Técnicas de administración y control de la red.....	10
2.2 Diseño de Redes.....	12
2.2.1 Conceptos del análisis y diseño de sistemas.....	12
2.2.2 Diseño de redes.....	12
2.2.3 Algoritmo generalizado para el diseño de todas las topologías de red.....	14
2.2.4 Algoritmo para diseñar una red con topología estrella.....	15
2.2.5 Algoritmo para diseñar una red con topología de enlace directo...	15
2.2.6 Algoritmo para diseñar una red con topología “multidrop”.....	16
2.3 Simulación de Redes.....	17
<b>Capítulo 3 Retraso en Redes de Datos</b> .....	19
3.1 Introducción.....	19
3.2 Modelos de Sistemas de Colas.....	20
3.2.1 Teorema de Little.....	20
3.2.2 Sistemas de colas M/M/1.....	20
3.2.3 Sistemas de colas M/D/1.....	21
3.3 Redes de Líneas de Transmisión.....	22
3.4 Tiempo de atraso en Econets.....	24
3.5 Tiempo de atraso en Comnet.....	26
3.5.1 Modelación de un nodo en Comnet.....	26
3.5.2 Retraso en la creación de paquetes (“Packetizing Delay”).....	27
3.5.3 Retraso por procesamiento de paquete.....	27
3.5.4 Algoritmos de encaminamiento (“Route”).....	27

3.5.5 Estadísticas obtenidas en Comnet para el tiempo de atraso.....	28
<b>Capítulo 4 Cálculo de tiempo promedio de atraso con la información generada por la simulación.....</b>	<b>30</b>
<b>Capítulo 5 Experimentos y Resultados.....</b>	<b>33</b>
5.1 Diseño de experimentos.....	33
5.2 Resultados.....	35
<b>Capítulo 6 Conclusiones y Trabajos a Futuro.....</b>	<b>39</b>
6.1 Conclusiones.....	39
6.2 Trabajos a Futuro.....	40
<b>Anexo 1 DELITE.....</b>	<b>42</b>
A.1.1 Creación de un diseño de red en DELITE.....	42
A.1.2 Principales archivos o tablas usadas por DELITE.....	43
A.1.3 Tabla general de parámetros usados por DELITE.....	43
A.1.4 Cálculo del tiempo de atraso en DELITE.....	46
<b>Anexo 2 ECONETS.....</b>	<b>47</b>
<b>Anexo 3 COMNET III.....</b>	<b>51</b>
<b>Anexo 4 Otros importantes simuladores.....</b>	<b>54</b>
<b>Anexo 5 Experimentos.....</b>	<b>56</b>
A.5.1 Experimento 1.....	57
A.5.2 Experimento 2.....	61
A.5.3 Experimento 3.....	65
A.5.4 Experimento 4.....	69
A.5.5 Experimento 5.....	73
A.5.6 Experimento 6.....	77
A.5.7 Experimento 7.....	81
A.5.8 Experimento 8.....	85
A.5.9 Experimento 9.....	89
<b>Anexo 6 Tablas de diseño de Econets.....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo 7 Tutorial Econets.....</b>	<b>97</b>
<b>Anexo 8 Tutorial Delite.....</b>	<b>105</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>113</b>
<b>VITA.....</b>	<b>115</b>

## *Lista de Gráficas*

<b>Gráfica 2.1.3.1</b> Topología Malla.....	6
<b>Gráfica 2.1.3.2</b> Topología “Multidrop”.....	7
<b>Gráfica 2.1.3.3</b> Topología Enlace Directo.....	8
<b>Gráfica 2.1.3.4</b> Topología Estrella.....	8
<b>Gráfica 2.1.3.5</b> Topología “Bus”.....	8
<b>Gráfica 2.1.3.6</b> Topología Anillo.....	9
<b>Gráfica 2.1.4.1</b> Técnica de multiplexado por división de tiempo.....	10
<b>Gráfica 2.2.1.1</b> Interacción entre técnicas de modelación análisis y diseño.....	12
<b>Gráfica. 3.3.1</b> Dos líneas de transmisión con igual capacidad en tándem.....	22
<b>Gráfica. 3.3.2</b> Dos líneas de transmisión con la aproximación de independencia de Kleinrock.....	23
<b>Gráfica 3.4.1</b> Modelo de un camino (“path”) de comunicación en una red PSN.....	24
<b>Gráfica 3.4.2</b> Modelo de una cola en un nodo PS.....	24
<b>Gráfica.3.5.1.1</b> Arquitectura de un nodo C&C.....	27
<b>Gráfica. 4.1</b> Red con flujos de tráfico $\lambda_i$ entre cada par de nodos.....	31
<b>Gráfica. 4.2</b> Encaminamiento de paquetes entre los nodos de la red.....	31
<b>Gráfica. 5.1.1</b> Detalle de la metodología general para la comparación de resultados.....	34
<b>Gráfica 5.2.1</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 1.....	36
<b>Gráfica A.5.1.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 1.....	58
<b>Gráfica A.5.1.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 1.....	58
<b>Gráfica A.5.1.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 1.....	60
<b>Gráfica A.5.2.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 2.....	62
<b>Gráfica A.5.2.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 2.....	62
<b>Gráfica A.5.2.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 2.....	64
<b>Gráfica A.5.3.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 3.....	66
<b>Gráfica A.5.3.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 3.....	66
<b>Gráfica A.5.3.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 3.....	68
<b>Gráfica A.5.4.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 4.....	70
<b>Gráfica A.5.4.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 4.....	70
<b>Gráfica A.5.4.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 4.....	72

<b>Gráfica A.5.5.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 5.....	74
<b>Gráfica A.5.5.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 5.....	74
<b>Gráfica A.5.5.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 5.....	76
<b>Gráfica A.5.6.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 6.....	78
<b>Gráfica A.5.6.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 6.....	78
<b>Gráfica A.5.6.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 6.....	80
<b>Gráfica A.5.7.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 7.....	82
<b>Gráfica A.5.7.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 7.....	82
<b>Gráfica A.5.7.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 7.....	84
<b>Gráfica A.5.8.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 8.....	86
<b>Gráfica A.5.8.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 8.....	86
<b>Gráfica A.5.8.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 8.....	88
<b>Gráfica A.5.9.1</b> Topología del diseño en Econets para el experimento 9.....	90
<b>Gráfica A.5.9.2</b> Topología del diseño en Comnet para el experimento 9.....	90
<b>Gráfica A.5.9.3</b> Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 9.....	92
<b>Gráfica A.7.1</b> Pantalla con la información del calculo de COGs.....	101
<b>Gráfica A.7.2</b> Pantalla con la información del archivo “COGF.TXT”.....	102
<b>Gráfica A.7.3</b> Pantalla con el diseño usando “StartDataNet”.....	103
<b>Gráfica A.7.4</b> Pantalla con la información del archivo “ALFSD1.TXT”.....	104
<b>Gráfica A.8.1</b> Pantalla “Random Site in SqWorld” de DELITE.....	105
<b>Gráfica A.8.2</b> Pantalla con información del archivo Tutorial1.gen.....	106
<b>Gráfica A.8.3</b> Pantalla para seleccionar el archivo Tutorial1.gen.....	107
<b>Gráfica A.8.4</b> Pantalla con información del archivo Tutorial1.CST.....	108
<b>Gráfica A.8.5</b> Pantalla con información del archivo Tutorial1.INP.....	109
<b>Gráfica A.8.6</b> Pantalla con información del archivo Tutorial1.REQ.....	109
<b>Gráfica A.8.7</b> Pantalla principal con la información de los nodos del diseño.....	110
<b>Gráfica A.8.8</b> Selección de la opción de “Build Trace File”.....	111
<b>Gráfica A.8.9</b> Selección del algoritmo “PRIM”.....	111
<b>Gráfica A.8.10</b> Pantalla con información del archivo Tutorial1.REQ.....	112

## *Lista de Tablas*

<b>Tabla 4.1</b> Matriz de tráfico.....	31
<b>Tabla 5.1.1</b> Diseño de experimentos con sus principales características.....	35
<b>Tabla 5.2.1</b> Resultados de los cálculos manuales, de los obtenidos en Econets y Comnet y la diferencia de resultados obtenidos entre Econets y Comnet.....	37
<b>Tabla 5.2.2</b> Análisis estadístico de diferencia de medias para el resultado de todos los experimentos.....	38
<b>Tabla A.1.2.1</b> Descripción de los archivos utilizados por DELITE.....	43
<b>Tabla A.1.3.1</b> Descripción de todos los parámetros de diseño usados por DELITE.....	44
<b>Tabla A.2.1</b> Descripción de los archivos usados por ECONETS.....	47
<b>Tabla A.2.2</b> Descripción de los principales parámetros del archivo SDF de ECONETS.....	49
<b>Tabla A.5.1</b> Diseño de experimentos con sus principales características.....	56
<b>Tabla A.5.1.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 1.....	57
<b>Tabla A.5.1.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para experimento 1.....	57
<b>Tabla A.5.1.3</b> Resultados de las 20 replications en Comnet para experimento 1.....	59
<b>Tabla A.5.2.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 2.....	61
<b>Tabla A.5.2.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 2.....	61
<b>Tabla A.5.2.3</b> Resultados de las 20 replications en Comnet para experimento 2.....	63
<b>Tabla A.5.3.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 3.....	65
<b>Tabla A.5.3.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para experimento 3.....	65
<b>Tabla A.5.3.3</b> Resultados de las 20 replications en Comnet para experimento 3.....	67
<b>Tabla A.5.4.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 4.....	69
<b>Tabla A.5.4.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para experimento 4.....	69
<b>Tabla A.5.4.3</b> Resultados de las 10 replications en Comnet para experimento 4.....	71
<b>Tabla A.5.5.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 5.....	73
<b>Tabla A.5.5.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para experimento 5.....	73
<b>Tabla A.5.5.3</b> Resultados de las 10 replications en Comnet para experimento 5.....	75
<b>Tabla A.5.6.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 6.....	77
<b>Tabla A.5.6.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 6.....	77
<b>Tabla A.5.6.3</b> Resultados de las 20 replications en Comnet para experimento 6.....	79
<b>Tabla A.5.7.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 7.....	81
<b>Tabla A.5.7.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 7.....	81
<b>Tabla A.5.7.3</b> Resultados de las 20 replications en Comnet para experimento 7.....	83
<b>Tabla A.5.8.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 8.....	85
<b>Tabla A.5.8.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 8.....	85
<b>Tabla A.5.8.3</b> Resultados de las 10 replications en Comnet para experimento 8.....	87
<b>Tabla A.5.9.1</b> Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 9.....	89
<b>Tabla A.5.9.2</b> Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 9.....	89
<b>Tabla A.5.9.3</b> Resultados de las 10 replications en Comnet para experimento 9.....	91
<b>Tabla A.6.1</b> Datos de la tabla “Files.txt”, con los datos de las principales tablas.....	93
<b>Tabla A.6.2</b> Datos de la tabla “VHD_E1”, con coordenadas y tráfico en el nodo.....	94

<b>Tabla A.6.3</b> Datos de la tabla “FTD_E1”, con el tráfico entre nodos.....	94
<b>Tabla A.6.4</b> Datos de la tabla “NAMES_E1”, con los nombres de los nodos.....	94
<b>Tabla A.6.5</b> Datos de la tabla “NLT_TE”, con los distintos tipos de enlaces.....	95
<b>Tabla A.6.6</b> Datos de la tabla “SW_E1”, con un solo concentrador.....	95
<b>Tabla A.6.7</b> Datos de la tabla “SDF_E1”, con los principales parámetros del diseño en Econets.....	96
<b>Tabla A.7.1.</b> Tabla con la información del archivo “FILES.TXT”.....	97
<b>Tabla A.7.2.</b> Tabla con la información del archivo “SDF_T1”.....	98
<b>Tabla A.7.3.</b> Tabla con la información del archivo “VHD_T1”.....	99
<b>Tabla A.7.4.</b> Pantalla con la información del archivo “NAMES_T1”.....	100
<b>Tabla A.7.5.</b> Pantalla con la información del archivo “SWT_T1”.....	100

## Introducción

### 1.1 Prefacio

Actualmente pensar en un mundo sin redes de telecomunicación es realmente casi imposible. Cada edificio tiene por lo menos un teléfono el cual se encuentra conectado a una de las mayores redes WAN (Wide Area Network) existentes, que es la red telefónica pública PSTN (Public switched telephone network). Otros edificios poseen también una red de área local LAN (Local Area Network) para compartir recursos y servicios.

Es difícil imaginar un edificio con un gran número de oficinas que no posea algún tipo de interconexión con alguna red privada o pública. Actualmente las redes son fundamentales para obtener dinero en efectivo de un cajero automático, manejo de valores financieros, expedición de boletos para distintos medios de transporte, comercio electrónico y virtualmente cualquier otro aspecto relacionado con nuestras vidas.

La naturaleza del transporte de datos ha cambiado radicalmente de simples bloques de texto y datos binarios a una mezcla multi-funcional de gráficas en tiempo real, animaciones, video y voz en adición a los más tradicionales bloques de datos estáticos. La velocidad también se ha incrementado, así como los equipos y los canales de transmisión se han vuelto más confiables e inmunes al ruido.

Todo esto ha conducido a una gran industria de equipo de redes, conmutadores, dispositivos de prueba e interconexión. Todos los fabricantes soportan los estándares relativos a sus productos y la tecnología del futuro. Dado que la mayoría del equipo actual posee una tasa de error muy pequeña y una transferencia de datos muy alta, es importante detectar los cuellos de botella en los sistemas en una etapa muy temprana del proceso de diseño.

Sin embargo estas redes son aun consideradas arcaicas. [Cahn, 1998]

¿Cómo es exactamente el diseño de una red de telecomunicaciones? Esta simple y fundamental pregunta desafía una respuesta simple. Una persona puede poseer un título en ciencias computacionales, ingeniería eléctrica, o investigación de operaciones y aun así no entender el proceso de diseño de redes.

Protocolos, estándares, y análisis de rendimiento son aspectos de un todo que es más grande que la suma de sus partes. [Cahn, 1998]

Adecuar el crecimiento y los cambios en redes empresariales y multi-organizacionales agrega una nueva dimensión la cual puede ser considerada como un reto tecnológico para una organización. [McCabe, 1998]

En la actualidad, debido al incremento en la complejidad de las redes computacionales, se requiere de diseñadores de redes más capacitados así como de herramientas de diseño más complejas para ofrecer redes con altos niveles de rendimiento (confiabilidad, capacidad y tiempo de atraso). Por lo tanto el diseño de redes deberá realizarse minimizando el tiempo de desarrollo y el costo.

Dos importantes recursos utilizados por los diseñadores de redes son las herramientas heurísticas de diseño y la simulación.

Las técnicas de diseño se pueden clasificar en las manuales, en base a heurísticas y en base a algoritmos de optimización [Sharma, 1997]. El diseño manual es aquel que se basa enteramente en la experiencia del diseñador. Obviamente, en redes grandes es difícil repetir diseños exitosos, además que es difícil transferir la experiencia. El diseño en base a heurísticas y a técnicas de optimización ofrecen la ventaja que los resultados sean cuantificables y susceptibles a repetición [Sharma, 1997].

La utilización de las herramientas heurísticas de diseño nos permiten obtener como producto final una arquitectura y una topología del sistema, que satisfaga los requerimientos iniciales de la red. Sin embargo los parámetros arrojados por el proceso de diseño son generales y no se obtiene un análisis detallado de estos parámetros.

Por otro lado la simulación es una técnica valiosa para el análisis, monitoreo y ayuda en la implementación de un sistema, en este caso, el diseño de una red computacional. Lo anterior es muy importante en el diseño de redes de alta velocidad, las cuáles son muy costosas en su implementación.

Con la complejidad de las redes actuales es difícil llevar a cabo evaluaciones de rendimiento usando puramente medios analíticos. Los diseñadores de redes están utilizando la simulación como una alternativa a la actual implementación de pruebas de sus diseños y la realización de estudios de rendimiento. Sin embargo es necesario decidir que no simular y a que nivel de detalle, ya que la duplicación de estas acciones resulta muy costoso y con un consumo mayor de tiempo. Además, es importante hacer notar que, la simulación arroja una gran cantidad de datos que deben ser analizados utilizando técnicas estadísticas.

## ***1.2 Objetivo***

El objetivo del presente trabajo es comprobar que no existe diferencia entre el tiempo promedio de atraso obtenido al diseñar una red utilizando una herramienta heurística y la función de densidad del tiempo promedio de atraso obtenida mediante la simulación computacional de la misma red. Además de realizar un análisis en el proceso de diseño de la red y la creación del modelo para la simulación.

## ***1.3 Metodología***

Se realizaron una serie de experimentos usando la herramienta heurística de diseño de redes y con la información obtenida se llevo a cabo la simulación de las mismas redes.

Para la comprobación de la hipótesis se utilizó la metodología estadística de prueba de diferencia de medias para observaciones pares.

## ***1.4 Estructura de la Tesis.***

**Capítulo 1.** Introducción.- Se presenta una breve introducción al tema de la tesis, se presentan a grandes rasgos el objetivo de la misma así como también la metodología empleada en ella. Además, se presenta la estructura que conforma el trabajo de tesis.

**Capítulo 2.** Redes de Datos, Diseño y Simulación de Redes.- Se presentan conceptos básicos, sobre todo, para introducir las topologías manejadas por el paquete de diseño heurístico. Además se realiza una descripción general del diseño de una red y de los algoritmos involucrados en la creación de las topologías manejadas por el paquete de diseño heurístico. Finalmente se describe los conceptos generales de la simulación relacionados a redes y los tipos de simulación que pueden ser llevados a cabo para analizar el rendimiento de un sistema, es este caso el de una red de datos.

**Capítulo 3.** Retraso en redes de datos.- En este capítulo se presenta todos los conceptos relacionados al tiempo promedio de atraso en redes. En la parte inicial se muestran los conceptos generales relacionados al tiempo promedio de atraso en redes y posteriormente se describen los conceptos relacionados al manejo del tiempo de atraso promedio usado por los paquetes de diseño heurístico y de simulación.

**Capítulo 4.** Cálculo de tiempo promedio de atraso con la información generada por la simulación.- Se presenta una metodología, basada en el teorema de Little, para calcular el tiempo promedio de atraso en redes utilizando la información proporcionada por el paquete de simulación y con esto poder hacer una comparación con el tiempo promedio de atraso generado por el paquete de diseño heurístico.

**Capítulo 5.** Experimentos y Resultados.- Se presenta la metodología para la generación de los experimentos y los resultados obtenidos al realizar los mismos.

**Capítulo 6.** Conclusiones y Trabajos a Futuro.- Se presentan las conclusiones a las que se llegó a partir de la realización de los experimentos, así como de todo el proceso desarrollado durante la creación de la tesis. Además se muestran pautas para el desarrollo de trabajos futuros.

# ***Redes de Datos, Diseño y Simulación de Redes.***

## ***2.1 Conceptos básicos de redes.***

Las telecomunicaciones tratan con la transmisión, emisión o recepción de señales, imágenes escritas, sonidos o inteligencia de cualquier naturaleza por medio de cables, radio así como dispositivos ópticos y electromagnéticos. [Sharma, 1997]

Existen dos tipos básicos de redes de telecomunicación:

- No conmutadas: son aquellas redes en las cuales no es necesario marcar un código para establecer una comunicación, es decir no existe una conmutación de la señal. Las redes de difusión son un claro ejemplo de este tipo de redes, donde se involucra una transmisión de información en cualquier tiempo, desde un lugar único y la recepción de esa misma información por un gran número de receptores.
- Conmutadas: son aquellas redes en la que existe una conmutación de la señal que se está transmitiendo. El mejor ejemplo de las redes conmutadas lo representa las redes telefónicas públicas.

Las redes de comunicación conmutadas pueden ser descritas por sus propiedades, es decir por su arquitectura de red. Se pueden realizar una clasificación de acuerdo a los siguientes atributos: [Sharma, 1997]

1. Cobertura geográfica de la red conmutada.
2. Método de acceso de la red conmutada.
3. Topología de la red.
4. Técnicas de transmisión y multiplexado.
5. Técnicas de administración y control de la red.

### ***2.1.1 Cobertura geográfica de redes.***

Por su cobertura geográfica las redes pueden ser clasificadas en 4 tipos:

- a) Redes de área local: son aquellas redes que abarcan uno o más edificios en un campus.
- b) Redes de área metropolitana: son aquellas redes cuya extensión cubre distancias de hasta 80 km.

- c) Redes de área amplia: son aquellas redes cuya cobertura es de hasta 800 Km. Este tipo de redes puede ser vista como una interconexión de redes de área local.
- d) Redes de área global: este tipo de redes tiene una cobertura mundial y presentan un reto para su diseño debido a la presencia de fronteras internacionales así como de políticas públicas.

### ***2.1.2 Métodos de acceso.***

Existen tres distintos métodos de acceso para una red:

- a) Acceso a la demanda: esta técnica es basada en interrupción. El nodo de servicio provee un tono de marcado cuando detecta una condición de petición de conectado.
- b) Acceso por sondeo: esta técnica se basa en que el nodo controlador de conmutación interroga a cada suscriptor relativo a su necesidad de intercambiar datos con cualquier otro suscriptor.
- c) Multiacceso: esta técnica es principalmente usada en redes de área local. Un nodo transmite un mensaje cuando algunas condiciones iniciales son conocidas. Si una colisión existe entre dos mensajes transmitidos por dos fuentes, cada nodo retransmitirá después de un periodo de tiempo aleatorio

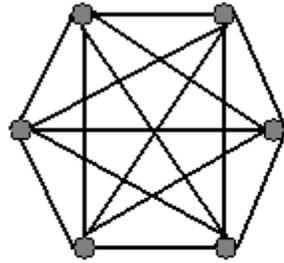
### ***2.1.3 Topología de la red.***

La topología define no solamente la manera en la cual los nodos de una red están interconectados, sino que también define los enlaces empleados para interconectar cada par de nodos. Generalmente existe una jerarquía asociada a los nodos de la red y los enlaces. Las redes pueden ser clasificadas topológicamente de la siguiente manera:

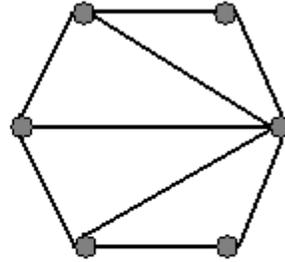
- a) Topología Malla: son redes total o parcialmente conectadas. En la gráfica 2.1.3.1 se puede observar un ejemplo de mallas total y parcialmente conectadas.
- b) Topología “Multidrop”: estas redes están basadas en un árbol de expansión mínima. En la gráfica 2.1.3.2 se puede observar un ejemplo de esta topología.
- c) Topología enlace directo: basadas en grafos dirigidos. En la gráfica 2.1.3.3 se puede observar un ejemplo de la topología enlace directo con cuatro enlaces de red.
- d) Topología Estrella: basadas en una estrella o muchas estrellas interconectadas. En la grafica 2.1.3.4 podemos observar un ejemplo de una red con topología estrella.
- e) Topología “Bus”: emplea un “bus” compartido por muchas estaciones. En la gráfica 2.1.3.5 podemos observar un ejemplo de la topología “Bus”.
- f) Topología Anillo: emplea un anillo compartido por muchas estaciones. En la gráfica 2.1.3.6 a) podemos observar un ejemplo para una red almacena/envía

con topología anillo y en la gráfica 2.1.3.6 b) podemos observar una red de difusión con topología anillo.

**Gráfica 2.1.3.1 Topología Malla.**

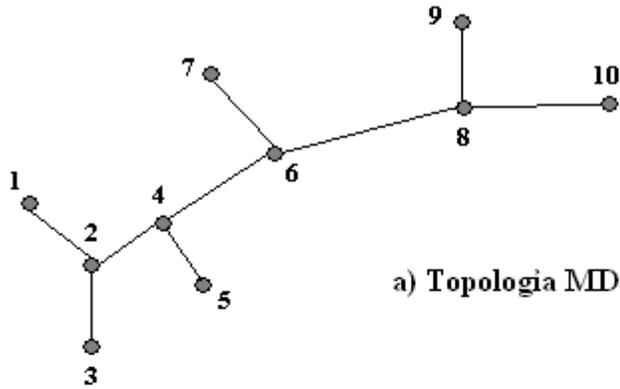


**a) Malla totalmente conectada**

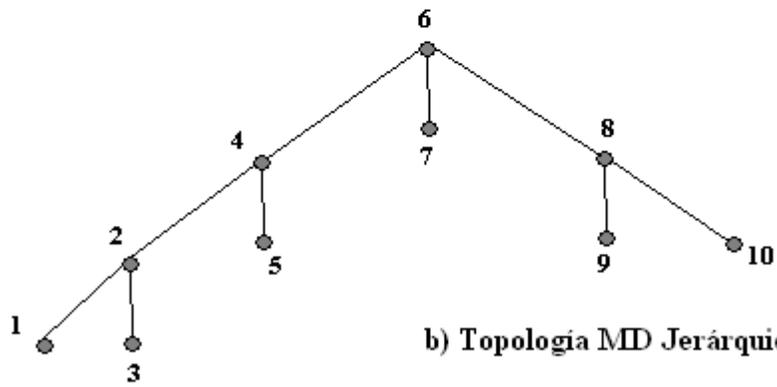


**b) Malla parcialmente conectada.**

**Gráfica 2.1.3.2 Topología Multidrop.**

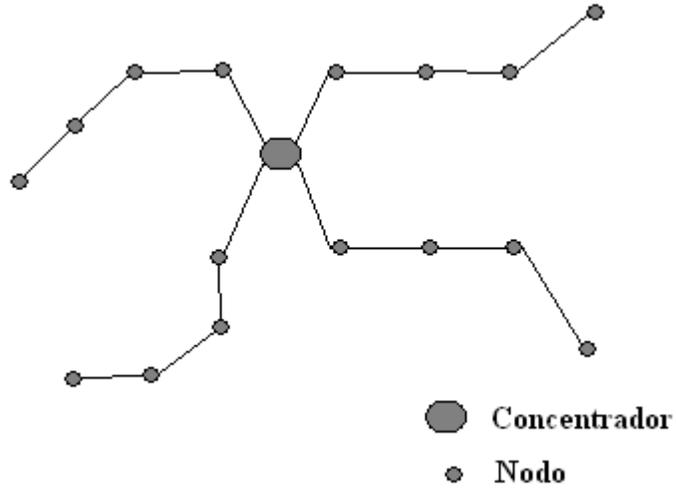


**a) Topología MD Regular**

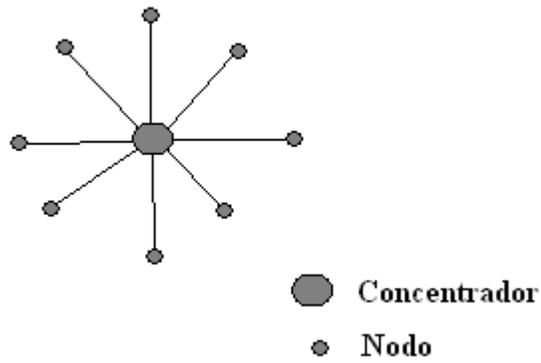


**b) Topología MD Jerárquica**

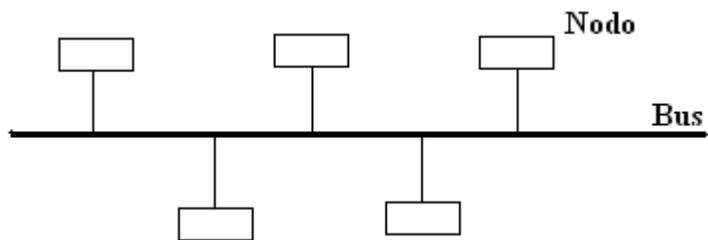
**Gráfica 2.1.3.3 Topología Enlace Directo.**



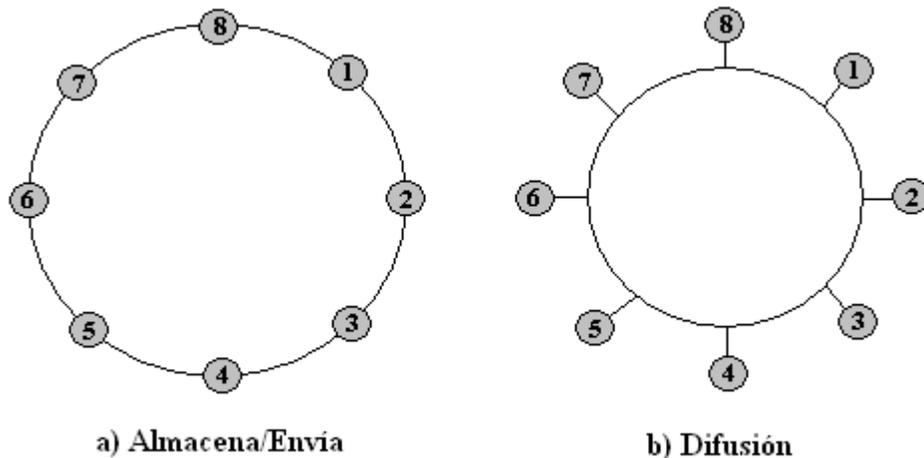
**Gráfica 2.1.3.4 Topología Estrella.**



**Gráfica 2.1.3.5 Topología "Bus"**



**Gráfica 2.1.3.6 Topología Anillo**



#### ***2.1.4 Técnicas de transmisión y multiplexado.***

Las técnicas de transmisión y multiplexado definen la modulación, codificación, transmisión/recepción y técnicas de multiplexado empleadas para sintetizar los enlaces para la interconexión de los distintos nodos de la red.

La información discreta puede ser transmitida en 2 formas de señales:

- a) Análogas: una señal análoga es obtenida por la multiplicación de una función continua modulada (usualmente la información) con una onda portadora de alta frecuencia centrada en  $F_c$ . Las transmisiones análogas están siempre acompañadas de los efectos de distorsión, atenuación y ruido. Además los costos por multiplexado y repetición son mayores que para las técnicas digitales.
- b) Digitales: una señal digital es simplemente una señal base banda en la forma de un tren de pulsos digitales que representan una versión codificada de la información original.

La mayoría de los enlaces de transmisión emplean algún tipo de multiplexado de los canales individuales del usuario y de los canales de control para utilizar la estructura inherente o el ancho de banda del enlace y por lo tanto reducir los costos de transmisión por canal.

Las principales técnicas para multiplexado en transmisiones análogas son:

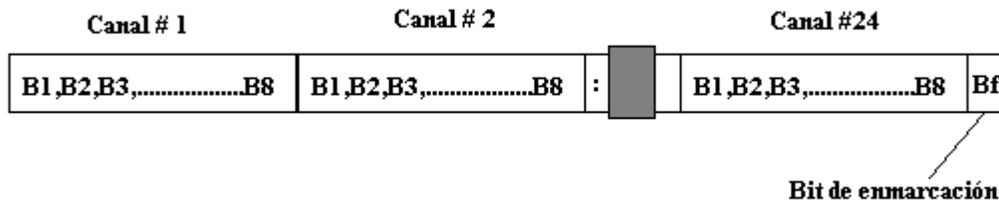
- a) Multiplexado por división de espacio: esta fue la primera técnica de multiplexado empleada para transmisiones la cual implica el agrupamiento de canales de grado de voz individuales de una manera físico/espacial.
- b) Multiplexado por división de frecuencias: combina los espectros de canales individuales para formar un gran espectro si el enlace físico lo permite. Requiere de el uso de “bandas de protección” en el transmisor para separar

los canales individuales y de filtros en el receptor para separar los canales individuales

La principal técnica para multiplexado en transmisiones digitales es:

- a) Multiplexado por división de tiempo: es la técnica más popular que combina varios canales digitales en un simple canal. PCM-TDM es la técnica más popular para combinar 24 canales PCM (“Pulse Code Modulation”) para crear una portadora T1 de 1.544Mbps. En la gráfica 2.1.4.1 se muestra la estructura de una portadora T1 que incluye un bit de enmarcación por cada  $8 \times 24 (=192)$  bits de datos. El marco 193-bit consiste de datos del usuario, datos de señalización y un bit de enmarcación usado para sincronización.

**Gráfica 2.1.4.1 Técnica de multiplexado por división de tiempo PCM [Sharma, 1997]**



### **2.1.5 Técnicas de administración y control de la red.**

Las técnicas de administración y control de la red esta involucradas con la tecnología de conmutación, control del flujo de tráfico, y los métodos de distribución y control de inteligencia en la red en la operación diaria. La tecnología de conmutación empleada por la red determina la manera en la cual los componentes de la red son compartidos entre los suscriptores. Tres técnicas de conmutación se describen enseguida:

- a) Conmutación de circuitos: provee una conexión permanente privada a través de la red, entre dos o más suscriptores por el tiempo que dure la llamada. La conexión es terminada inmediatamente después de que el suscriptor que inició la llamada, cuelga. La conmutación de circuitos ha sido ampliamente usada para servicios de telefonía y videoconferencia. El uso de la red telefónica, publica para comunicación de datos, también ha sido incrementado debido a la existencia de las computadoras personales y módems baratos.
- b) Conmutación de paquetes: permite la transferencia de información entre 2 suscriptores por medio del encaminamiento de paquetes destinados, de los datos del usuario, a través de la red. A diferencia de las redes de conmutación de circuitos, cada nodo en redes de conmutación de paquetes emplean la técnica almacenar-y-enviar (“store-and-forward”) para conmutar cada paquete con el propósito de encaminarlo hacia el destino en un circuito

virtual/permanente establecido antes de comenzar la transmisión. La mayoría de los nodos almacenar-y-enviar utilizan memoria RAM para minimizar los retrasos por conmutación. Recientemente los sistemas de conmutación de paquetes emplean paquetes muy pequeños y la técnica del paso nodal para minimizar los retrasos.

- c) Conmutación de mensajes: emplea un esquema de a largo plazo de almacenar-y-enviar para cada mensaje recibido. Cada mensaje es generalmente almacenado antes de ser enviado hacia su destino.

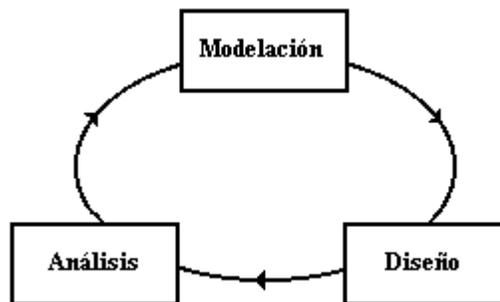
Otra manera de clasificar una red es por la cantidad de inteligencia distribuida a través de la red. Si un repetidor realiza cualquier procesamiento de información para conservar al enlace operando, este deberá ser considerado como un nodo inteligente. La inteligencia del nodo es determinada por la cantidad de memoria de acceso aleatorio (RAM) que posea, el número de instrucciones por segundo que puedan ser ejecutadas por el procesador del nodo, el número total de instrucciones disponibles en los módulos “software/firmware” así como por la utilidad de estos módulos. Finalmente otra manera de clasificar las redes es la referente a determinar cual inteligencia de los nodos es usada para administrar y controlar el rendimiento y operación de la totalidad de la red. En algunos sistemas algunos nodos pueden ser muy inteligentes pero no se pueden comunicar con otros nodos. Esta situación va a evitar la realización de una filosofía integral para el control y administración de la red. La integración de la administración y control de la red implica el entendimiento de que nodos se van a comunicar con otros para la administración y control de la totalidad de la red.

## ***2.2 Diseño de Redes***

### ***2.2.1 Conceptos del análisis y diseño de sistemas.***

La gráfica 2.2.1.1 ilustra la interacción entre modelación, análisis y diseño. Muestra que es muy difícil separar las tareas generalmente asociados con modelación, análisis y diseño. Estas tareas se encuentran completamente entrelazadas. En general una labor de análisis deberá de proveer una predicción del rendimiento del sistema asumiendo una correcta distribución del arribo de transacciones y sus respectivos tiempos de llegada y de servicio. Una labor de diseño, por otro lado, deberá permitir una arquitectura del sistema de red y una topología que provean el rendimiento deseado. Pero en todos los casos, varias iteraciones son necesarias para alcanzar una arquitectura del sistema y una topología correctas. [Sharma, 1997]

**Gráfica 2.2.1.1 Interacción entre técnicas de modelación análisis y diseño.**



### ***2.2.2 Diseño de redes.***

Actualmente no es posible el diseño de redes a cualquier escala sin el uso de algoritmos. No existe una manera sencilla de realizar esta tarea de manera manual.

Un importante aspecto acerca de los algoritmos de diseño es que la mayoría son heurísticos. Esto es, ellos producen soluciones que no necesariamente son las óptimas. Los problemas de diseño son muy difíciles de resolver exactamente. En general en las ciencias computacionales podemos dividir los problemas en tres categorías:

- a) La primera categoría son problemas con algoritmos eficientes que resuelven esos problemas. Un buen ejemplo son los algoritmos de clasificación: existen algoritmos que son muy eficientes y siempre producen una lista ordenada.
- b) En la siguiente categoría tenemos los problemas en donde no existen algoritmos conocidos para resolverlos exactamente, pero pueden encontrar soluciones aproximadas. Un ejemplo es el problema del vendedor viajero, para el cuál no existen algoritmos que lo resuelvan exactamente pero sí dan una solución aproximada.

- c) Finalmente en la tercera categoría caen los problemas en donde los únicos algoritmos conocidos producen soluciones que no garantizan la calidad.

La mayoría de los problemas de diseño de redes están dentro de esta última categoría. [Cahn, 1998]

Las técnicas de diseño de redes se pueden clasificar en tres tipos: [Kershenbaum,1993]

- a) Diseño Manual: se basa en la experiencia del diseñador, el cuál puede tomar decisiones subjetivas e inconscientes, que hacen difícil que este tipo de diseños sean repetibles. Este tipo de diseño es muy flexible ya que no es necesario construir una base de datos.
- b) Diseño Heurístico: las heurísticas son principios de diseño incorporados a algoritmos, por lo que son automatizables. Éstas pueden ser cuantitativas y repetibles. Por lo tanto, heurísticas distintas pueden ser comparadas por la implementación de ellas en un mismo problema y al observar los resultados obtenidos escoger la que obtenga la mejor solución. De acuerdo con lo anterior es posible el refinar las heurísticas, conservando las que trabajan bien y descartando las que no lo hacen.  
Con un diseño automatizado, una mayor cantidad de alternativas pueden ser evaluadas y comparadas objetivamente. La experiencia puede ser transmitida de un diseñador a otro, mediante los sistemas automatizados. Las heurísticas son valiosas ya que permiten obtener soluciones factibles para problemas complejos en periodos de tiempo razonables. En lugar de realizar una exhaustiva exploración de todo el espacio solución, la consideración se limita a aquellas soluciones con características que aparentan ser buenas. Las heurísticas pueden ser elegidas, al menos en las primeras fases del diseño, para ganar el beneficio de su rapidez.
- c) Técnicas Formales de Optimización: excepto para pequeños problemas, no es posible enumerar todas las posibles soluciones y entonces escoger la mejor de ellas. El conjunto de todas las posibles soluciones a un problema es denominado como el espacio solución. La noción de la mejor solución es expresada en las técnicas de optimización formal como función objetivo. Ésta es asociada un valor con las variables de diseño. El mejor valor de la función objetivo es llamado óptimo.

Muchos problemas de diseño solo pueden ser resueltos efectivamente por medio de programas computacionales. Si los cálculos fueran hechos a mano ello podría tomar meses o quizás años.

La mayor parte del tiempo que consume el proceso de diseño de redes es a menudo la colección de los datos de entrada. La organización de estos datos impone restricciones en el proceso de diseño y limita las alternativas de diseño. [Kershenbaum,1993]

Cualquier sistema de redes puede ser modelado a cualquier nivel de detalle. Inclusive los sistemas de redes más grandes pueden ser modelados como un único nodo que procesa un cierto número de transacciones por segundo.

La tarea de modelación es simplemente el representar el sistema entero en términos de una red de nodos pertenecientes a ciertos niveles de jerarquía. [Sharma, 1997]

El diseño de redes es útil para cuantificar las características de los parámetros de diseño.

Los principales requerimientos del desempeño de una red son [Mccabe, 1998]:

- a) **Confiabilidad:** es una medida de la habilidad del sistema de proveer la entrega de información de manera determinista y precisa.
- b) **Capacidad:** es la medida de la habilidad del sistema para transferir información.
- c) **Retraso:** es la medida de las diferencias de tiempo en la transmisión de información a través del sistema. En el sentido más básico, retraso es la diferencia de tiempo en la transmisión de una unidad de información de una fuente a un destino. Esto incluye los retrasos en cada una de las etapas, tal como son la propagación, transmisión, retrasos al momento de hacer colas y retrasos de procesamiento.

### **2.2.3 Algoritmo generalizado para el diseño de todas las topologías de red.**

Para la mayoría de las aplicaciones de voz y datos, el algoritmo deberá realizar las siguientes tareas. [Sharma, 1997]

1. Seleccionar el número de conmutadores (“switches”) de bajo nivel. (C)
2. Encontrar el número de localidades óptimas para los C conmutadores.
3. Asignar los nodos no conectados en el más bajo nivel de los concentradores basándose en el criterio del más cercano. Esto crea un número C de grupos (“clusters”)
4. Ejecutar los pasos del algoritmo requerido para diseñar cualquier topología. (Estrella, Conexión Directa o “Multidrop”).
5. Calcular el tráfico total (erlangs/bps) manejados por cada nivel de concentrador agregando el tráfico entre cada par de nodos (O tráfico para cada línea de acceso AL).
6. Calcular el número de circuitos requeridos para manejar el tráfico requerido por cada grupo de enlaces siempre y cuando sean obedecidas las limitaciones del diseño.
7. Calcular el costo de cada grupo de enlaces como una función de la distancia, número de circuitos en el grupo y la tarifa aplicable.
8. Calcular el costo de cada región y del sistema entero.
9. Repetir los pasos del 1 al 8 para cada nivel de concentradores hasta que solo quede por diseñar el “backbone” de la red.
10. Sintetizar una topología de red totalmente conectada para el “backbone” con C conmutadores.

11. Calcular el tamaño de cada grupo de troncales como una función del tráfico manejado obedeciendo a las restricciones de diseño para el bloqueo permitido o la utilización máxima del troncal.
12. Calcular el costo de cada grupo de troncales en función de la distancia, número de troncales por grupo y la tarifa correspondiente.
13. Repetir los pasos 1 al 12 para cada combinación de conmutadores de bajo nivel y los conmutadores tandem, y para varias combinaciones de transmisión y tecnologías del hardware del nodo.
14. Realizar una gráfica relacionada con los costos de la red, seleccionando la topología más óptima consistente del número correcto de conmutadores de bajo nivel y de concentradores tandem para la correcta combinación de tecnologías de transmisión y de los nodos.
15. Mostrar todas las topologías resultantes en forma de gráficos con un resumen de los costos asociados.

#### **2.2.4 Algoritmo para diseñar una red con topología estrella.**

El algoritmo para la creación de una topología estrella es el mismo que el del punto 2.2.3, solo es necesario modificar el paso 4 para conectar los nodos a los conmutadores asociados acorde a la topología estrella [Sharma, 1997]. El paso se define de la siguiente manera:

1. Conectar las localidades en cada grupo a las localidades asociadas de los conmutadores de bajo nivel o conmutadores tandems por un grupo de líneas de acceso (AL).

#### **2.2.5 Algoritmo para diseñar una red con topología de enlace directo.**

El algoritmo para la creación de una topología estrella es el mismo que el del punto 2.2.3, solo es necesario modificar el paso 4 para conectar los nodos a los conmutadores asociados acorde a la topología de enlace directo. Una topología de enlace directo puede ser sintetizada si los siguientes pasos numerados son ejecutados en ese orden [Sharma, 1997]:

1. Dividir el tráfico de los nodos  $W_i$  por el máximo peso del enlace  $W_m$  y calcular el cociente entero para toda  $i$ . Conectar el nodo  $N_i$  al conmutador  $Q_i$ . Reemplazar el original  $W_i$  por el valor  $(W_i - Q_i * W_m)$ .
2. Encontrar el nodo  $N_i$  entre los nodos no conectados que sea el más lejano del conmutador  $S_j$ .
3. Encontrar el nodo no conectado  $N_j$  mas cercano a  $N_i$ .
4. Sumar los pesos del tráfico de esos dos nodos para obtener la corrida total como  $W_t = W_i + W_j$
5. Si  $W_t \leq$  que el máximo permitido,  $W_m$ , entonces conectar  $N_j$  a  $N_i$  y removerlos de la lista de nodos no conectados. Llamar  $N_j$  como  $N_i$ . Repetir los paso 3 y 4 hasta que  $W_t > W_m$ .

6. Si  $W_t > W_m$  entonces conectar  $N_i$  al conmutador.
7. Repetir los pasos del 2 al 6 hasta que todos los nodos hayan sido revisados y conectados.

### 2.2.6 Algoritmo para diseñar una red con topología “multidrop”.

El algoritmo mostrado es solo aplicable para topologías “multidrop” con capacidad límite de Sharma. [Sharma, 1997]

Durante el primer paso, se diseña una red aplicando el algoritmo del “árbol de expansión mínima” (MST). El segundo paso emplea un algoritmo de intercambio de nodos para reducir el costo de la red [Sharma, 1997]. Los pasos se describen enseguida:

#### Paso Uno

1. Utilizando el algoritmo para diseñar una red con topología estrella, definir  $M$  conjuntos únicos de nodos para cada enlace de la red.
2. Utilizando el algoritmo MST, obtener la primer red factible que consiste de  $M$  enlaces de red, cada uno siguiendo la topología “multidrop” o MST.
3. Calcular el costo del enlace de la red y de la red entera.

#### Paso Dos

1. Encontrar el nodo más lejano,  $N_i$ , del conmutador entre los nodos sin conectar que pertenece al enlace  $L_i$ .
2. Encontrar el nodo  $N_j$ , que pertenezca al enlace  $L_j$  ( $i \neq j$ ) y más cercano a  $N_i$ . Encontrar el costo de los dos enlaces,  $C_o = C_i + C_j$ .
3. Agregar el nodo  $N_i$  al enlace  $L_j$ . Si el peso del Nuevo enlace  $W_j'$  exceda al máximo permitido  $W_m$ , agregar uno o más nodos de  $L_j$  a  $L_i$ , hasta que los pesos de los dos enlaces sean  $\leq W_m$ . Ahora calcule el costo de los nuevos enlaces creados,  $C_1 = C_i' + C_j'$ .
4. Repetir el paso 3 agregando  $N_j$  a  $L_i$ . Considere el costo de los dos nuevos enlaces creados,  $C_2 = C_i'' + C_j''$ .
5. Reemplace los dos enlaces originales con el conjunto de los dos nuevos enlaces creados que nos da el costo más bajo,  $\text{Min}(C_1, C_2)$ .
6. Repita del paso 1 al 5 para cada uno de los otros nodos de  $L_i$ .
7. Repita los pasos del 1 al 6 para todos los demás nodos de la red. Calcule el nuevo costo de la red  $C_n$ .
8. Si  $C_n < C_f$  entonces repetir los pasos del 1 al 7, de otra manera, parar el proceso de intercambio.

## ***2.3 Simulación de Redes.***

Una simulación es la imitación de una operación de un proceso o sistema del mundo real sobre el tiempo. La simulación implica la generación de una historia artificial de un sistema, y la observación de esta historia artificial para extraer inferencias concernientes a las características operativas del sistema real. [Banks-Carson-Nelson, 1996]

El comportamiento de un sistema que evoluciona sobre el tiempo es estudiado por el desarrollo de un modelo. Este modelo usualmente toma la forma de un conjunto de asunciones concernientes a la operación del modelo.

El diseño de redes se ha vuelto muy complejo en organizaciones que tienden hacia conexión total por medio de redes de área local (LAN) así como la interconexión de estas mediante redes de área amplia (WAN). Adicional a lo anterior, se tiene un enorme avance en la tecnología de redes y una variedad de topologías con las cuales una red puede ser creada. Por lo tanto se requiere de una planeación y pruebas avanzadas para probar, analizar e inicializar una red, de una manera rápida y exitosa.

Aquí es donde la simulación se convierte en una técnica conveniente. La simulación es un técnica valiosa para el análisis, monitoreo y asistencia en la implementación de un sistema, en este caso el de una red de datos.

El software de simulación permite a los diseñadores la creación de un modelo de la red propuesta y probar el diseño para posibles “cuellos de botella”, problemas, promedios de errores y una vista general del rendimiento de la red antes de que sea implementada.

Algunos paquetes de simulación de redes permiten introducir información de tráfico real el cual será alimentado al modelo. Por lo tanto el realismo de la simulación será más preciso.

Dos técnicas básicas de modelación son usadas para la modelación del rendimiento de redes, simulación y teoría analítica de colas. La modelación analítica abstrae el mundo real en un sistema de ecuaciones que pueden ser resueltas directamente o por medio de algoritmos. La modelación discreta de un evento de simulación representa el mundo real en gran detalle, buscando capturar en software el comportamiento de sistemas físicos, electrónicos, humanos, etc.

Un punto clave al pensar entre modelación analítica contra la modelación discreta de un evento es que la modelación analítica pre-calcula el comportamiento esperado mientras que la modelación de eventos discretos deberá calcular el comportamiento esperado sobre muchas ejecuciones del comportamiento.

Actualmente existen herramientas de simulación que utilizan cualquiera de las técnicas anteriormente descritas o una combinación de ellas. Estas herramientas son denominados modelos híbridos, los cuales son precisos y más rápidos que sus contrapartes, la modelación pura de eventos discretos.

Existen tres métodos para analizar el rendimiento de un sistema:

1. Simulación física: la cual requiere la disponibilidad del sistema final que se está investigando. Pruebas son realizadas bajo cargas típicas de tráfico para obtener todos los aspectos relevantes del sistema. Esta es la metodología más cara y que consume mayor tiempo.

2. Simulación computacional: la cual requiere modelación de software para todas las operaciones y la ejecución del programa hasta que un equilibrio estadístico sea alcanzado. El desarrollo del software de simulación puede tomar una cantidad considerable de tiempo. Además, el uso de un computador central para la predicción del rendimiento de cada configuración interesante puede ser muy costoso.
3. Simulación Analítica: la cual emplea técnicas analíticas muy probadas para la modelación y predicción del rendimiento de un sistema de red o sus elementos. Este método es el más elegante, rápido y barato.

### *Retraso en Redes de Datos.*

#### *3.1 Introducción.*

Una de las más importantes medidas del rendimiento de una red de datos es el tiempo promedio de atraso requerido para entregar un paquete desde un nodo origen hasta un nodo destino. Además, de que las consideraciones del retraso tienen una fuerte influencia en la elección y rendimiento de los algoritmos de red, tal como es el encaminamiento de datos y el control de flujo. [Bertsekas-Gallager, 1992]

La teoría de colas es el principal marco metodológico de trabajo para analizar el retraso en redes. Para llevar a cabo estos modelos muy a menudo es necesario simplificar las suposiciones, de lo contrario un análisis significativo se vuelve sumamente difícil. Por esta razón, en ocasiones es imposible obtener una predicción cuantitativa del retraso con precisión basándose en los modelos de teoría de colas.

El retraso de los paquetes en una red de datos es la suma de los retrasos en cada enlace que el paquete atraviesa. Este retraso está compuesto por cuatro principales componentes:

- a) El **retraso del procesamiento** entre el tiempo en el cual el paquete es recibido en el nodo cabeza del enlace y el tiempo en que el paquete es asignado a la cola de salida del enlace para su transmisión.
- b) El **retraso en la cola** entre el tiempo en el cual el paquete es asignado a la cola para su transmisión y el tiempo en el cual comienza a ser transmitido. Durante este tiempo el paquete espera que otros paquetes en la cola de transmisión sean transmitidos.
- c) El **retraso de transmisión** entre el tiempo en el cual el primero y último bit del paquete son transmitidos.
- d) El **tiempo de propagación** entre el tiempo en el cual el último bit es transmitido en el nodo cabeza del enlace y el tiempo en el cual el último bit es recibido en el nodo cola del enlace.

Un enlace de comunicación es visto como un tubo por donde los bits son transmitidos a una velocidad de  $n$  bits por segundo. Este número es llamado la capacidad del enlace. Este depende del canal físico y de la interfase que posea el enlace.

## 3.2 Modelos de Sistemas de Colas

Los sistemas de colas son aquellos en los cuales los clientes arriban en tiempos aleatorios para obtener un servicio. En redes de datos, los clientes son los paquetes de información asignados a un enlace de comunicación para su transmisión. El tiempo de servicio corresponde al tiempo de la transmisión del paquete y es igual a  $L/C$  donde  $L$  es la longitud del paquete en bits y  $C$  es la capacidad de transmisión del enlace en bits/seg.

Los principales parámetros en los modelos de sistemas de colas son:

- a) El número promedio de clientes en el sistema. (Número de clientes esperando en la cola o en servicio)
- b) El retraso promedio por cliente (Tiempo que un cliente utiliza esperando en la cola + el tiempo de servicio)

Estas cantidades van a ser estimadas en términos de la siguiente información conocida:

- a) El promedio de arribos al sistema ( Número de clientes entrando al sistema por unidad de tiempo)
- b) El promedio de clientes servidos (Número de clientes en el sistema servidos por unidad de tiempo)

### 3.2.1 Teorema de Little

El número de clientes ( $N$ ) puede ser determinado por el Teorema de Little, acorde a la siguiente ecuación:

$$N = \lambda T \qquad \text{Ecuación 3.2.1.1}$$

El teorema de Little expresa la idea natural de que los sistemas congestionados ( $N$  grande) están asociados con retrasos largos e inversamente.

### 3.2.2 Sistemas de colas M/M/1

Los sistemas de colas M/M/1 consisten de una única cola con un único servidor, el cual viene a ser el enlace de transmisión. Clientes arriban de acuerdo a un proceso Poisson a un promedio  $\lambda$ , y la distribución de probabilidad del tiempo de servicio es exponencial con una media  $1/\mu$  seg.

El nombre M/M/1 refleja una nomenclatura estándar de teoría de colas donde:

1. La primera letra indica la naturaleza del proceso de arribo.  
**M** usada para procesos sin memoria, lo cual significa un proceso Poisson  
**G** usada para una distribución general de tiempos de arribo.  
**D** usada para tiempos de arribo determinísticos.

2. La segunda letra indica la naturaleza de la distribución de probabilidad de los tiempos de servicio.

**M** usada para distribuciones exponenciales.

**G** usada para distribuciones generales.

**D** usada para distribuciones determinísticas.

En todos los casos, los tiempos de arribo sucesivos y los tiempos de servicio son asumidos como estadísticamente independientes.

3. El último número indica el número de servidores.

Del modelo M/M/1 resultan las siguientes ecuaciones:

Tiempo en la cola ( $Tq$ ) =

Tiempo de espera ( $Tw$ ) + Tiempo de servicio ( $Ts$ ) Ecuación 3.2.2.1

$$Avg(Tq) = \frac{Avg(Ts)}{(1-\rho)} = \frac{1}{(\mu - \lambda)}$$
Ecuación 3.2.2.2

$$StdDev(Tq) = \frac{Avg(Ts)}{(1-\rho)} = \frac{1}{(\mu - \lambda)}$$
Ecuación 3.2.2.3

Donde:

$\lambda$  = Promedio de llegada de mensajes

$$\rho = Utilización = \lambda * Avg(Ts)$$
Ecuación 3.2.2.4

$$Avg(Ts) = \frac{1}{\mu}$$
Ecuación 3.2.2.5

$$Avg(Tw) = \frac{\rho}{(\mu - \lambda)}$$
Ecuación 3.2.2.6

### 3.2.3 *Sistemas de colas M/D/1*

Del modelo M/D/1 resultan las siguientes ecuaciones:

$$Avg(Tq) = \frac{Ts(2-\rho)}{2(1-\rho)}$$
Ecuación 3.2.3.1

$$StdDev(Tq) = \frac{Ts}{(1-\rho)} * \sqrt{\frac{\rho}{3} - \frac{\rho^2}{12}}$$
Ecuación 3.2.3.2

$$Avg(Tw) = \frac{\rho * Ts}{2(1-\rho)}$$
Ecuación 3.2.3.3

### 3.3 Redes de Líneas de Transmisión.

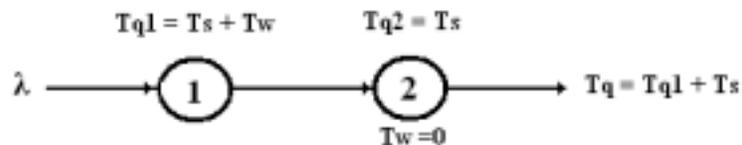
En redes de datos, existen muchas colas de transmisión que interactúan en el sentido que un flujo de tráfico parte de una cola para entrar en otra o más colas, quizás mezclándose después con porciones de tráfico provenientes de de otras colas.

Analíticamente, lo anterior tiene el efecto de complicar el carácter de los procesos de arribo en las colas subsiguientes. La dificultad es que los tiempos de arribo de los paquetes se vuelven fuertemente correlacionados con la longitud de los paquetes una vez que estos han viajado más allá de su cola de entrada.

Como resultado es imposible llevar a cabo un análisis preciso y efectivo comparable a los de un sistema M/M/1 y M/G/1. [Bertsekas-Gallager, 1992]

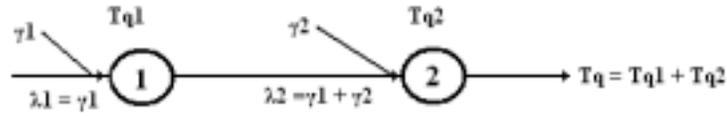
Como una ilustración del fenómeno que complica el análisis, considere la gráfica 3.3.1 para dos líneas de transmisión en tándem con igual capacidad. Asuma una razón de llegadas ( $\lambda$ ) de paquetes/seg Poisson que entra a la primera cola. Todos los paquetes tienen la misma longitud, por lo tanto la primera cola es M/D/1. Sin embargo en la segunda cola el tiempo entre arribos deberá ser igual o más grande que  $1/\mu$  (Tiempo de transmisión del paquete). Además como el tiempo de transmisión es igual en ambas colas, cada paquete arribará a la segunda cola en cuanto esta complete la transmisión o antes de que el siguiente paquete arribe, de tal manera que no existe tiempo de espera en la segunda cola. Lo mismo ocurre cuando la longitud del paquete es exponencialmente distribuida (M/M/1). No existe una solución analítica que nos de una solución precisa para estos casos. En situaciones reales donde la longitud de los paquetes y los tiempos entre arribos están correlacionados, una simulación muestra que bajo cargas de trafico pesadas el tiempo retraso promedio del paquete es menor que el de una situación ideal donde no existe dicha correlación. [Bertsekas-Gallager, 1992]

**Grafica. 3.3.1 Dos líneas de transmisión con igual capacidad en tándem.**



Para resolver el problema anterior, [Kleinrock, 1964] sugiere incorporar varios flujos en las líneas de transmisión logrando un efecto semejante a restablecer la independencia de los tiempos entre arribos y la longitud de los paquetes.

**Grafica. 3.3.2. Dos líneas de transmisión con la aproximación de independencia de Kleinrock.**



En la Gráfica 3.3.2 podemos observar el resultado para la aproximación de independencia de Kleinrock, el cual al generalizarlo usando el modelo M/M/1 nos permite el cálculo del tiempo de atraso por paquete de un flujo de tráfico atravesando un camino **p** y está dado por:

$$T_p = \sum_{(i,j)_p} \left( \frac{\lambda_{ij}}{\mu_{ij}(\mu_{ij} - \lambda_{ij})} + \frac{1}{\mu_{ij}} + d_{ij} \right) \quad \text{Ecuación 3.3.1}$$

Donde los tres términos en la suma representan el tiempo de espera en la cola, el tiempo promedio de transmisión, y el retraso por procesamiento y propagación, respectivamente.

### 3.4 Tiempo de atraso en Econets.

Econets realiza un análisis para calcular el tiempo de respuesta para redes públicas conmutadas. (PSN por sus siglas en inglés)

Para la mayoría de las aplicaciones, uno puede definir un tiempo de respuesta “end-to-end” como el tiempo transcurrido en enviar el primer carácter de un mensaje o paquete y la recepción del primer paquete de ese mensaje en el destino. En tiempo de respuesta “end-to-end” es la suma del tiempo “end-to-end” en las colas y los retrasos fijos del sistema. El tiempo de retraso “end-to-end” en las colas ( $T_q$ ) puede ser expresado como sigue:

$$Avg(T_q) = Avg \sum_{i=1}^N (T_{in}) + Avg \sum_{j=1}^L (T_{jl}) \quad \text{Ecuación 3.4.1}$$

$$Var(T_q) = \sum_{i=1}^N Var(T_{in}) + \sum_{j=1}^L Var(T_{jl}) \quad \text{Ecuación 3.4.2}$$

Donde

$T_{in}$  = Retraso en el  $i$ th nodo (“input process”)

$T_{jl}$  = Retraso en el  $j$ th enlace entre nodos (“output process”)

$N$  = Número de nodos en el camino de transmisión.

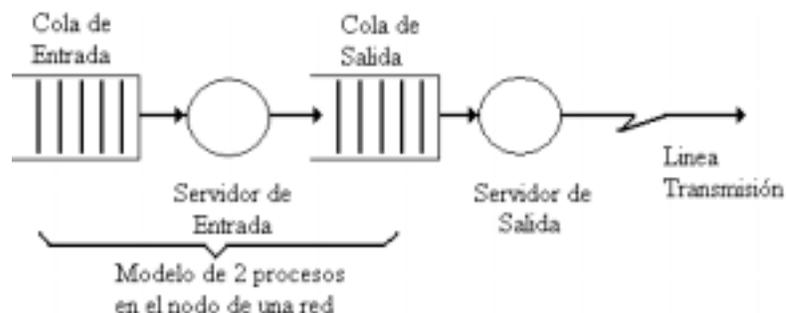
$L$  = Número de enlaces en el camino de comunicación.

Las gráficas 3.4.1 y 3.4.2 muestran los distintos procesos/colas en cada nodo de la red.

**Gráfica 3.4.1 Modelo de un camino (“path”) de comunicación en una red PSN**



**Gráfica 3.4.2 Modelo de una cola en un nodo PS**



El retraso fijo de un sistema,  $T_{fs}$ , consiste de retrasos en los “modems” (Si “modems” son usados), retrasos de propagación, retrasos en los puertos de entrada y salida. Este retraso puede ser expresado como sigue:

$$T_{fs} = T_{pg} + NT_{pt} + NT_m \quad \text{Ecuación 3.4.3}$$

Donde

$T_{pg}$  = Retraso de propagación en longitud de camino.

$T_{pt}$  = Retrasos de procesamiento

(“buffering for ACK/NAKs/ packetization/switching”)

$T_m$  = Retraso en los “modems” si estos son usados.

$N$  = Número de nodos PS en el camino de comunicación.

El tiempo de respuesta “end-to-end” puede ser utilizado para calcular otro provechoso tiempo de respuesta definido como el tiempo que transcurre entre el momento que el usuario envía un petición a el servidor y el momento en que se recibe el primer carácter o paquete del mensaje de respuesta. Podemos definir esto como sigue:

$$T_{sr} = 2(T_q + T_{fs}) + H_{TT} = \text{Tiempo de respuesta del sistema.} \quad \text{Ecuación 3.4.4}$$

Donde:

$H_{TT}$  = Tiempo de procesamiento del servidor utilizado para analizar la petición del usuario y recibir la respuesta del almacenamiento secundario.

La cantidad  $T_{sr}$  es algunas veces llamada tiempo “bit-to-start” (BST). Además la cantidad  $2(T_q + T_{fs})$  es también llamada como el tiempo de ida y vuelta (“Turn Around”) del paquete ( $T_{ta}$ ). ***El tiempo que Econets generalmente presenta en los análisis es el tiempo de respuesta del sistema ( $T_{sr}$ ).***

### ***3.5 Tiempo de atraso en Comnet.***

En Comnet existen varios conceptos y parámetros relacionados con el retraso en los distintos dispositivos de una red. Todos ellos afectan de manera directa el cálculo del tiempo de atraso en la red. De manera específica, el paquete no obtiene el tiempo promedio de atraso en la red. Enseguida se describen los principales parámetros usados por COMNET relacionados a los retrasos en la red.

#### ***3.5.1 Modelación de un nodo en Comnet***

Comnet tiene cuatro tipos básicos de nodos:

- a) Nodo de computadora y comunicaciones (C&C Node).
- b) Nodo de grupo de computadoras.
- c) Nodo ruteador.
- d) Nodo conmutador.

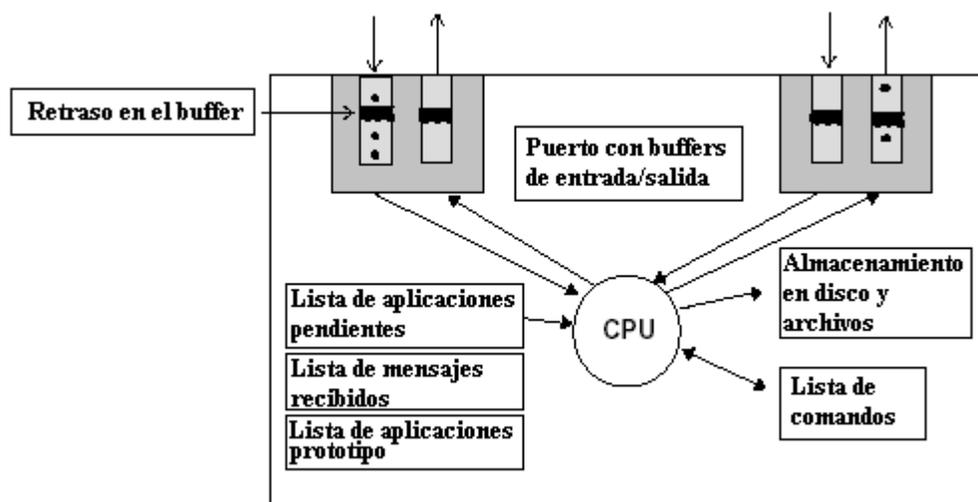
Los nodos C&C y de grupo de computadoras modelan computadoras. Estos nodos pueden generar o recibir tráfico, y ellos pueden modelar complejas aplicaciones concernientes a la utilización del procesador y almacenamiento interno. Este tipo de nodo es el de mayor flexibilidad de los cuatro, dado que de cierta manera se pueden modelar el resto de los otros usando los nodos C&C.

El nodo C&C es representado en el modelo teniendo:

- Un buffer de entrada para los paquetes que se transmiten en cada enlace.
- Un procesador que ejecuta los comandos y procesa paquetes.
- Un buffer de salida para cada enlace en el cual se encaminan los paquetes.
- Capacidad de almacenamiento local en disco para la modelación de lectura y escritura de comandos.
- Una lista de comandos la cual detalla como los estos son ejecutados.
- Una lista de aplicaciones pendientes que estén actualmente programadas.

En la Gráfica 3.5.1.1 se muestra el modelo de un nodo C&C.

Gráfica.3.5.1.1 Arquitectura de un nodo C&C



### 3.5.2 Retraso en la creación de paquetes (“Packetizing Delay”)

Los nodos de la red son modelados en Comnet usando un “Nodo Procesador”, el cual en la creación de paquetes genera un retraso. En otras palabras el retraso en la creación de paquetes es la cantidad de tiempo de procesamiento usado para crear un paquete en el nodo de origen.

Los paquetes se crean como resultado de un comando del transporte, de un comando de configuración de sesión, o de un comando de respuesta, el cual es escogido para la ejecución en un nodo. La secuencia de eventos que ocurre es la siguiente:

- Crear el mensaje
- Incurrir en retraso de creación de paquete
- Crear paquete
- Incurrir en retraso de procesamiento de paquete
- Encaminar (“route”) el paquete.

### 3.5.3 Retraso por procesamiento de paquete.

El tiempo de procesamiento del paquete es un retraso aplicado a cada paquete, el cual es conmutado a través del nodo. Este es adicional a cualquier retraso en los buffers de entrada/salida o procesamiento en estos buffers. El tiempo de procesamiento de los paquetes en los distintos tipos de nodos puede variar de acuerdo al protocolo de encaminamiento del paquete.

### 3.5.4 Algoritmos de encaminamiento (“Route”)

La operación de la red especifica como los mensajes van a ser encaminados a través de la red con algoritmos de encaminamiento y transmitidos a través de la red con un comando de transporte. En Comnet existen algoritmos de encaminamiento estático y

dinámico. Los algoritmos estáticos calculan las tablas de encaminamiento justo al comienzo de la simulación y cuando un nodo o enlace falla. Los algoritmos dinámicos actualizan periódicamente las tablas de encaminamiento basados en medidas dinámicas que son monitoreadas durante intervalos de tiempo especificados.

Para tráfico de conmutación de paquetes existen 6 algoritmos disponibles:

1. **“RIP Minimum Hop”** penaliza con 1 a cada salto y de esta manera selecciona la que requiere el menor numero de saltos.
2. **“Shortest Measured Delay”**. Asigna penalidades a los enlaces basado en el retraso que es la suma del retraso del buffer de salida, el retraso de transmisión, y el retraso del paquete para cada enlace en el camino.
3. **“Link-State Shortest Path First”** utiliza tablas de penalidades asignadas a los diversos enlaces.
4. **“Minimum Penalty”** utiliza tablas de penalidades las cuales para cada clase de encaminamiento pueden tener diferentes penalidades para diferentes niveles de congestión (medidas como retrasos o utilización).
5. **IGRP** utiliza una penalidad que es la suma de diferentes penalidades para cada ancho de banda, utilización y retraso.
6. **“User Defined Routing Tables”** permite al usuario el especificar rutas arbitrarias a través de la red con métodos del usuario.

Para el tráfico de conmutación de circuitos existen tres algoritmos disponibles:

1. **“Minimum Hop”** asigna una penalización de 1 para cada salto y por lo tanto selecciona la ruta que tenga el menor numero de saltos.
2. **“Minimum Penalty”** utiliza tablas de penalidades las cuales para cada clase de encaminamiento pueden tener diferentes penalidades para diferentes niveles de utilización de los enlaces.
3. **“User Defined Routing Tables”** permite al usuario el especificar rutas arbitrarias a través de la red con métodos del usuario.

### ***3.5.5 Estadísticas obtenidas en Comnet para el tiempo de atraso.***

Comnet reporta tres retrasos importantes:

1. **Retraso de transmisión en los enlaces:** es el tiempo entre la creación del marco (“frame”, el cual puede ser parte de un paquete o contener varios paquetes) en la entrada del enlace y cuando el marco es entregado al final del enlace. Este retraso incluye la transmisión y el tiempo de propagación.
2. **Retraso promedio de los mensajes:** es el tiempo entre la creación del primer paquete del mensaje en el nodo de origen y el tiempo de recepción del último paquete del mensaje en el nodo destino y se obtiene como un promedio de todos los mensajes creados durante la simulación.
3. **Retraso promedio de los paquetes:** es el tiempo entre la creación de un paquete en el nodo origen y el tiempo de recepción del paquete en el nodo

destino, y se obtiene como un promedio de todos los paquetes enviados durante la simulación.

## Capítulo 4

### *Cálculo de tiempo promedio de atraso con la información generada por la simulación.*

Econets obtiene un tiempo promedio de atraso del sistema, el cual es descrito en la ecuación 3.4.4. De la información generada por Comnet en la simulación solo se tiene el tiempo de atraso promedio “end-to-end” de los mensajes y paquetes, así como el tiempo de transmisión en los enlaces. Debido a lo anterior es necesario encontrar un método, utilizando la información generada por Comnet, para encontrar un tiempo promedio de atraso de la red.

Utilizando el teorema de Little (Ecuación 3.2.1.1) se obtiene la ecuación para el tiempo de atraso de un paquete o mensaje entrando a la red: [Schwartz, 1977]

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum \frac{\lambda_j}{\mu_j - \lambda_j} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Para cada nodo j  
Donde

$\lambda$  = Arribo promedio de paquetes (paquetes/s)

$\mu$  = Promedio de servicio (paquetes/s)

$\gamma$  = Promedio total de paquetes arribando a la red.

La ecuación 4.1 es equivalente a la siguiente ecuación:

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum \lambda_i T_i \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Por lo tanto si para una red dada se conoce:

1.  $T_i$  para cada uno de los enlaces entre cada par de nodos.
2.  $\lambda_i$  para cada uno de los enlaces entre cada par de nodos
3. La matriz de tráfico.
4. Tabla de encaminamiento estático.

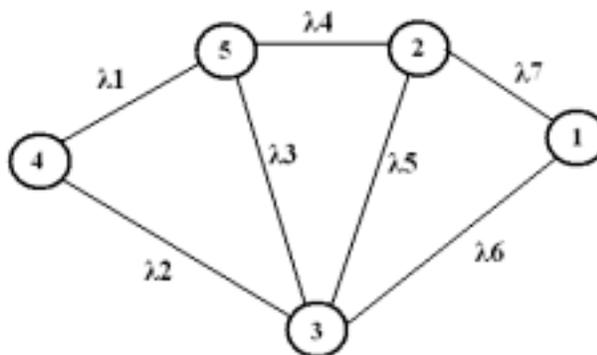
Entonces es posible calcular el tiempo promedio de atraso en la red.

Las  $\lambda_i$  pueden ser calculadas en base a la matriz de tráfico y la tabla de encaminamiento estático.

Para realizar el cálculo usado los datos arrojados por los reportes de Comnet, se puede observar que los flujos de tráfico se obtienen directamente de la matriz de tráfico y los tiempos de retraso de cada uno de los enlaces se obtienen seleccionando solo los tiempos de retraso de los mensajes entre los nodos que representen cada uno de los enlaces de la red. Es decir serán seleccionados solo los tiempos de atraso entre nodos adyacentes pues ellos nos darán cada uno de los  $T_i$ . En ocasiones será necesaria la generación de paquetes “tontos”, con un promedio de arribo (pocos paquetes/s) que no afecte el tráfico general, para conocer los  $T_i$  entre nodos intermedios en un mensaje “end-to-end”, ya que Comnet genera solo los  $T_i$  “end-to-end” y no entre nodos intermedios en la ruta.

Para ejemplificar el concepto anterior se utilizará una red general, mostrada en la gráfica 4.1, así como la matriz de tráfico de la tabla 4.1 y el encaminamiento estático de la gráfica 4.2.

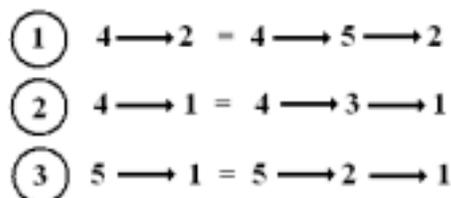
**Gráfica. 4.1 Red con flujos de tráfico  $\lambda_i$  entre cada par de nodos.**



**Tabla 4.1 Matriz de tráfico.**

N	1	2	3	4	5
1		$\gamma_{12}$	$\gamma_{13}$	$\gamma_{14}$	$\gamma_{15}$
2			$\gamma_{23}$	$\gamma_{24}$	$\gamma_{25}$
3				$\gamma_{34}$	$\gamma_{35}$
4					$\gamma_{45}$
5					

**Gráfica. 4.2 Encaminamiento de paquetes entre los nodos de la red.**



De la matriz de tráfico y de la tabla de encaminamiento estático se puede obtener el tiempo atraso promedio de la red de la siguiente manera:

$$T = \frac{1}{\gamma} \sum \left[ (\gamma_{45} + \gamma_{42})T_1 + (\gamma_{43} + \gamma_{41})T_2 + \gamma_{53}T_3 + (\gamma_{52} + \gamma_{42} + \gamma_{51})T_4 + \right. \\ \left. \gamma_{23}T_5 + (\gamma_{31} + \gamma_{41})T_6 + (\gamma_{21} + \gamma_{51})T_7 \right]$$

De la ecuación 4.2 podemos observar que para el cálculo del tiempo promedio de atraso de la red necesitamos el flujo de tráfico que esta pasando por cada uno de los enlaces y los tiempos de atraso en esos enlaces.

### *Experimentos y Resultados*

#### *5.1 Diseño de experimentos.*

Como primer paso para la validación de la tesis se realizó una evaluación de dos paquetes de diseño que trabajan con heurísticas y dos paquetes de simulación.

Los dos paquetes de diseño evaluados fueron:

- Econets
- Delite

De la evaluación realizada a estos dos paquetes Delite fue descartado del proceso, pues en comparación con Econets presentaba un número reducido de parámetros de diseño. Este paquete solo utiliza parámetros muy generales y tiene una orientación primordialmente estudiantil. Sin embargo este paquete posee dos características muy importantes que son el generador de costos y el generador de tráfico. Este último se utilizó para crear algunos ejemplos para la etapa de experimentación. Al realizar algunas pruebas para el cálculo del tiempo de atraso promedio usando Delite, se detectó que los resultados estaban muy alejados de Econets, de la simulación y de cálculos manuales para algunos ejemplos sencillos

Finalmente se decidió utilizar a Econets como el programa de diseño, por tener parámetros específicos que afectan el cálculo del tiempo de atraso promedio de la red y por generar resultados cercanos a cálculos manuales en ejemplos sencillos.

Dentro de los paquetes de simulación utilizados se evaluaron:

- Netcraker
- Comnet

Netcracker fue descartado como paquete de simulación, pues las estadísticas referentes a retrasos, era insuficiente para calcular el tiempo de atraso promedio de la red. Sin embargo este paquete posee una excelente interfase gráfica, muy amigable, hacia el usuario. También contiene una base de datos muy amplia de dispositivos comerciales (computadoras, ruteadores, conmutadores, etc).

Comnet fue elegido como paquete de simulación pues posee mayores características referentes a retrasos de tiempo en la red y en general representa una opción más profesional para la simulación de redes. Algunos otros paquetes de simulación fueron considerados, sin embargo fueron descartados por distintas razones pero principalmente porque al realizar pruebas con experimentos sencillos Comnet siempre arrojó resultados muy cercanos y su interfase al usuario es bastante profesional. Otros paquetes profesionales evaluados fueron Opnet y NS-2, los cuales se describen en el anexo 4.

Una vez seleccionadas las dos herramientas a utilizar, se diseñaron algunos ejemplos en el paquete Econets utilizando los análisis para las topologías que Econets puede utilizar:

- Estrella
- Enlace Directo
- “Multidrop”

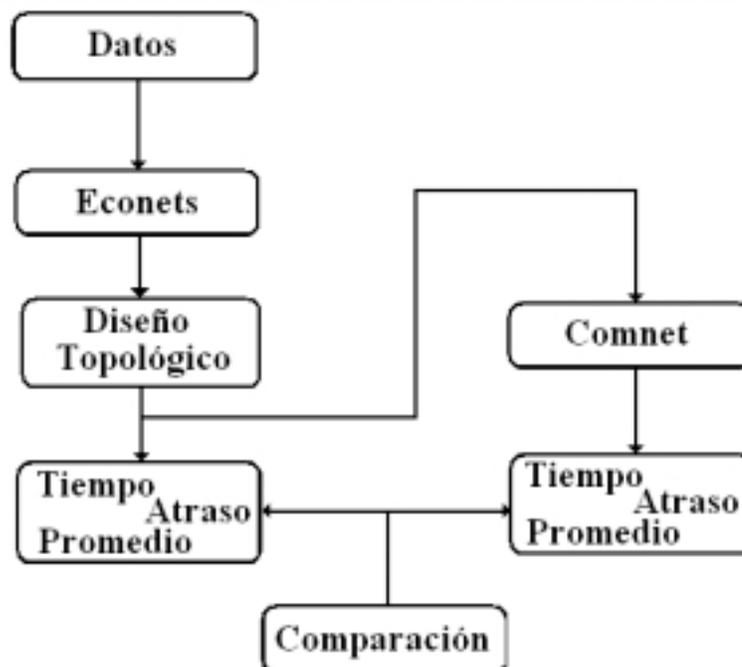
Hecho lo anterior, Econets arrojó una topología de red y el tiempo promedio de atraso del sistema, de acuerdo a la ecuación 3.4.4, pero no generó ninguna información estadística adicional.

Con la información arrojada por Econets, se alimentó al paquete Comnet para llevar a cabo los 9 experimentos de la simulación de esos diseños. Por cada experimento se realizaron 10 replicaciones para los experimentos 1, 2, 3, 6 y 7 y 20 replicaciones para los experimentos 4, 5, 8 y 9 cada una de ellas de 3600 segundos en Comnet. Lo anterior se realizó dependiendo de la complejidad del experimento.

De las simulaciones realizadas en Comnet se obtuvo el tiempo de atraso “end-to-end” de los paquetes y mensajes, así como el del tiempo de transmisión de los enlaces. Fue necesario crear fuentes de paquetes o mensajes “tontos” entre enlaces para conocer los tiempos de atraso entre cada par de nodos. Posteriormente con esa información se calculó el tiempo promedio de atraso de la red para los experimentos usando la metodología descrita en el capítulo 4 de este documento.

El proceso es mostrado de manera general en la gráfica 5.1.1

**Gráfica. 5.1.1 Detalle de la metodología general para la comparación de resultados.**



Se comenzó con experimentos de redes sencillas, posteriormente se fue incrementando la complejidad de las redes creadas. El número de nodos para las redes más grandes, no fueron muchos, ya que en la modelación se puede agrupar varios nodos en uno, el cual puede representar o manejar las transacciones de la suma de ellos [Sharma, 1997].

En la tabla 5.1.1 se muestra las principales características de los 9 experimentos realizados.

**Tabla 5.1.1 Diseño de experimentos con sus principales características.**

Número Experimento	Número Nodos	Nodo Concentrador	Topología
Experimento 1	5	N5	Enlace Directo
Experimento 2	5	N5	Enlace Directo
Experimento 3	6	N1	Estrella
Experimento 4	6	N1,N2	Estrella
Experimento 5	6	N1,N2	Enlace Directo
Experimento 6	8	N1	Multidrop
Experimento 7	8	N1	Estrella
Experimento 8	9	N1,N2 y N3	Enlace Directo
Experimento 9	9	N1,N2 y N3	Estrella

En el Anexo 5 se muestra con mayor detalle todos los aspectos relacionados con cada uno de los experimentos. Para cada experimento, en dicho anexo, se muestran las siguientes tablas y gráficas:

- Tabla con los valores de los principales parámetros para el paquete Econets.
- Tabla con la matriz de tráfico entre cada par de nodos.
- Gráfica con la pantalla del diseño en Econets.
- Gráfica con la pantalla del diseño en Comnet.

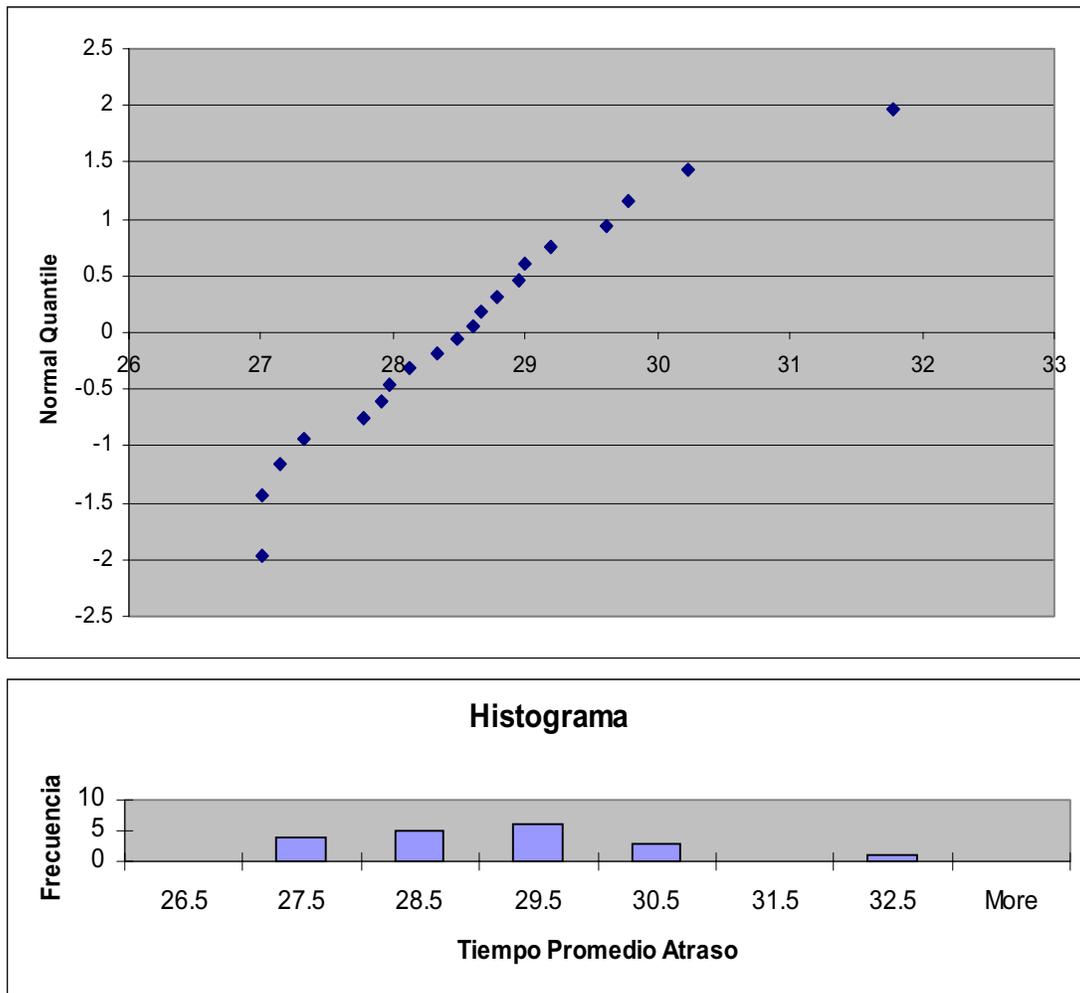
Utilizando la metodología descrita en el capítulo 4, también se realizó el cálculo manual para cada uno de los experimentos. Para el cálculo del tiempo de atraso en cada enlace entre cada par de nodos se usó la Ecuación 3.2.3.1.

## **5.2 Resultados**

Para la simulación de cada experimento en Comnet se realizaron n replicaciones. De estos resultados se calculó su media y su varianza. Para cada experimento se realizó un histograma de frecuencias para observar el comportamiento de su distribución. Además se utilizó una técnica que usa una gráfica llamada “Normal Quantile Plot”, para demostrar que la distribución es del tipo Gaussiana o Normal. Esto se llevó a cabo para poder usar el método estadístico de diferencias de medias para observaciones pares y con ellos hacer la comprobación de hipótesis. En seguida se muestra el histograma de frecuencias y la gráfica “Normal Quantile Plot” para el experimento 1.

En el anexo 5 se muestran el histograma de frecuencia, la gráfica “Normal Quantile Plot” y una tabla con los resultados de las n replicaciones para cada uno de los experimentos realizados.

**Gráfica 5.2.1 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 1.**



Finalmente se realiza el método de diferencia de medias para observaciones pares. En la tabla 5.2.1 se muestran los resultados del cálculo manual, el obtenido por Econets y el obtenido de la simulación realizada en Comnet.

**Tabla 5.2.1 Resultados de los cálculos manuales, de los obtenidos en Econets y Comnet y la diferencia de resultados obtenidos entre Econets y Comnet.**

Número Experimento	Cálculo Manual	Econets	Comnet	Diferencia	%
Experimento 1	28.5714	29.0000	28.5846	0.4154	1.43%
Experimento 2	35.4798	36.5000	33.8153	2.6847	7.35%
Experimento 3	12.0951	10.4000	12.2992	-1.8992	18.26%
Experimento 4	35.5563	33.7500	32.2415	1.5085	4.46%
Experimento 5	34.1730	36.0000	34.0925	1.9075	5.29%
Experimento 6	38.5582	37.0000	36.0947	0.9053	2.44%
Experimento 7	27.5435	29.7900	27.4079	2.3821	7.99%
Experimento 8	17.2097	14.50	16.5613	-2.0613	14.21%
Experimento 9	35.1280	35.0000	34.7592	0.2408	0.688%

La media de las diferencias es = 0.6760

La desviación estándar de las diferencias es = 1.7172

Dada la ecuación 5.1.1

$$T = \frac{\bar{D} - \mu_D}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ecuación 5.2.1}$$

Calculamos su valor

$$T = (0.6760 - 0) / (1.7172 / \sqrt{9})$$

$$T = 1.180967$$

Si consultamos la tabla T de Student para  $\alpha = 0.10, 0.05, 0.025, 0.01$  y  $0.005$  y comparamos con el valor de T obtenido tenemos

**Tabla 5.2.2 Análisis estadístico de diferencia de medias para el resultado de todos los experimentos.**

$\alpha$	T Student N = 8	T	Aceptada/Rechazada
0.10	1.397	1.180967	A
0.05	1.860	1.180967	A
0.025	2.306	1.180967	A
0.01	2.896	1.180967	A
0.005	3.355	1.180967	A

De lo anterior se observa que **no** existe diferencia de medias para los resultados obtenidos en Econets y los resultados obtenidos de la simulación en Comnet.

### ***Conclusiones y Trabajos a Futuro***

#### ***6.1 Conclusiones***

El diseño de una red es un proceso complicado que requiere un gran conocimiento por parte del diseñador. Para facilitar el trabajo el diseñador debe hacer uso de todas las posibles herramientas a su alcance. Los paquetes de diseño con algoritmos heurísticos y la simulación forman un importante recurso a utilizar por el diseñador, ya que le permitirán el ahorro en costo y tiempo, así como el poder encontrar un diseño óptimo para la red que se encuentre diseñando.

En el presente trabajo se ha realizado un análisis del tiempo promedio de atraso en una red utilizando una herramienta de diseño con algoritmos heurísticos y un paquete de simulación. Econets y Comnet respectivamente.

Acorde a los experimentos realizados con los paquetes Econets y Comnet (Tabla 5.2.1 y 5.2.2) se puede observar que no existe una diferencia entre las medias del tiempo de atraso promedio obtenido usando los dos paquetes.

Sin embargo es importante mencionar que se debe tener precaución al momento de crear el modelo para la simulación, ya que debe recrear con la mayor exactitud posible todos los parámetros de diseño usados en el paquete Econets para obtener los resultados deseados.

Otro aspecto importante es que Econets es una caja negra que genera solo resultados generales. El no tener acceso a los archivos fuente del programa o a una documentación extensa de los reportes generados y de los parámetros utilizados es una gran desventaja, ya que es necesario entender perfectamente como lleva a cabo el cálculo del tiempo promedio de atraso para cada una de las topologías manejadas así como el de los tipos de análisis que puede realizar. En ocasiones es necesario crear ejemplos sencillos para poder entender perfectamente como funciona para la topología y el tipo de análisis utilizado.

Durante el desarrollo de los experimentos en el paquete Econets se observó que cada uno de los parámetros de diseño son muy sensibles y tienen gran efecto en el diseño y en los resultados generados.

Por otra parte el uso del paquete de simulación Comnet mostró que es posible obtener detalles interesantes en cada uno de los elementos de la arquitectura de la red (nodos, enlaces, etc).

Durante la evaluación de los paquetes de diseño y simulación se observó que no existe una forma estándar de definir los parámetros de diseño entre ambos paquetes. Por lo cual es difícil para el diseñador encontrar una manera de emparejar los parámetros entre los programas de diseño y simulación. Los desarrolladores de estos programas deberían establecer un estándar y con ello facilitar la labor del diseñador. Se puede observar con claridad que los esfuerzos de los desarrolladores de estos dos tipos de paquetes, se encuentran aislados y no existe colaboración alguna. Incluso debería existir la manera de exportar e importar datos entre estos programas, eliminando las tareas tediosas en el diseño y permitiendo dedicar mayor tiempo al análisis de los datos, ya que finalmente ese es el objetivo de este tipo de herramientas automatizadas.

En general la utilización de herramientas heurísticas requiere de tiempos menores para realizar buenos diseños, con la desventaja que los resultados arrojados son generales.

Por el contrario si se requiere tener resultados con mayor nivel de detalle entonces la simulación es la opción adecuada, sin embargo el tiempo utilizado para la simulación es mayor y en ocasiones es necesario el uso de herramientas estadísticas para el análisis de los resultados obtenidos. Todo esto conlleva mayores costos. Por lo tanto es necesario encontrar un balance adecuado en el uso de estas dos herramientas, para obtener un equilibrio entre el tiempo-costo y el rendimiento en el diseño de una red.

Para los diseñadores de red el uso de las herramientas heurísticas de diseño es una opción bastante aceptable, ya que ellas generan una arquitectura, una topología y resultados generales con una precisión adecuada. Posteriormente con la información obtenida, de ese proceso, es posible llevar a cabo la simulación con mayor facilidad. La simulación arrojará mayores detalles del diseño y en buena medida permitirá la comprobación de los resultados obtenidos del paquete de diseño heurístico así como la predicción del rendimiento de la red una vez instalada.

## ***6.2 Trabajos a Futuro***

Como trabajo a futuro sería muy interesante el realizar el estudio con una red ya instalada y observar el comportamiento tanto de los paquetes de diseño con algoritmos heurísticos y el de los paquetes de simulación. Esto permitiría saber cual de las dos opciones está más cercana a la realidad.

Otro trabajo interesante sería el de repetir el trabajo para todos los tipos de análisis que se pueden realizar en el paquete Econets. El presente trabajo sería de gran ayuda, ya que presenta la base teórica y solo sería necesario revisar cada uno de los tipos de análisis en Econets y realizar los experimentos tanto en Econets como en Comnet.

Otra recomendación mas podría ser el de desarrollar una herramienta de diseño u obtener un paquete en el cual se tenga el control absoluto de la manera en que los cálculos son realizados y por lo tanto realizar un modelo con mayor detalle para la simulación.

Finalmente se podrían cruzar resultados con algunos otros paquetes de diseño y simulación observando si los resultados coinciden.

## *Anexo 1*

### ***DELITE***

DELITE (“DEsign tool LITE”) es una herramienta para el diseño de redes con un enfoque primordialmente estudiantil. Este software es parte del libro “Wide Area Network Design” del Dr. Robert S. Cahn. (Cahn, 1998)

Una de las principales características de este software es que permite seguir la ejecución de los algoritmos, una vez ejecutados, paso a paso. Esta característica permite al usuario un mejor entendimiento del funcionamiento de cada uno de los algoritmos implementados dentro de DELITE. Los algoritmos de DELITE permiten ser ejecutados para redes pequeñas o medianas.

Dos de las fortalezas de este paquete son el generador de tráfico y el generador de costos que permiten estimar estos parámetros en las redes que se van a diseñar.

DELITE se encuentra escrito en lenguaje C, usando el producto “Galaxy Application Enviroment” de Visix Corp. La versión actual corre en la mayoría de las versiones de los sistemas operativos Windows de Microsoft, en Windows XP existen problemas para reconocer la estructura de directorios y nombre de archivos.

Cuando DELITE lee un problema en memoria, crea un objeto de la red. Este objeto de la red es usado por todos los algoritmos. Cuando los algoritmos trabajan, la herramienta de diseño escribe aspectos del objeto tal como son los enlaces y el equipo seleccionado en los archivos.

#### ***A.1.1 Creación de un diseño de red en DELITE.***

El procedimiento para la creación de un diseño de red se describe en los siguientes puntos:

- 1) Leer un problema por medio de una serie de tablas, las cuales contienen los datos del problema de diseño. Estas tablas pueden estar en uno o varios archivos. Leer el problema se refiere a la conversión de los datos almacenados en los archivos, los cuales son comprensibles al diseñador, a un objeto el cual los algoritmos pueden acceder.
- 2) Establecer los parámetros necesarios para ejecutar un algoritmo. Todos los valores de los parámetros tienen valores predeterminados. Si el problema a diseñar requiere de distintos valores, es necesario modificar los parámetros.
- 3) Algunos algoritmos requieren que se indique un nodo inicial. Para otros no es necesario. Este nodo puede ser seleccionado oprimiendo el botón del ratón sobre el nodo deseado, al hacerlo el nodo cambiara a color rojo.

- 4) Escoger el algoritmo de diseño a ejecutar, seleccionándolo del menú de “Design”. Pueden ser seleccionados algoritmos para la construcción de un árbol, diseño de acceso local, diseño de redes malla y rediseño de redes.
- 5) Realizar un análisis del diseño. Se pueden hacer análisis del retraso o de la confiabilidad de la red.

### ***A.1.2 Principales archivos o tablas usadas por DELITE.***

En la tabla A.1.2.1 se muestran los principales archivos, que tienen una forma tabular de organizar los datos, usados por DELITE para introducir los parámetros de diseño de una red.

**Tabla A.1.2.1 Descripción de los archivos utilizados por DELITE.**

<b>Tipo de archivo</b>	<b>Descripción</b>
Gen	Un problema de diseño de redes creado por el programa generador de redes.
Inp	Un problema de diseño de redes incluyendo tráfico y costos.
Cst	Un archivo que contiene los costos de los circuitos que son producidos manualmente o por el programa generador de redes.
Req	Un archivo conteniendo el tráfico (o requerimientos) que pueden ser producidos manualmente o por el programa generador de redes.
Net	Un diseño de red que incluye los enlaces y el posible equipo para cada sitio de la red.

### ***A.1.3 Tabla general de parámetros usados por DELITE.***

El archivo STANDARD.PRM es encontrado en el directorio de DELITE. El propósito del archivo es el de inicializar todos aquellos parámetros que no fueron inicializados en el archivo INP. El archivo consta de una tabla que incluye una lista de todos los parámetros.

Cada parámetro tiene un nombre, un tipo, una categoría, un rango y un valor predeterminado. ALPHA, por ejemplo, es del tipo ‘F’, que significa que será convertido en un número de punto flotante. Los otros tipos son ‘I’ para enteros, ‘S’ para cadena de caracteres y ‘C’ para caracteres.

El rango da el conjunto de valores aceptables para cada parámetro. Para parámetros del tipo ‘F’ o tipo ‘I’ el rango consiste de un máximo y de un mínimo. Para un parámetro del tipo ‘C’ la comprobación es rara. El límite inferior es “00000” y el límite superior es “ZZZZZ”. La comparación es lexicográfica. Casi cualquier caracter o símbolo alfanumérico pasará la prueba.

La comprobación de rango mas interesante ocurre con las variables del tipo ‘S’. Estas variables aceptan valores de una cadena de caracteres. Por ejemplo, los únicos valores aceptables para el parámetro ‘NG-GEN-REQS’ son ‘Y’ o ‘N’. Valores como ‘MAYBE’ no están permitidos. El restringir este tipo de valores permite que en algoritmo no se confunda con la entrada. En la tabla A.1.3.1 se detallan todos los parámetros usados por DELITE.

**Tabla A.1.3.1 Descripción de todos los parámetros usados por DELITE.**

PARAMETRO	TIPO	CAT	RANGO	PREDETERMINADO
SEARCH_MODE	S	L	FULL FAST	FULL
CLUSTER_MODE	S	L	THRESH KMEANS NEW_KMEANS NEW_KMEANS_2 AUTO	THRESH
INITIAL_TOPOLOGY	S	D	TREE TOUR_F TOUR_N TREE_2 TOUR_N_SIMP	TREE
ACCESS_TOPOLOGY	S	D	STAR LOOP LOOP3 LOOP4 LOOP5 EW SHARMA MSLA	STAR
SEQ_METHOD	S	D	OLD NEW	OLD
ONE_SPEED_BKBN	S	L	TRUE FALSE	FALSE
LINK_TYPE	S	D	D96 D56 T1 T3 D64 E1 OC3 OC12	D56
ACCESS_LINK_TYPE	S	D	D96 D56 T1 T3 D64 E1 OC3 OC12 FIBER	D56
UTILIZATION	F	D	0.01 1	0.60
BOX_UTILIZATION	F	D	0 1	0.50
COST_FILTER	I	L	1 1000000	30000
HOPS_FILTER	I	L	1 1000000	100
COST	I	C	0 100000000	0
MESSAGE_LEN	I	M	1 1000000	8000
UTILHI	F	M	0 1000	1.000
DUPLEXITY	S	D	FULL HALF	FULL
CHANNEL_DELAY	F	D	0 1	.005
LINK_REL	F	M	0 1	.99
NODE_REL	F	M	0 1	.99
BAL_MODE	S	L	OPT INC RESIZE	OPT
BAL_UTIL_HI	F	L	0 1	.6
BAL_UTIL_LO	F	L	0 1	.3
BAL_RESIZE_MODE	S	L	INC MULT OPT	OPT
CHANNELIZED	S	D	Y N	N
NCLST	I	D	0 1000	3
TREE_BIAS	F	D	0 1	0.5
ALPHA	F	D	0 1	0
SLACK	F	D	0 1	0
RPARAM	F	D	0 1	0.4000
WPARAM	F	D	0 1000	1.0000
BIFURCATE	S	L	Y N	N
FIRST_NODE	I	D	0 1000	1
FIRST_NODE	C	D	00000 ZZZZZ	-
FIRST_NODE_SHARMA	C	D	00000 ZZZZZ	-
DESIGN_TYPE	S	D	TCPIP APPN LIGHTWAVE GENERIC ATM+WDM TREE	TCPIP
BOX_TYPE	S	D	GENERIC MUX ROUTER SNA	GENERIC
NODE_LABEL_LENGTH	I	L	2 19	19
<b>NEEDED FOR ADD</b>				
BIAS	F	D	0 1	0.5
FACTOR	F	D	0 1	0.5
<b>NEEDED FOR NED</b>				
LINKID	C	L	00000 ZZZZZ	NewLink

LINK_MULT	I	L	1 100	2
ARC1_LENGTH	I	L	1 10000	1
ARC2_LENGTH	I	L	1 10000	1
NODE_EQUIPMENT	S	L	00000 ZZZZZ	I
NODE_LENGTH	I	L	0 10000	1
<b>PARAMETRO</b>	<b>TIPO</b>	<b>CAT</b>	<b>RANGO</b>	<b>PREDETERMINADO</b>
NODE_TYPE	S	L	N E	E
PA_NETTYPE	S	L	MUX QUEUED	QUEUED
PA_ROUTE_STORE	S	L	BKBN ALL	ALL
PA_QUEUED_LENGTH	S	L	MINHOP MINDIST	MINDIST
PA_QUEUED_LOADMODE	S	L	SIMULATE AVERAGE F_FIT F_FITM CONGESTION F_FITSIM F_FITMSIM	AVERAGE
PA_CR_LOADMODE	S	L	SIMULATE AVERAGE F_FIT F_FITM CONGESTION F_FITSIM F_FITMSIM	AVERAGE
PA_LOAD_SCALE	F	P	0.01 100	1.0
PA_LIGHT_ROUTES	S	L	MINHOP MINHOP+1	MINHOP
PA_GEN_NEW_ROUTES	S	P	Y N	Y
PA_CHROMATICS	S		MONO MULTI	MONO
CHANNEL_NUMBER	I	L	0 100	0
PA_MUX_LOADMODE	S	L	FIXED_MINHOP FLOWSENS_MINHOP	FIXED_MINHOP
<b>NEEDED FOR DISTANCE</b>				
COSTPARM	S	G	COST DIST1 DIST2 DIST3	COST
LLVH	S	G	LL VH	VH
<b>NEEDED FOR NETGEN</b>				
NG_GEN_COSTS	S	G	Y N P K1 K2 K3 K4 K5 K6 K7	Y
NG_GEN_REQS	S	G	Y N	Y
NG_DIST_OFFSET	F	G	0 1	0.1
NG_DIST_POWER	F	G	0 5	1.0
NG_POP_OFFSET	F	G	0 1	0.1
NG_POP_POWER	F	G	0 5	1.0
NG_TOT_REQ	I	G	1 10000000	1000
NG_RAND_FRACT	F	G	0 1	0
NG_L11	F	G	0 100	1.0
NG_L12	F	G	0 100	0.0
NG_L13	F	G	0 100	0.0
NG_L21	F	G	0 100	0.0
NG_L22	F	G	0 100	0.0
NG_L23	F	G	0 100	0.0
NG_L31	F	G	0 100	0.0
NG_L32	F	G	0 100	0.0
NG_L33	F	G	0 100	0.0
NG_NORMALIZE	S	G	TOTAL ROW ROW/COL	TOTAL
NG_DIAG	S	G	Y N	N
NG_TRAFFIC	C	G	00000 ZZZZZ	DEFAULT
NG_COSTS	C	G	00000 ZZZZZ	DEFAULT
NG_COSTMON-INT	C	G	00000 ZZZZZ	COSTINT.TBL
NG_COSTMON-NAT	C	G	00000 ZZZZZ	COSTNAT.TBL
NG_EQUIPMENT	C	G	00000 ZZZZZ	EQUIP.TBL
NG_MSGCLASS	C	G	00000 ZZZZZ	MSGCLASS.TBL
NG_PARMS	C	G	00000 ZZZZZ	ANTDPARM.TBL
NG_PROFILE	C	G	00000 ZZZZZ	PROFILE.TBL
NG_INP_FILE	C	G	00000 ZZZZZ	DEFAULT
NG_NREQ	I	G	0 100000	0
NG_RHT	I	G	0 100000	0
NG_PONEHOP	F	G	0 1	.5

<b>NEEDED FOR GENNING SERVICES</b>				
NG_GEN_SERVICES	S	G	Y N	N
NG_TOT_SERVICES	F	G	1 10000000	1000
NG_TOT_SERVFLOW_IN	F	G	1 100000000	10000
NG_TOT_SERVFLOW_OUT	F	G	1 100000000	10000
<b>PARAMETRO</b>	<b>TIPO</b>	<b>CAT</b>	<b>RANGO</b>	<b>PREDETERMINADO</b>
NG_SERV_POP_POWER	F	G	0 10	1
NG_SERVICE_TYPE	S	G	00000 ZZZZZ	DEFAULT
NG_SERVERS	S	G	00000 ZZZZZ	SERVER.TBL
NG_SERVICES	S	G	00000 ZZZZZ	SERVICES.TBL
<b>NEEDED FOR INCREMENT</b>				
INCRMENT_NODE_SET	S	C	ALL BKBN	ALL
INCRMENT_DIVISOR	F	C	1 10	10
<b>NEEDED FOR TNN ANALYZER</b>				
PROB_LOSS	F	L	.000000001 .1	.0000001
BUILD_FROM_TRAF	S	L	TRUE FALSE	FALSE
PRIN_ROUTE_UTIL	F	L	0.1 0.95	.7
SEC_ROUTE_UTIL	F	L	0.1 0.95	.6
GEN_OVERHEAD	S	L	TRUE FALSE	FALSE
<b>NEEDED FOR ESAU WILLIAMS</b>				
EW_LINK_TYPE	S	L	D96 D56 D64 F128 F256 T1 T3 D64 E1 OC3 OC12 FIBER	D96
EW_UTILIZATION	F	L	.01 .99	.5
EW_MAX_DEPTH	S	L	0 2 3 4 5 6 7 8	0
MSLA_UPGRADE_FRACT	F	L	0 1	1
TRACE	S	L	Y N	N
VIDEO_MCAST_MODE	S	L	OLD NEW1	OLD

#### ***A.1.4 Cálculo del tiempo de atraso en DELITE.***

El algoritmo de ruteo, la longitud de los mensajes y la capacidad de los enlaces son los principales parámetros de diseño que afectan el cálculo del tiempo de atraso en la red. Los algoritmos de ruteo usados por DELITE son el RIP (“Minimum Hop Routing”) y el OSPF (“Minimum Distance Routing”).

La longitud de los mensajes es leída del parámetro MESSAGE\_LEN en la tabla de parámetros y la capacidad de los enlaces es leída del campo “SPEED” de la tabla de tipo de enlaces.

Asumiendo multiplexores inversos y usando el modelo M/M/1 para el cálculo del tiempo de atraso, DELITE genera los tiempos promedio de atraso en los nodos, enlaces y el tiempo promedio de atraso en la red. Los parámetros anteriores son desplegados con las siguientes etiquetas en el reporte producido por DELITE: AVE\_NODE\_DEL, AVE\_LINK\_DEL y AVE\_TOT\_DEL respectivamente. Al mismo tiempo que realiza el

cálculo del tiempo de atraso, DELITE direcciona todo el tráfico y hace el cálculo del número de saltos promedio y los despliega con la etiqueta AVE\_HOPS. [Cahn, 1998]

## Anexo 2

### ECONETS

ECONETS (“Economical Networks”) es una herramienta interactiva que permite a los especialistas en telecomunicaciones y redes modelar, analizar y diseñar redes de voz, ACD, y redes de datos. ECONETS utiliza una metodología “top down” para la modelación de topologías de red haciéndolo de una manera rápida y efectiva. Redes de datos con topologías mixtas y varios niveles de concentradores, ruteadores y conmutadores de red pueden también ser modelados con rapidez y facilidad. Las topologías de las redes “backbone” usando tecnologías T1/T3, SONET y WDM pueden ser modeladas y optimizadas. El paquete provee una novedosa metodología que permite recomendar sitios para concentradores y conmutadores a través del proceso de encontrar centros de gravedad (“COGs”). El paquete requiere de varios archivos secuenciales de entrada para realizar los cálculos. En la tabla A.2.1 se muestra cada uno de los archivos así como una descripción de cada uno de ellos. [Sharma, 1997]

**Tabla A.2.1 Descripción de los archivos usados por ECONETS.**

Nombre	Descripción
<b>VHD</b>	Define las coordenadas verticales y horizontales así como el período pico de la intensidad de tráfico en cada uno de los sitios o locaciones.
<b>LINK</b>	Define el tipo de enlace para conectar cada uno de los nodos de la red.
<b>MAP</b>	Define el mapa de contorno para ilustrar la topología resultante.
<b>NLT</b>	Define hasta 10 tipos de enlace en términos de capacidad, máxima velocidad de transferencia, número de conversaciones de voz, número relativo de tarifa y parámetros de diseño.
<b>TARIFF</b>	Define hasta 10 tarifas que pueden ser usadas para el cálculo del costo de la red.
<b>SDF</b>	Define hasta 60 parámetros de diseño requeridos para influenciar el rendimiento del sistema en términos de tiempo de respuesta, costo y presentaciones.
<b>NAME</b>	Define el nombre de los nodos o locaciones de acuerdo a 3 símbolos para el código de la ciudad y 2 símbolos para el código de estado. Este archivo es usado para crear una base de datos con los nombres de los nodos.
<b>FTD</b>	Define el pico del periodo de tráfico que fluye entre los nodos de una red dada.
<b>LATA</b>	Define el código de 3 dígitos para el acceso local y el área de transporte asociada con cada LAN.

<b>FILES</b>	Define el nombre de los 17 archivos que pueden ser requeridos en el diseño de una red. Es el único archivo de inicialización al cual no se le puede cambiar el nombre.
<b>CSABDS</b>	Define una matriz de tamaño 60 X 62 que provee un “Customer Service Area Band (CSABDS)” para cada combinación de 2 números de región asociados con una fuente y un destino.
<b>UTBL</b>	Define los índices de consumo para el servicio virtual 800.
<b>WUTBL</b>	Define los índice de consumo para el servicio virtual de telecomunicación de área amplia.(WATS)
<b>MUTBL</b>	Define los índices de consumo para el servicio virtual MegaCom 800.
<b>RSTBL</b>	Define los índices de paso para CSABDS conocidos y números regionales.
<b>DTP</b>	Define el perfil de tráfico diario usado para calcular los costos mensuales y el costo promedio de un minuto de llamada, o el costo de transmitir un megabit de tráfico. En este archivo se define la fracción del tráfico diario manejado en cada hora del día.
<b>SWF</b>	Define el número de switches y el identificador para cada localización del switch.

La interfase de usuario de ECONETS maneja cuatro menús:

1. **File:** contiene 10 elementos: Create InputFile, View-UpdateInputFile, Save FileAs, Duplicate File, VHDFilesMerge, VHD Traffic Multiplier, MAP/FTFilesMerge, OpenOutputFile, Print, y Quit.
2. **Networking:** contiene nueve elementos que se listan enseguida:
  - a. FindCOGs: encuentra las localidades candidatas a switches en todos los niveles jerarquía de la red.
  - b. StarNet: para la modelación, análisis y diseño de redes de datos con una topología estrella.
  - c. DLNet: para la modelación, análisis y diseño de redes de datos con una topología de enlace directo.
  - d. MDNet: para la modelación, análisis y diseño de redes de datos con una topología multipunto.
  - e. MSTNet: para la modelación, análisis y diseño de una topología de árbol de costo mínimo.
  - f. VoiceNet: para la modelación, análisis y diseño de redes de voz de nivel 2 con una topología estrella.
  - g. ACDNet: para la modelación, análisis y diseño de redes de voz ACD.
  - h. GivenNet: para la modelación, análisis y diseño de una topología de red dada usando tipos de enlaces arbitrarios conectados a un conjunto de nodos.

- i. CreateDB: para la creación de una base de datos con los parámetros de diseño más importantes, estructurados de una manera efectiva para rastrear anomalías en los archivos de salida.
3. **Analysis:** contiene 12 elementos: Find B-ErlB, Find N-ErlB, Find B-FiniteM, MMNQueueAnalysis, MDNQueueAnal, Composite ACD, Multi-Priority Queue, PSS-Msg.Expansion, LAN Performance, PSS Delay, Reliability, Return-On- Investment, BBN-Optimization and FindRoutes.
  4. **Help:** contiene 5 elementos para ver datos relacionados con ECONETS, los archivos de entrada y salida, así como de los menús de “Networking” y “Analysis”.

Uno de los archivos más importantes de ECONETS es el llamado SDF que contiene 60 parámetros de diseño requeridos para definir el rendimiento del sistema. A continuación se muestra la tabla A.2.2 con los parámetros más importantes de este archivo y de aquellos parámetros que tiene una influencia directa en el cálculo del tiempo promedio de atraso en la red, estos parámetros son marcados con un asterisco en el índice.

**Tabla A.2.2 Descripción de los principales parámetros del archivo SDF de ECONETS.**

Índice	Código	Descripción
1*	ATP	Define el tipo de análisis usado para calcular el tiempo de respuesta en redes de datos. ATP=1 significa el uso de un protocolo asíncrono (ASYNCR) usado en sistemas FPS, Frame Relay y ATM. ATP=2 significa el uso de un protocolo multipunto virtual (VMPT) que es usado por algunas redes Doelz. ATP=3 representa el uso de un protocolo BSC o SDLC empleado en redes multipunto con poleo. ATP=4 es reservado para redes X.25.
2*	UPR	Define el “user port rate” en bps para redes de datos. El valor de este parámetro es generalmente menor que la velocidad de los enlaces definidos por el parámetro ALT.
3*	HPR	Define el “host port rate” en bps para redes de datos. El valor de este parámetro es generalmente menor que la velocidad de los enlaces definidos por el parámetro ALT.
4*	IML	Define la longitud del mensaje de entrada en bytes para redes de datos. La longitud se refiere a la de los mensajes usados para la comunicación entre los nodos de una red y dependen del protocolo que se este usando.
5*	RML	Define la longitud del mensaje de salida en bytes para redes de datos. La longitud se refiere a la de los mensajes usados para la comunicación entre los nodos de una red y dependen del protocolo que se este usando.

8*	HTT	Define el tiempo “Host think time” en segundos para redes de datos. Este parámetro se define como el tiempo utilizado en analizar una requisición del usuario y recibir la respuesta de un almacenamiento secundario. Con la entrada de este parámetro se deberá tener precaución, ya que esta definido en segundos y la entrada es generalmente es milisegundos.
10*	Tnp	Define el tiempo promedio de procesamiento del nodo por paquete en milisegundos.
11*	Thm	Define el tiempo medio del MODEM en milisegundos para redes de datos.
12*	Kpg	Define la constante de propagación in ms/milla para redes de datos. Su valor generalmente se define en 0.01
13*	BLKL	Define la longitud del bloque en bytes para redes de datos.
14*	ICPB	Define los caracteres de información por paquete/bloque de una red de datos.
15	TGF	Define el factor de crecimiento del tráfico para estudiar los costos de la red o el rendimiento como una función del crecimiento del tráfico.
16	Flk	Define el factor que dirige al programa a leer el archivo de enlaces (LINK) cuando es establecido en 1.
17	Fnn	Define el factor que dirige al programa a leer el archivo de nombres (NAME) cuando es establecido en 1.
18	Flt	Define el factor que dirige al programa a leer el archivo LATA cuando es establecido en 1.
19*	Fftd	Define el factor que dirige al programa a leer el archivo FTD cuando es establecido en 1.
21*	ALT	Define el tipo de enlace de acceso para redes de voz/datos cuando el archivo de enlaces (LINK) no es leído. (parámetro16)
31*	TKLT	Define el tipo de enlace asociado con un “trunk”. “Trunk” es el enlace que conecta a dos switches.
35*	MTKU	Define la máxima utilización del “trunk” de datos. $MTKU \leq 1$
36*	BBTF	Define el “Backbone trunking factor” para influenciar la cantidad de tráfico interswitches. $BBTF \geq 1$
37	Vmin	Define el valor mínimo de la coordenada vertical del mapa.
38	Vmax	Define el valor máximo de la coordenada vertical del mapa.
39	Hmin	Define el valor mínimo de la coordenada horizontal del mapa.
40	Hmax	Define el valor máximo de la coordenada horizontal del mapa.

La versión de prueba de ECONETS puede manejar hasta 60 nodos. ECONETS puede ser ejecutado en una computadora PC con Windows, equipada con 32 megabytes de RAM, 40 MB de disco duro. Las versiones comerciales pueden manejar redes con 500 o más nodos pero requieren de 64MB de RAM.

## *Anexo 3*

### **COMNET III**

COMNET III es un simulador de redes orientado a objetos que predice el rendimiento de redes de comunicación. Es usado para modelar redes, sus algoritmos de control así como sus cargas de trabajo. El tipo de redes que pueden ser modeladas van desde sencillas redes de área local (LAN) hasta complejas redes empresariales de comunicación extendida (WAN).

COMNET III utiliza la metodología de simulación de eventos discretos, por lo que genera resultados precisos y reales. (COMNET, 1997)

El usuario de COMNET III construye el modelo de manera gráfica utilizando iconos que representan nodos, enlaces, protocolos y tráfico y los posiciona en la pantalla usando el ratón. COMNET III posee una gran librería que incluye a todos estos objetos. En el proceso de modelación generalmente la creación de la topología es la primera en efectuarse, seguida del establecimiento del tráfico y las cargas de trabajo, finalizando con el establecimiento de los parámetros para la operación de la red.

La topología de la red incluye la definición de los nodos y los enlaces, así como sus características. Dentro de la librería de objetos de COMNET III encontramos cuatro tipos de nodos disponibles: “Computer and Communication Node (C&C)”, “Computer Group Node”, “Router Node” y “ATM switch node”. Los dos primeros son usados para modelar computadoras. El tráfico puede ser generado o recibido desde este tipo de nodos. Los nodos C&C también pueden rutear tráfico por lo tanto pueden modelar “bridges”, “gateways” y “switches”. Los nodos “Router” pueden ser usados para modelar “hubs”, “routers” y “switches”. El nodo “ATM Switch” es usado para rutear tráfico.

Los enlaces definidos dentro de la librería de COMNET son los enlaces punto a punto y los enlaces de acceso múltiple. Protocolos de acceso múltiple pueden ser modelados e incluyen: “CSMA/CD”, “CSMA”, “ALOHA”, “TOKEN BUS”, “FDDI” y “Polling”. Nodos y enlaces pueden ser organizados jerárquicamente en subredes. Los objetos subredes en COMNET III son usados para modelar una topología jerárquica de manera que redes separadas poseen algoritmos de ruteo independientes del “backbone”.

Las fuentes de aplicación ejecutan comandos que introducen tráfico a la red o cargas de trabajo en el nodo. Las fuentes de tráfico son usadas para definir tráfico entre nodos. Las fuentes de tráfico incluyen: fuentes de mensaje, fuentes de respuesta, fuentes de sesión, y fuentes de llamada, todas ellas se enlazadas a un nodo. Una fuente de mensaje produce una

aplicación que ejecuta un comando simple de transporte de mensaje, una fuente de respuesta ejecuta un comando simple de respuesta. Una fuente de sesión ejecuta un comando que establece una sesión. Después de establecer la misma, una serie de mensajes son enviados durante la duración de toda la sesión. Finalmente una fuente de llamada establece tráfico de conmutación de circuitos.

Los mensajes son transportados de una fuente a un destino usando protocolos de Transporte, Ruteo, Enlace de Datos y de Acceso al medio. Paquetes de protocolos como TCP/IP, IPX, SNA, DECNet pueden ser modelados usando COMNET III.

Los mensajes son divididos en paquetes. El tamaño máximo de los paquetes junto con la información para su transmisión (“overhead”), el retraso en la construcción de un paquete y el tiempo de procesamiento de un paquete pueden ser establecidos en COMNET III. Cuando los paquetes son transmitidos sobre un enlace se forman tramas (Nivel enlace de datos del modelo OSI). Dependiendo del tamaño del paquete este puede ser dividido en varias tramas o inversamente varias tramas pueden formar un paquete. En general la división de la información puede ser vista de la siguiente manera:

Sesión-> Mensajes ->Paquetes-> Tramas

El nodo destino de los mensajes puede ser establecido por una lista aleatoria, una lista de nodos vecinos o una lista con peso de los nodos. En la lista aleatoria el usuario debe establecer los nodos que desea sean usados, en la lista de vecinos estos son escogidos aleatoriamente y en la lista con peso se especifica una probabilidad para cada nodo destino usado. Las probabilidades de los nodos deberán sumar 1.

El ruteo en COMNET III puede ser estático o adaptativo. Los tipos de ruteo estático son: LS-SPF y el RIP con el mínimo de saltos. Los ruteos adaptativos son: IGRP usando varias métricas, penalidad mínima con retraso, penalidad mínima con utilización y el de mínimo retraso. También es posible definir tablas de ruteo con rutas sencillas o múltiples. En el ruteo adaptativo las tablas de ruteo son calculadas periódicamente y enviadas a todos los nodos. La frecuencia con la que esto se realiza puede ser especificada definiendo el parámetro de actualización del intervalo de ruteo.

COMNET III usa distribuciones de probabilidad para definir parámetros como la razón de arribos, la longitud de los mensajes, el tiempo promedio entre fallas, el tiempo promedio de reparaciones.

Una vez que la modelación ha sido realizada para la simulación, los comandos del menú de *Simulación* pueden ser usados para controlar la simulación. La simulación puede ser llevada a cabo con el parámetro de animación activado.

Los reportes producidos por COMNET III incluyen la utilización de los nodos y los retrasos de las aplicaciones, utilización y retrasos en los enlaces, retrasos de los mensajes, retrasos en los paquetes, llamadas bloqueadas, retraso en la configuración de las sesiones. Para el protocolo CSMA/CD incluye retrasos en los mensajes, retraso en la configuración

de FTP (“File Transfer Protocol”), número de colisiones, número promedio de intentos para resolver una colisión y utilización de los enlaces.

### ***Otros importantes simuladores.***

En los últimos años surgieron importantes compañías que crearon excelentes productos en el área de simulación de redes. Otros simuladores han sido creados gracias al esfuerzo de universidades y son del dominio público, el cual ha contribuido al crecimiento y calidad de estos productos. Dentro de los productos de compañías privadas tenemos a Netcraker, Opnet, Comnet (Comnet fue usado en la experimentación de esta tesis.). Dentro de la categoría de simuladores de dominio público más importantes, tenemos: “Berkeley Network Sumlator NS-2”, “CNET Network Simulator” y OMNet ++. Desafortunadamente con la desaceleración económica en los Estados Unidos de Norteamérica, algunas compañías han cerrado y sus productos han quedado fuera del mercado. Algunos otros productos, debido a estrategia tecnológica, han sido reorientados. En este ultimo caso recae Comnet, que al ser comprado por la empresa “Compuware” fue sustituido por un producto llamado “Comnet Predictor” y se eliminaron sustancialmente muchas de sus principales características de simulación. A continuación se realiza una descripción de los dos de los principales simuladores mas fuertes en la actualidad, uno de ellos es comercial: “Opnet” y el otro desarrollado por la universidad de Berkeley con apoyo de importantes instituciones: “Network Simulator NS-2”.

**a) “OPNET Modeler “ (<http://www.opnet.com/>)**

Originalmente desarrollado por el MIT, fue introducido al mercado en 1987 como el primer simulador comercial de redes. Opnet puede manejar complicadas topologías con un número ilimitado de subredes. Los nodos y protocolos son modelados como clases con herencia y especialización. Los comportamientos de los enlaces son abiertos y con capacidad de programación, permitiendo el manejo de retrasos, disponibilidad del enlace, tasas de errores, etc.

Una gran cantidad de protocolos están disponibles para ser usados en las simulaciones dentro de los cuales se encuentra: Including Multi-Tier Applications, Voice, HTTP, TCP, IP, OSPF, BGP, EIGRP, RIP, RSVP, Frame Relay, FDDI, Ethernet, ATM, 802.11 Wireless LANs, MPLS, PNNI, DOCSIS, UMTS, IP Multicast, Circuit Switch, etc. Opnet incluye cientos de modelos con especificación de vendedores o genéricos y permiten modelar: ruteadores, concentradores, estaciones de trabajo y generadores de paquetes. La administración de memoria y el motor de simulación son de una eficiencia alta. Las simulaciones híbridas permiten mejorar el rendimiento por la combinación de la precisión de las simulaciones orientadas a eventos con la velocidad de la modelación analítica. Opnet integra importantes herramientas para desplegar los resultados de las simulaciones, permitiendo realizar análisis de los resultados y la exportación de los mismos a distintitos formatos.

Opnet esta basado en una serie de editores jerárquicos que directamente construyen en paralelo la estructura de redes reales, equipos y protocolos.

**b) “Network Simulator NS-2” (<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>):**

NS-2 es un simulador de redes discreto activado por eventos y orientado a objetos, desarrollado por la universidad de Berkeley y está escrito en C++ con un interprete OTcl como interfaz de usuario. NS-2 es útil principalmente para simular redes de área local y redes de área amplia. Aunque el simulador NS-2 es bastante fácil de utilizar una vez que el usuario se familiariza con el paquete, es algo difícil la primera ocasión que se utiliza. Lo anterior debido a que existen pocos tutoriales o manuales que expliquen a un usuario no experto, su instalación y funcionamiento. Existen bastantes documentos del simulador NS-2, escritos por los desarrolladores, que describen a profundidad su funcionalidad y por lo tanto se requiere de un mayor conocimiento y experiencia para entenderlos a detalle por parte de un principiante. Lo interesante de este producto es que es continuamente actualizado por contribución de los usuarios y son ellos que le dan un valor agregado.

En la liga “<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>” se encuentra el código para ser usado en distintas plataformas, una descripción de los principales componentes, manuales de instalación, ejemplos, módulos desarrollados por investigadores, etc. Finalmente se puede mencionar que este producto es de una calidad bastante aceptable en comparación a los productos comerciales, con la ventaja de tener acceso a los códigos fuentes.

## *Anexo 5*

### *Experimentos*

**Tabla A.5.1 Diseño de experimentos con sus principales características.**

<b>Número Experimento</b>	<b>Número Nodos</b>	<b>Nodo Concentrador</b>	<b>Topología</b>
Experimento 1	5	N5	Enlace Directo
Experimento 2	5	N5	Enlace Directo
Experimento 3	6	N1	Estrella
Experimento 4	6	N1,N2	Estrella
Experimento 5	6	N1,N2	Enlace Directo
Experimento 6	8	N1	Multidrop
Experimento 7	8	N1	Estrella
Experimento 8	9	N1,N2 y N3	Enlace Directo
Experimento 9	9	N1,N2 y N3	Estrella

### A.5.1 Experimento 1

Se realizó un diseño de 5 nodos en línea. La capacidad de los enlaces fue de 19200 bps y se definió al nodo 5 como concentrador. En la tabla A.5.1.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.1.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de respuesta del sistema el cual fue necesario dividir entre 2 para obtener el tiempo promedio de atraso de la red, siendo igual a 29 ms. Se utilizó una topología de conexión directa. En la gráfica A.5.1.1 se muestra el diseño en Econets.

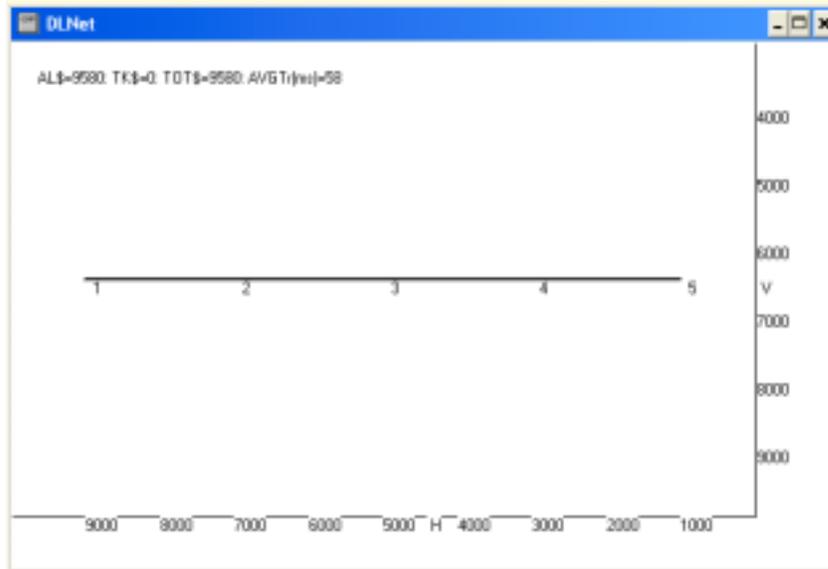
**Tabla A.5.1.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 1.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	64	Ffd =	1
UPR =	19200	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	2
HPR =	19200	Thm =	0	Fik =	0	TKLT =	2
IML =	1	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	1	BKL =	64	Flt =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.1.2 Matriz de tráfico entre los nodos para experimento 1.**

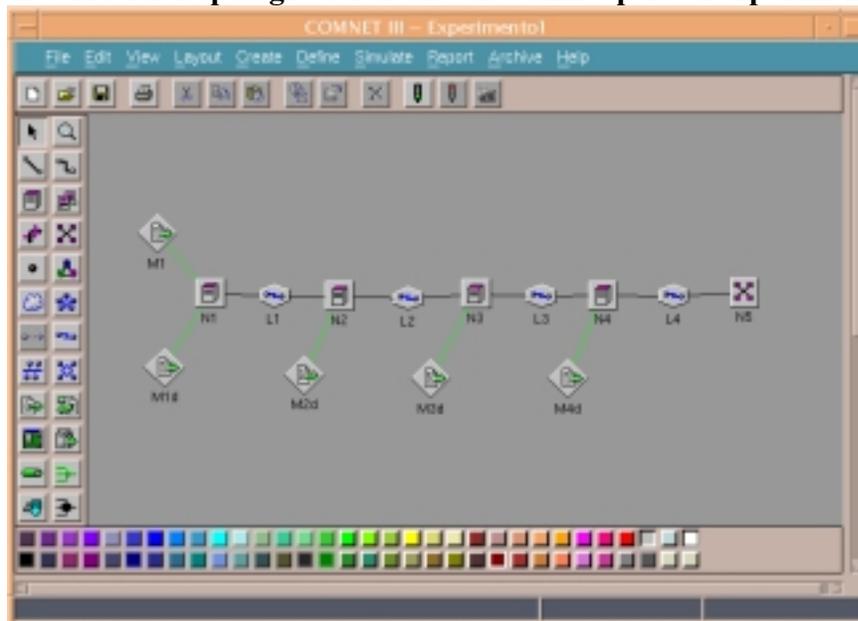
NODOS	N1	N2	N3	N4	N5
N1		0	0	0	2400
N2	0		0	0	0
N3	0	0		0	0
N4	0	0	0		0
N5	0	0	0	0	

**Gráfica A.5.1.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 1.**



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 20 repeticiones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 28.58ms y una desviación estándar igual a 1.1811. El diseño se muestra en la gráfica A.5.1.2

**Gráfica A.5.1.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 1.**

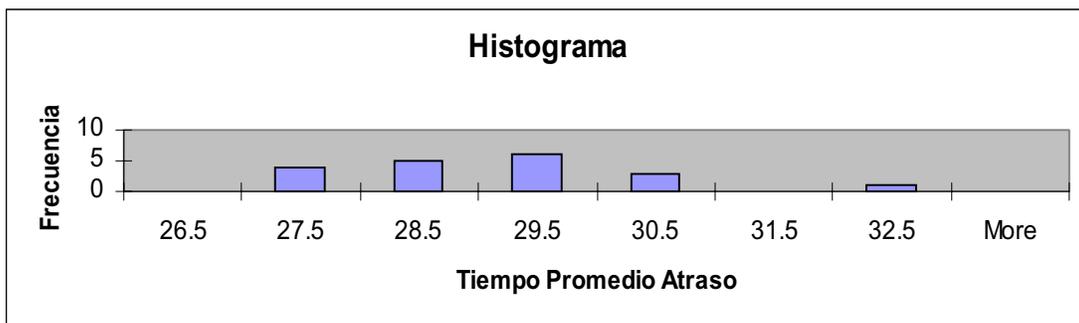
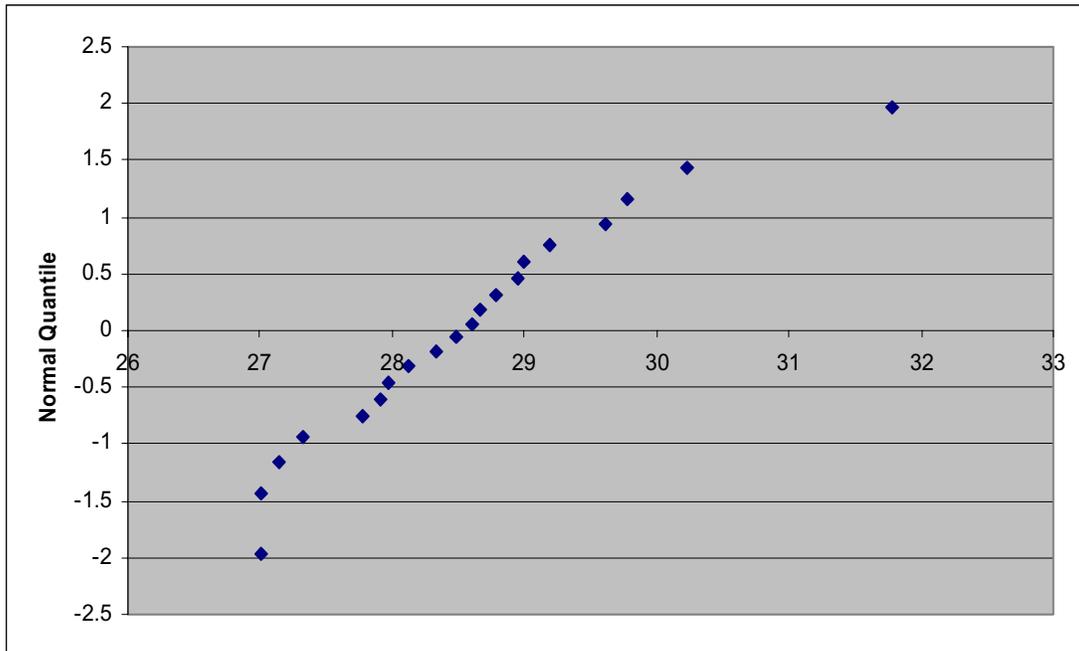


En la tabla A.5.1.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 20 repeticiones y en la gráfica A.5.1.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores.

**Tabla A.5.1.3 Resultados de las 20 repeticiones en Comnet para experimento 1.**

No. Replicación	T <sup>-</sup> Comnet
1	28.3393
2	27.3225
3	27.7813
4	27.1485
5	30.2275
6	27.0145
7	28.9968
8	28.6055
9	27.9125
10	28.1200
11	29.6150
12	29.1865
13	28.4893
14	27.0025
15	28.9468
16	31.7818
17	27.9678
18	28.6698
19	29.7795
20	28.7840

**Gráfica A.5.1.3 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 1.**



## A.5.2 Experimento 2

Se realizó un diseño de 5 nodos en línea. La capacidad de los enlaces fue de 19200 bps y se definió al nodo 5 como concentrador. En la tabla A.5.2.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.2.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de atraso de la red igual a 36.5 ms. Se utilizó una topología de conexión directa. En la gráfica A.5.2.1 se muestra el diseño en Econets.

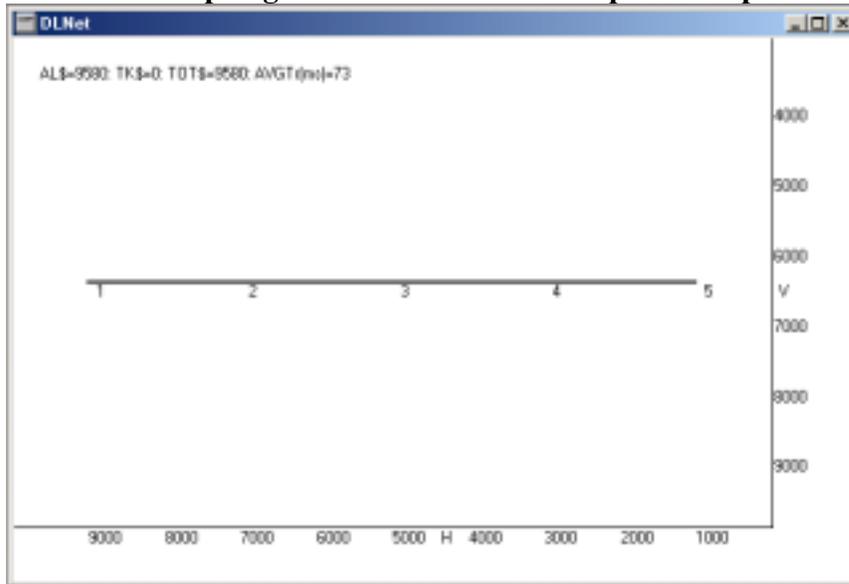
**Tabla A.5.2.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 2.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	64	Fftd =	1
UPR =	19200	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	2
HPR =	19200	Thm =	0	Flk =	0	TKLT =	2
IML =	64	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	64	BKL =	64	Flt =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.2.2 Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 2.**

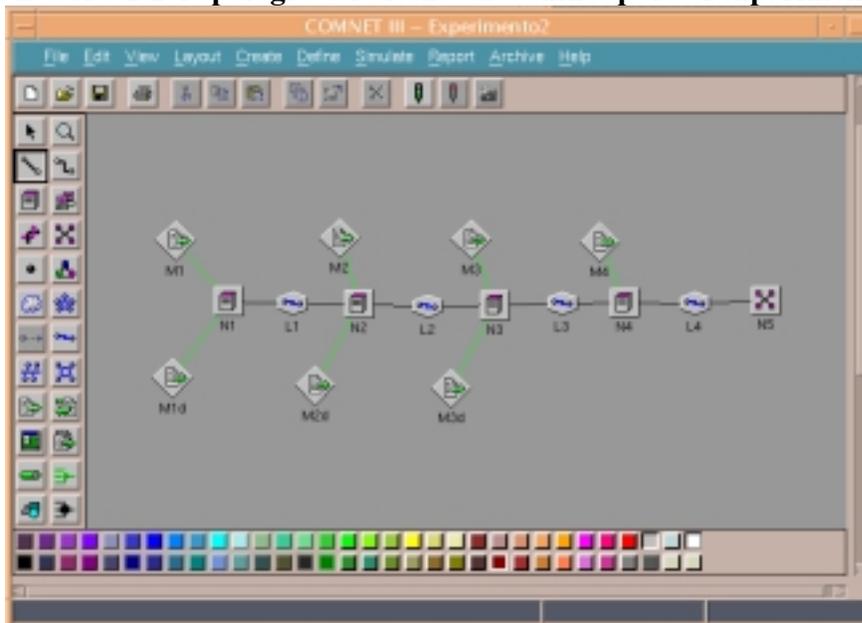
NODOS	N1	N2	N3	N4	N5
N1		0	0	0	2400
N2	0		0	0	2400
N3	0	0		0	2400
N4	0	0	0		2400
N5	0	0	0	0	

**Gráfica A.5.2.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 2.**



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 20 repeticiones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 33.82ms y una desviación estándar igual a 1.3984. El diseño se muestra en la gráfica A.5.2.2

**Gráfica A.5.2.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 2.**

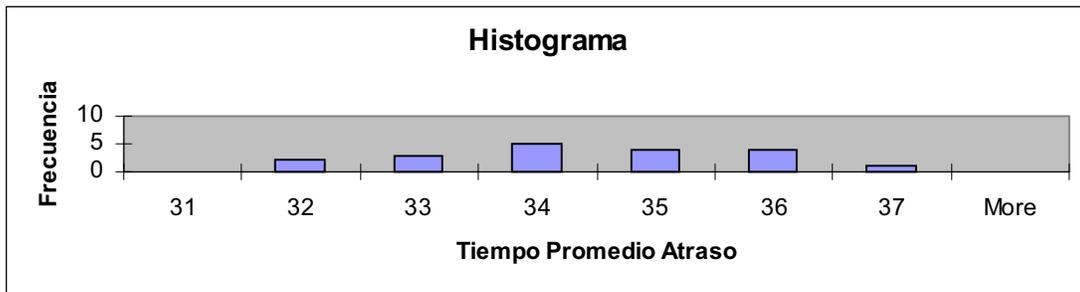
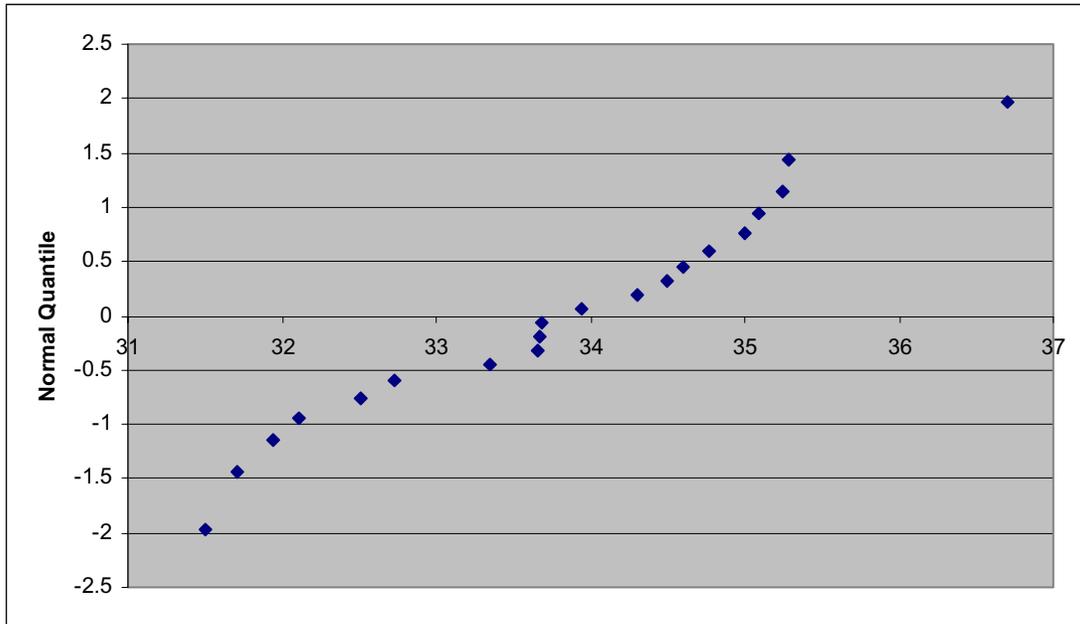


En la tabla A.5.2.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 20 repeticiones y en la gráfica A.5.2.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores.

**Tabla A.5.2.3 Resultados de las 20 repeticiones en Comnet para experimento 2.**

No. Replicación	T <sup>-</sup> Comnet
1	31.9473
2	32.7310
3	31.5040
4	35.0033
5	33.9395
6	33.6722
7	33.6626
8	33.3467
9	35.2428
10	33.6781
11	32.5068
12	32.1066
13	34.7718
14	34.3047
15	35.2830
16	36.7052
17	34.6021
18	31.7156
19	34.4938
20	35.0888

**Gráfica A.5.2.3 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 2.**



### A.5.3 Experimento 3

Se realizó un diseño de 6 nodos. La capacidad de los enlaces fue de 56000 bps y se definió al nodo 1 como concentrador. En la tabla A.5.3.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.3.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de atraso de la red igual a 10.4 ms. Se utilizó una topología estrella. En la gráfica A.5.3.1 se muestra el diseño en Econets.

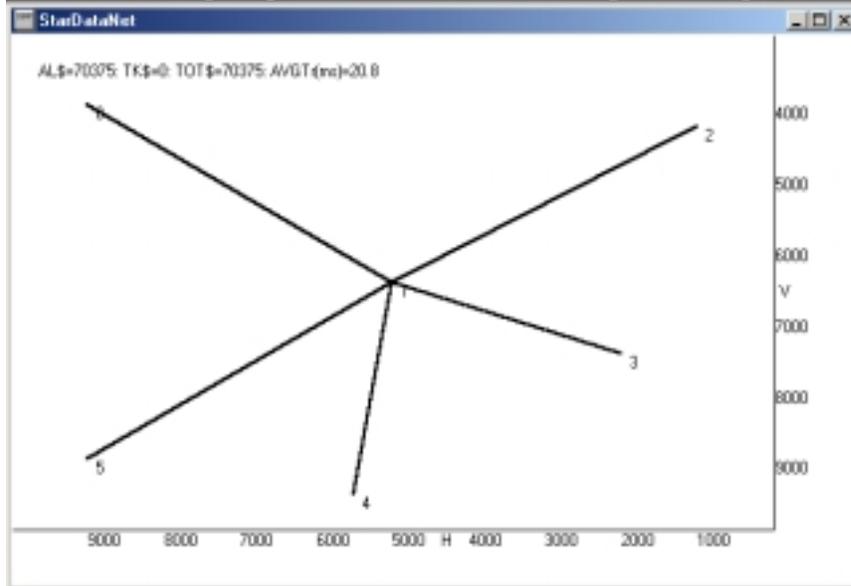
**Tabla A.5.3.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 3.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	53	Fftd =	1
UPR =	56000	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	3
HPR =	56000	Thm =	0	Flk =	0	TKLT =	3
IML =	53	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	53	BKL =	53	Flt =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.3.2 Matriz de tráfico entre los nodos para experimento 3.**

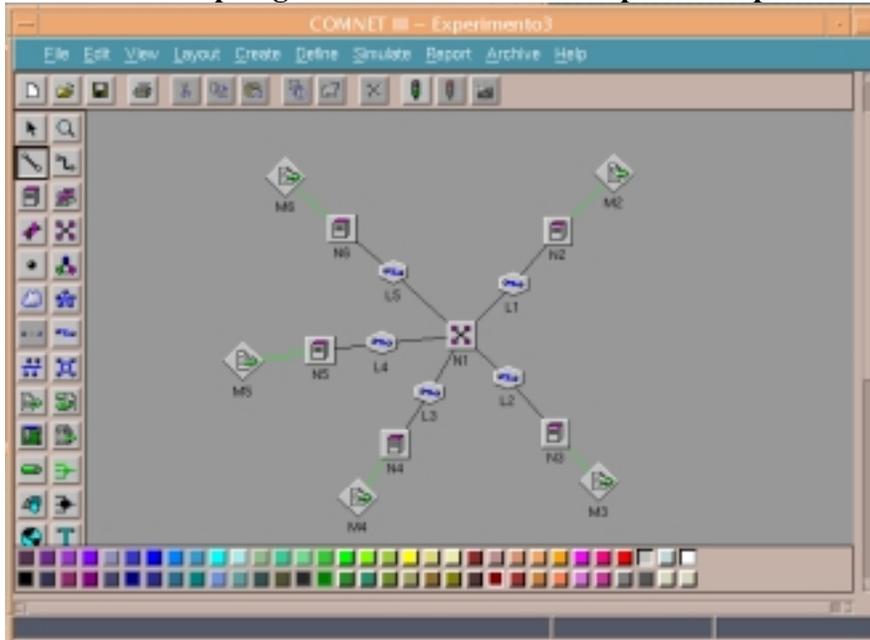
NODOS	N1	N2	N3	N4	N5	N6
N1		0	0	0	0	0
N2	19200		0	0	0	0
N3	36000	0		0	0	0
N4	19200	0	0		0	0
N5	9600	0	0	0		0
N6	36000	0	0	0	0	

**Gráfica A.5.3.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 3.**



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 20 replicaciones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 12.30ms y una desviación estándar igual a 0.1860. El diseño se muestra en la gráfica A.5.3.2

**Gráfica A.5.3.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 3.**

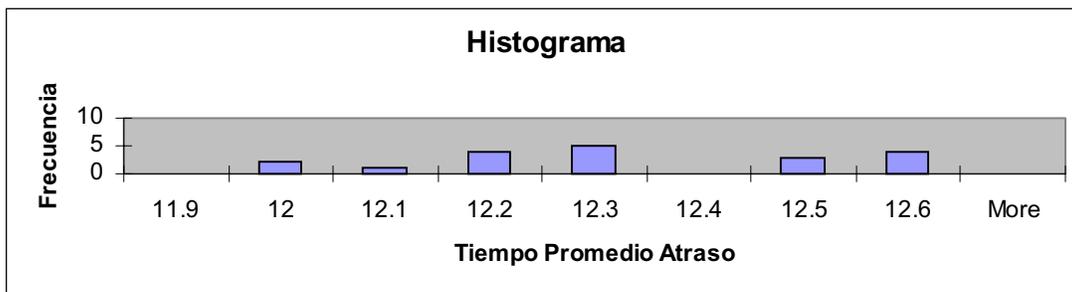
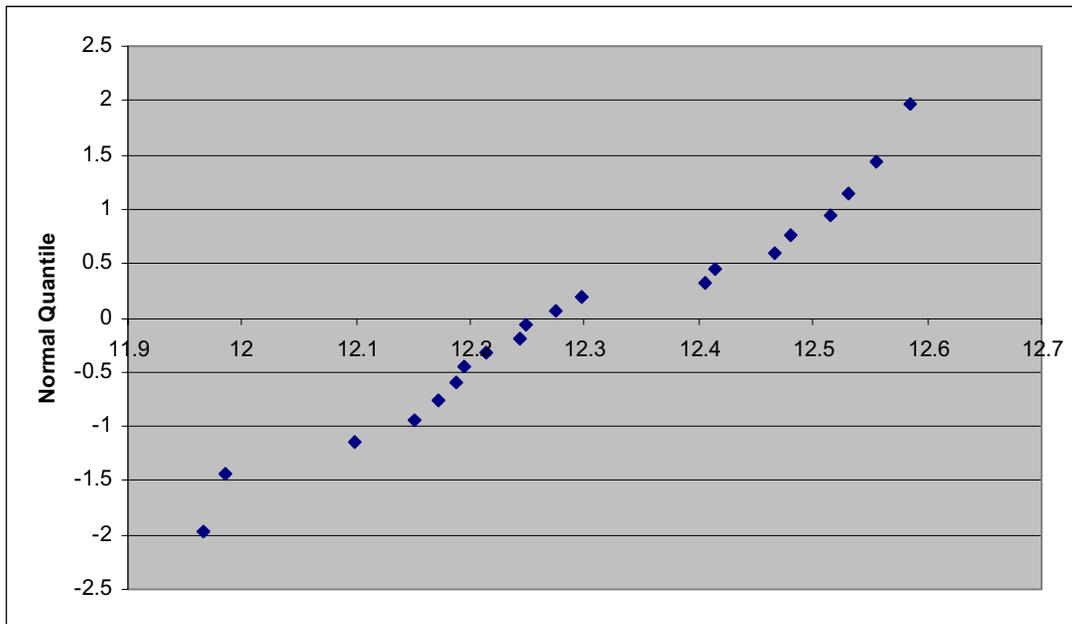


En la tabla A.5.3.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 20 repeticiones y en la gráfica A.5.3.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores.

**Tabla A.5.3.3 Resultados de las 20 repeticiones en Comnet para experimento 3.**

No. Replicación	$T^-$ Comnet
1	12.4143
2	12.2489
3	12.1942
4	12.5843
5	12.2742
6	12.2972
7	12.2141
8	12.0984
9	12.1506
10	12.1726
11	11.9855
12	11.9656
13	12.5555
14	12.4667
15	12.5309
16	12.4049
17	12.1878
18	12.2426
19	12.5148
20	12.4810

**Gráfica A.5.3.3 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 3.**



#### A.5.4 Experimento 4

Se realizó un diseño de 5 nodos. La capacidad de los enlaces fue de 19200 bps para la red de acceso y 56000 para el “backbone”. Los nodos 1 y 2 como conmutadores. En la tabla A.5.4.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.4.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de atraso de la red igual a 33.75 ms. Se utilizó una topología estrella. En la gráfica A.5.4.1 se muestra el diseño en Econets.

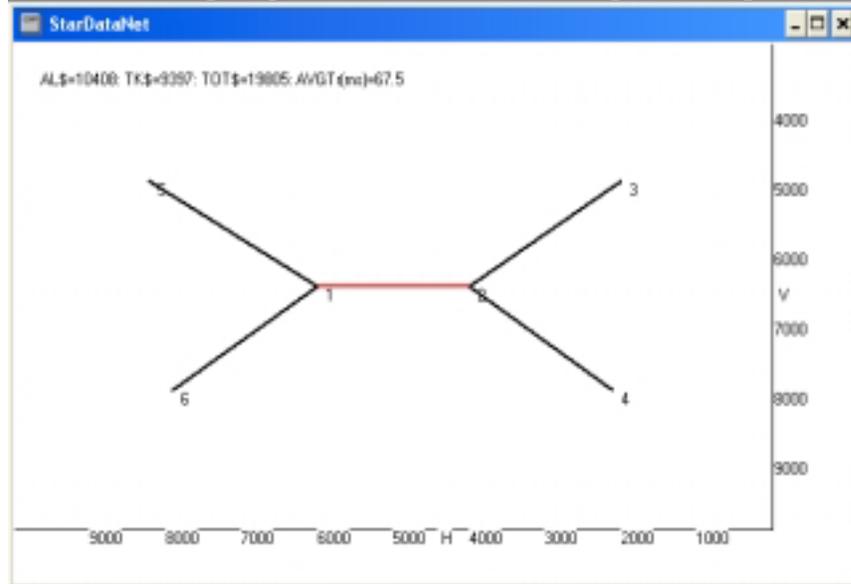
**Tabla A.5.4.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 4.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	53	Fftd =	1
UPR =	19200	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	2
HPR =	19200	Thm =	0	Fik =	0	TKLT =	3
IML =	53	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	53	BKL =	53	FIt =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.4.2 Matriz de tráfico entre los nodos para experimento 4.**

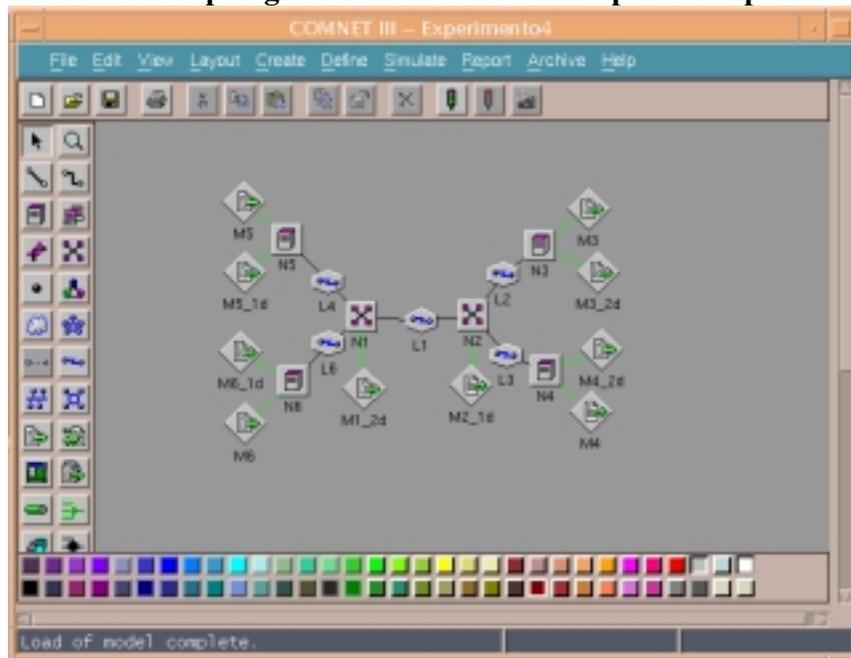
NODOS	N3	N4	N5	N6
N3		0	1200	2400
N4	0		1200	1200
N5	1200	1200		0
N6	2400	1200	0	

**Gráfica A.5.4.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 4.**



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 10 replicaciones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 32.24ms y una desviación estándar igual a 0.6637. El diseño se muestra en la gráfica A.5.4.2

**Gráfica A.5.4.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 4.**



En este ejemplo el cálculo realizado por Econets es distinto ya que divide la red en tres partes:

1. Subred 1: formada por los nodos 3 y 4 y el conmutador 2, con enlaces de 3 a 2 y 4 a 2.
2. Subred 2: formada por los nodos 5 y 6 y el conmutador 1, con enlaces de 5 a 1 y 6 a 1.
3. “Backbone”: con los conmutadores 1 y 2.

Por lo tanto el cálculo del tiempo promedio de atraso en Comnet se realizó considerando lo anterior como:

$$[ (Ta1 * W1 \text{ de Subred1}) + (Ta2 * W2 \text{ de Subred2}) / Wt ] + Ta\text{“backbone”}.$$

Donde:

Tai = Tiempo de atraso en la subred i

Wi de Subred i = Tráfico en la subred i

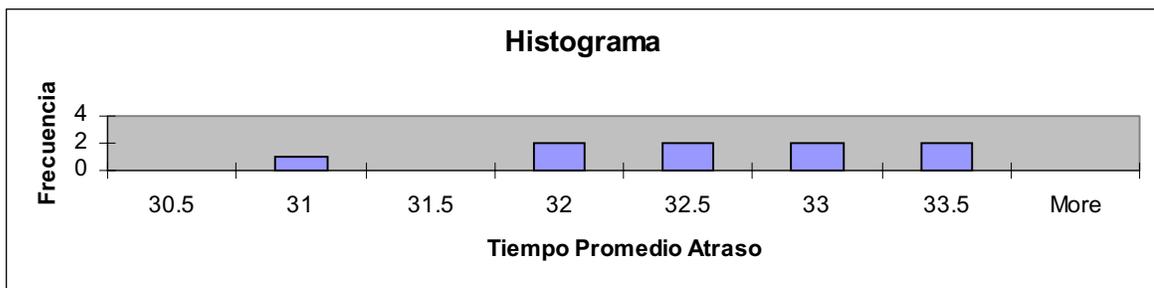
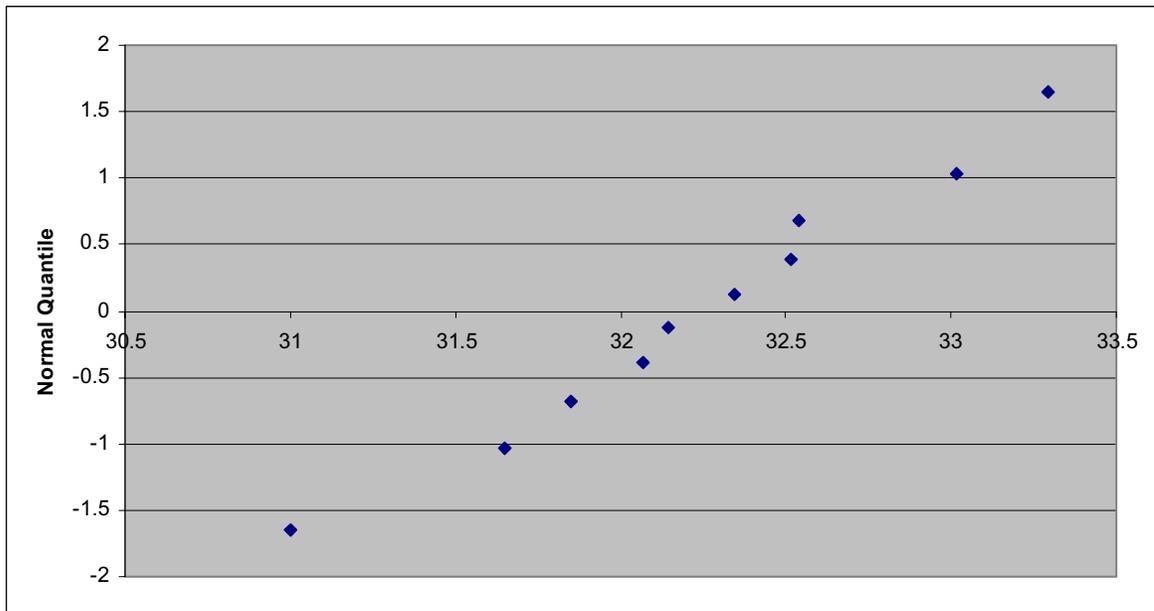
Wt = Tráfico total de la red.

En la tabla A.5.4.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 10 replicaciones y en la gráfica A.5.4.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores.

**Tabla A.5.4.3 Resultados de las 10 replicaciones en Comnet para experimento 4.**

No. Replicación	T <sup>-</sup> Comnet
1	32.1439
2	30.9999
3	33.2933
4	32.0664
5	32.3428
6	31.6495
7	33.0167
8	31.8512
9	32.5375
10	32.5142

**Gráfica A.5.4.3 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 4.**



### A.5.5 Experimento 5

Se realizó un diseño de 5 nodos. La capacidad de los enlaces fue de 19200 bps para la red de acceso y 56000 para el “backbone”. Los nodos 1 y 2 como conmutadores. En la tabla A.5.5.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.5.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de atraso de la red igual a 36.0ms. Se utilizó una topología de enlace directo. En la gráfica A.5.5.1 se muestra el diseño en Econets.

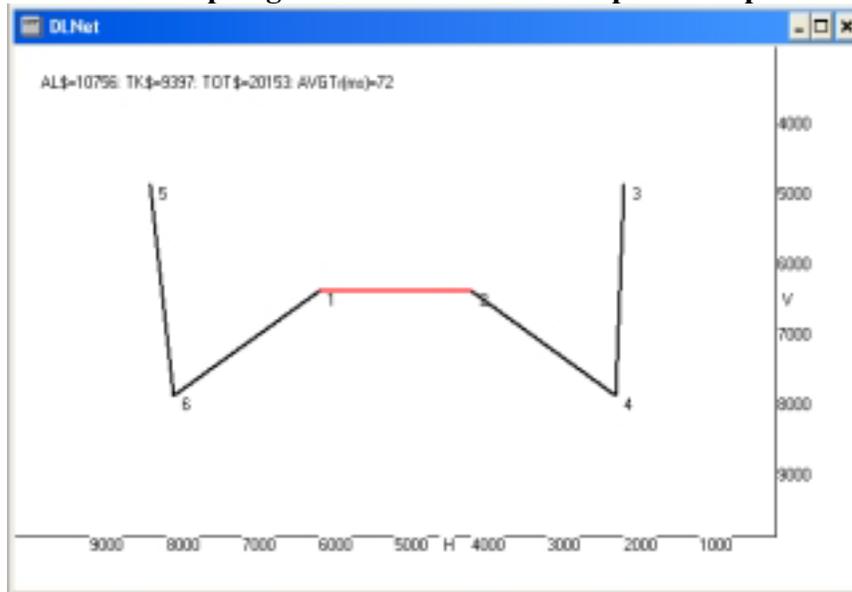
**Tabla A.5.5.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 5.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	53	Fftd =	1
UPR =	19200	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	2
HPR =	19200	Thm =	0	FIk =	0	TKLT =	3
IML =	53	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	53	BKL =	53	Fit =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.5.2 Matriz de tráfico entre los nodos para experimento 5.**

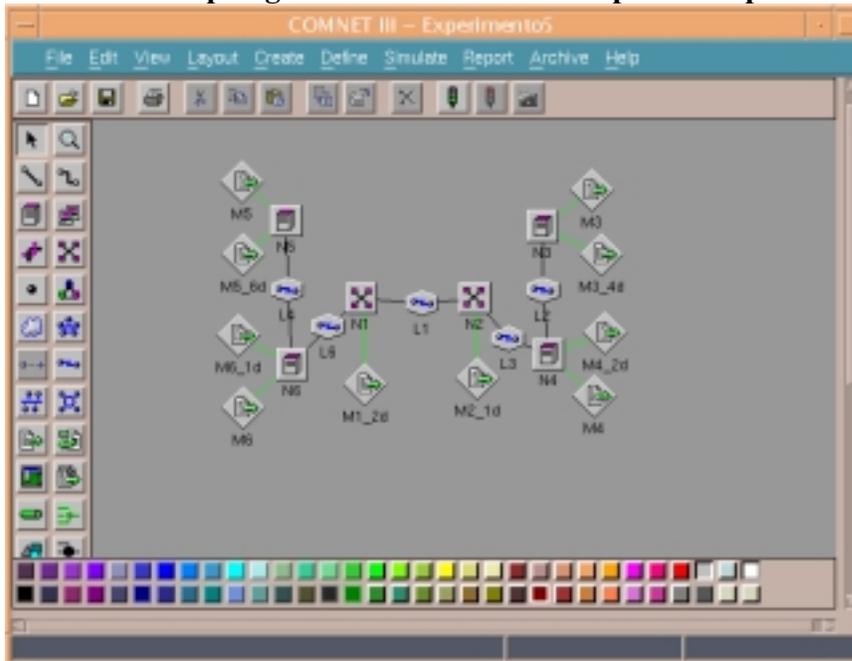
NODOS	N3	N4	N5	N6
N3		0	1200	2400
N4	0		1200	1200
N5	1200	1200		0
N6	2400	1200	0	

**Gráfica A.5.5.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 5.**



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 10 repeticiones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 34.0925 y una desviación estándar igual a 0.6468. El diseño se muestra en la gráfica A.5.5.2

**Gráfica A.5.5.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 5.**



En este ejemplo el cálculo realizado por Econets es distinto ya que divide la red en tres partes:

4. Subred 1: formada por los nodos 3 y 4 y el conmutador 2, con enlaces de 3 a 2 y 4 a 2.
5. Subred 2: formada por los nodos 5 y 6 y el conmutador 1, con enlaces de 5 a 1 y 6 a 1.
6. “Backbone”: con los conmutadores 1 y 2.

Por lo tanto el cálculo del tiempo promedio de atraso en Comnet se realizó considerando lo anterior como:

$$[ (Ta1 * W1 \text{ de Subred1}) + (Ta2 * W2 \text{ de Subred2}) / Wt ] + Ta\text{“backbone”}.$$

Donde:

Tai = Tiempo de atraso en la subred i

Wi de Subred i = Tráfico en la subred i

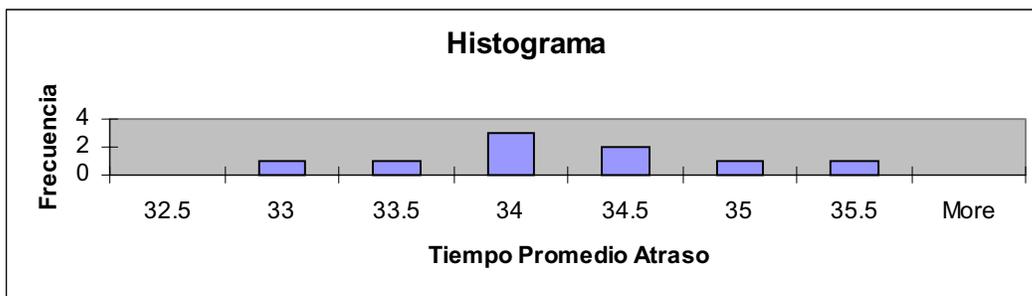
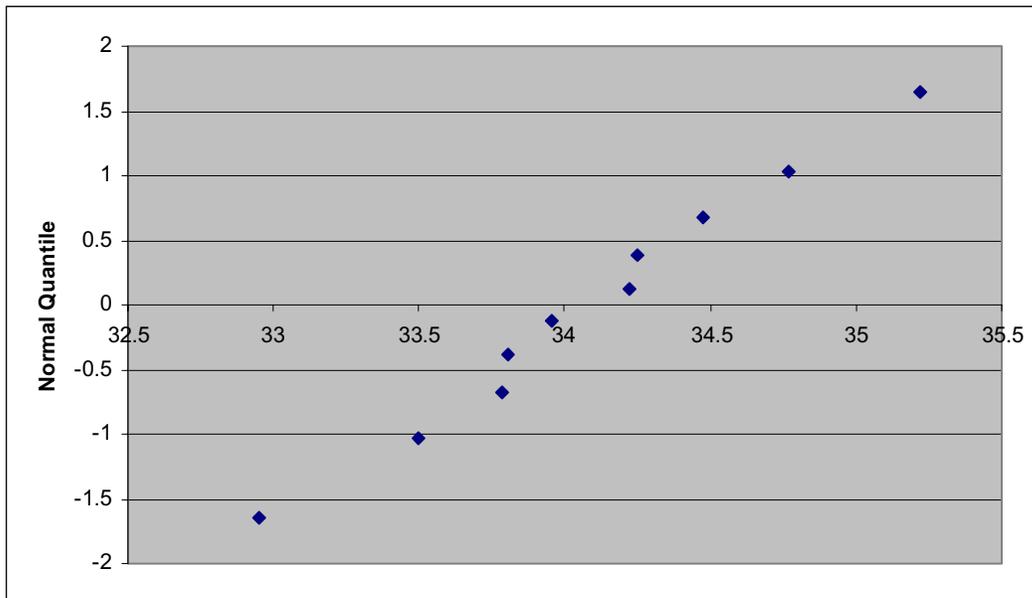
Wt = Tráfico total de la red.

En la tabla A.5.5.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 10 replicaciones y en la gráfica A.5.5.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores.

**Tabla A.5.5.3 Resultados de las 10 replicaciones en Comnet para experimento 5.**

No. Replicación	T <sup>-</sup> Comnet
1	34.4720
2	33.4986
3	35.2208
4	33.7855
5	33.8021
6	34.2479
7	34.7679
8	34.2238
9	32.9525
10	33.9538

**Gráfica A.5.5.3 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 5.**



### A.5.6 Experimento 6

Se realizó un diseño de 8 nodos. La capacidad de los enlaces fue de 19200 bps y se definió al nodo 1 como concentrador. En la tabla A.5.6.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.6.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de atraso de la red igual a 37.0 ms. Se utilizó una topología “Multidrop”. En la gráfica A.5.6.1 se muestra el diseño en Econets.

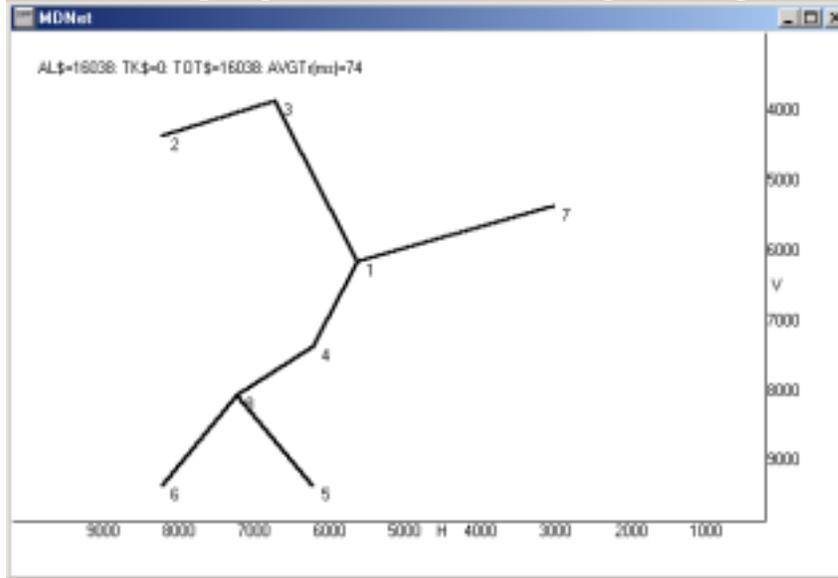
**Tabla A.5.6.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 6.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	53	Fftd =	1
UPR =	19200	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	2
HPR =	19200	Thm =	0	FIk =	0	TKLT =	2
IML =	53	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	53	BKL =	53	Fit =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.6.2 Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 6.**

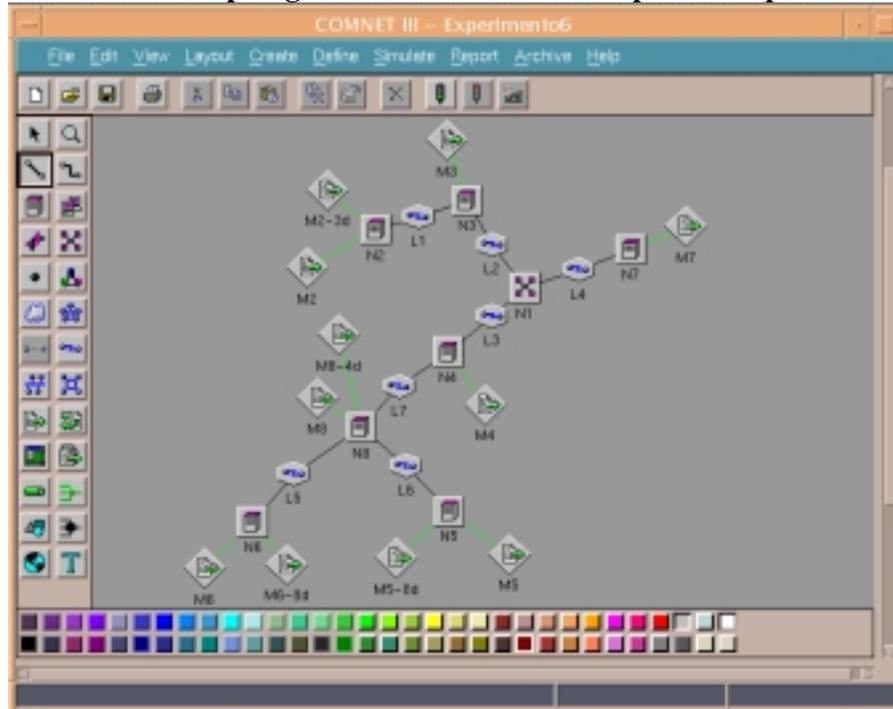
NODOS	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
N1		0	0	0	0	0	0	0
N2	9600		0	0	0	0	0	0
N3	4800	0		0	0	0	0	0
N4	2400	0	0		0	0	0	0
N5	4800	0	0	0		0	0	0
N6	2400	0	0	0	0		0	0
N7	4800	0	0	0	0	0		0
N8	2400	0	0	0	0	0	0	

**Gráfica A.5.6.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 6.**



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 20 replicaciones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 36.10ms y una desviación estándar igual a 1.8259. El diseño se muestra en la gráfica A.5.6.2

**Gráfica A.5.6.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 6.**

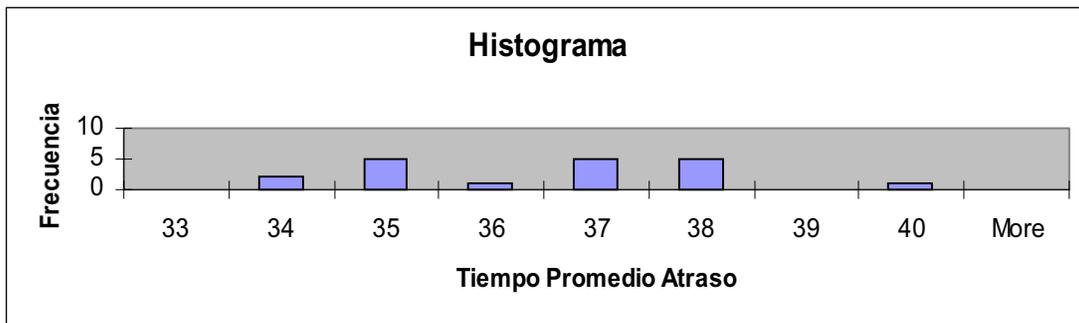
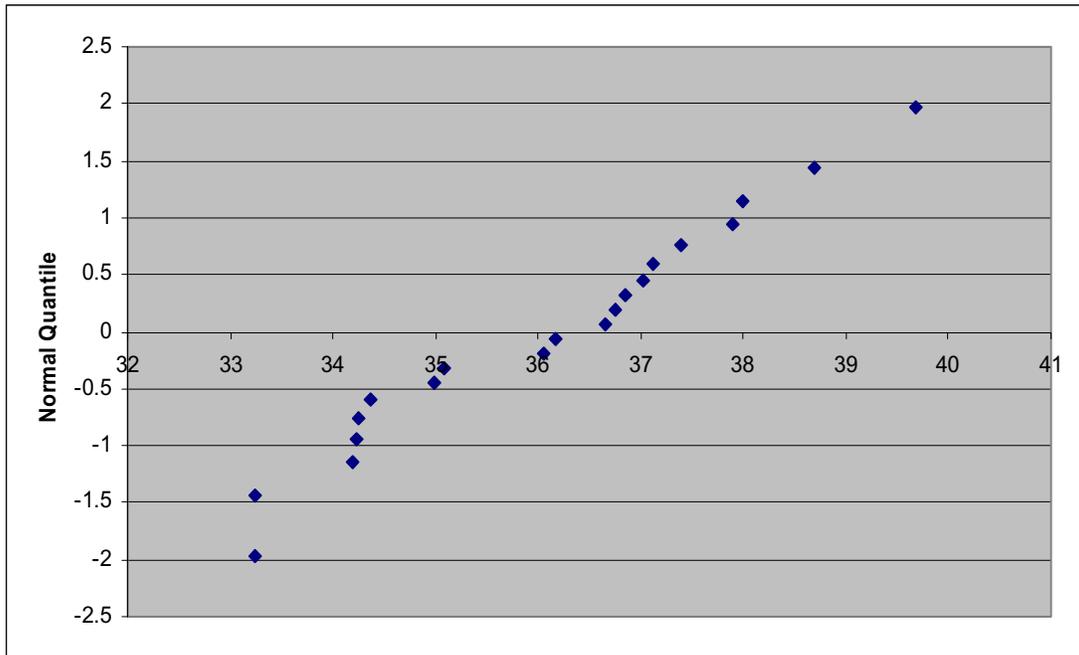


En la tabla A.5.6.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 20 repeticiones y en la gráfica A.5.6.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores.

**Tabla A.5.6.3 Resultados de las 20 repeticiones en Comnet para experimento 6.**

No. Replicación	$T^-$ Comnet
1	38.6900
2	37.9843
3	34.2479
4	36.0608
5	33.2408
6	34.1973
7	39.6851
8	35.0905
9	36.7616
10	37.1279
11	37.0305
12	36.6480
13	33.2454
14	37.3920
15	34.2328
16	37.9001
17	34.9851
18	36.8411
19	34.3721
20	36.1617

**Gráfica A.5.6.3 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 6.**



### A.5.7 Experimento 7

Se realizó un diseño de 8 nodos. La capacidad de los enlaces fue de 19200 bps y se definió al nodo 1 como concentrador. En la tabla A.5.7.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.7.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de atraso de la red igual a 29.78 ms. Se utilizó una topología estrella. En la gráfica A.5.7.1 se muestra el diseño en Econets.

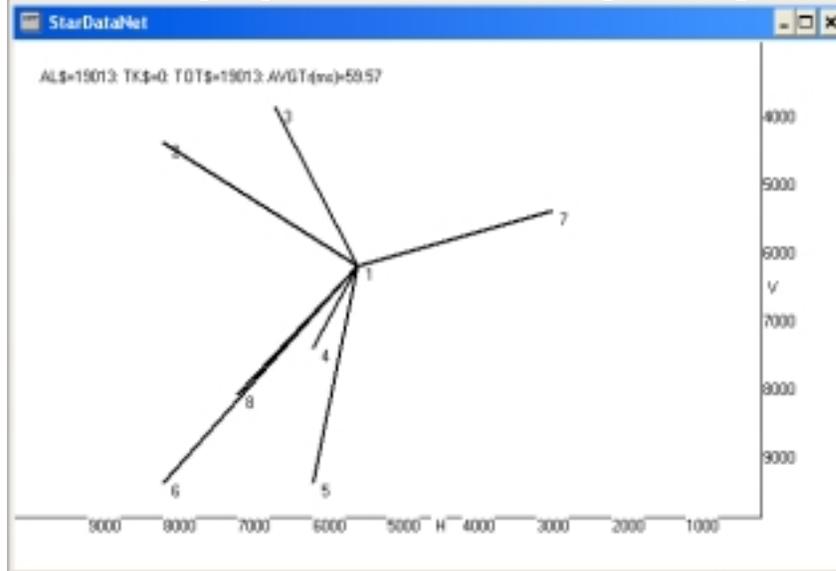
**Tabla A.5.7.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 7.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	53	Fftd =	1
UPR =	19200	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	2
HPR =	19200	Thm =	0	Flk =	0	TKLT =	2
IML =	53	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	53	BKL =	53	Flt =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.7.2 Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 7.**

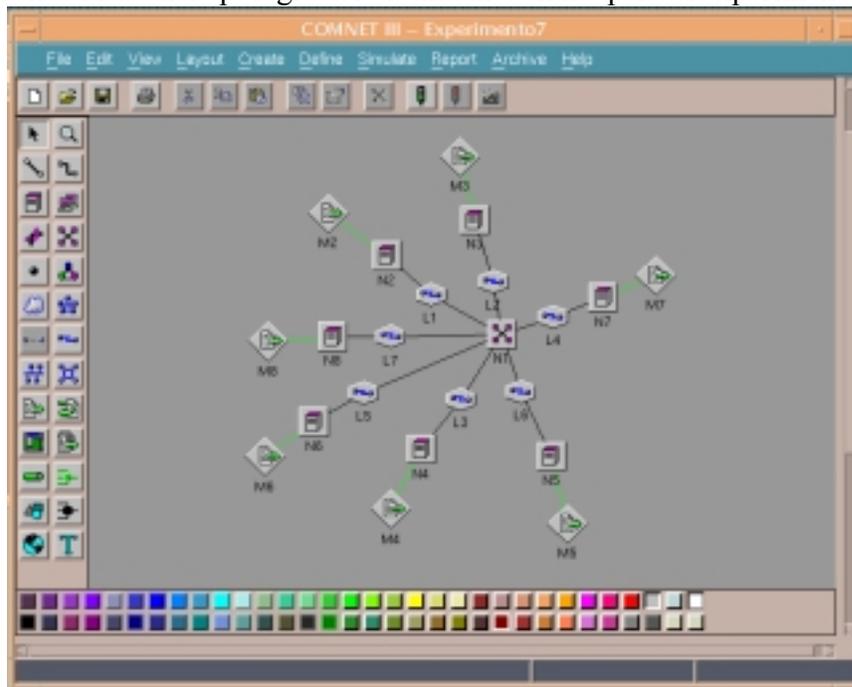
NODOS	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8
N1		0	0	0	0	0	0	0
N2	9600		0	0	0	0	0	0
N3	4800	0		0	0	0	0	0
N4	2400	0	0		0	0	0	0
N5	4800	0	0	0		0	0	0
N6	2400	0	0	0	0		0	0
N7	4800	0	0	0	0	0		0
N8	2400	0	0	0	0	0	0	

Gráfica A.5.7.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 7.



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 20 repeticiones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 27.4079 y una desviación estándar igual a 0.2436. El diseño se muestra en la gráfica A.5.7.2

Gráfica A.5.7.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 7.

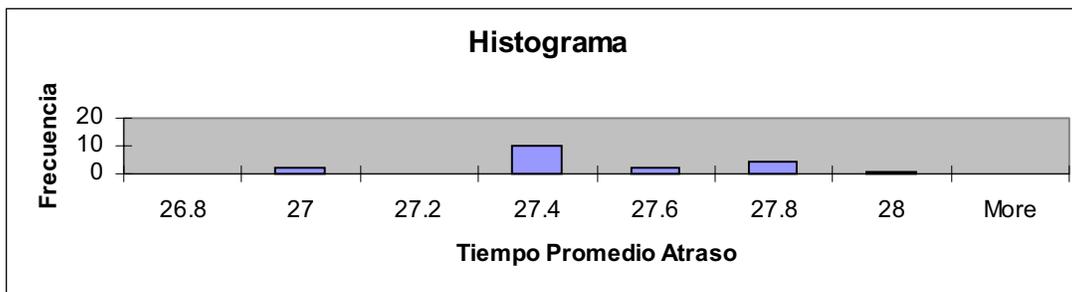
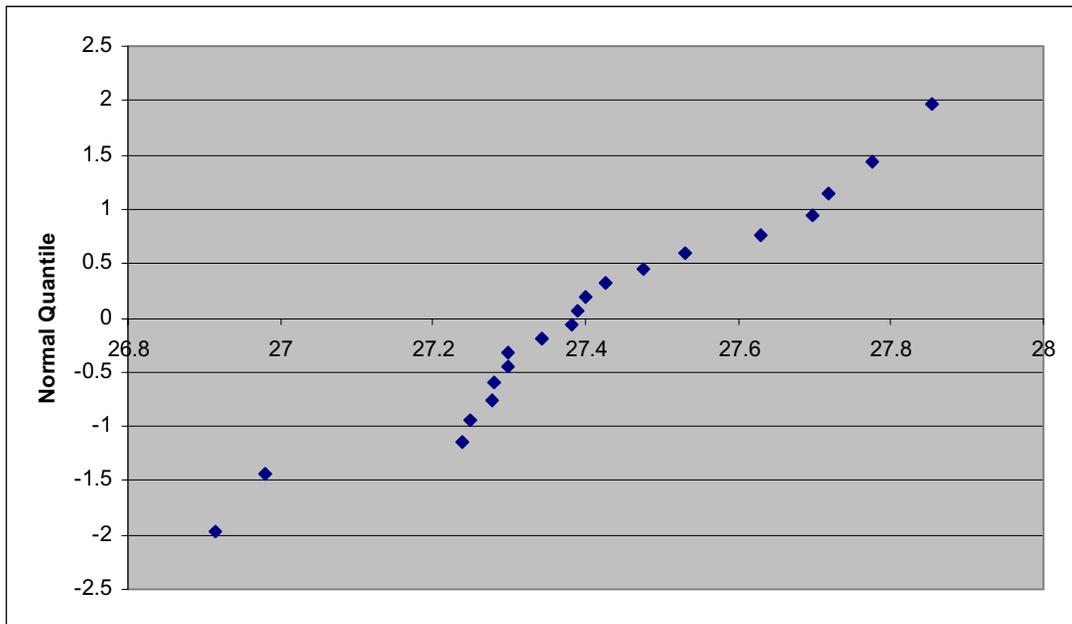


En la tabla A.5.7.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 20 repeticiones y en la gráfica A.5.7.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores.

**Tabla A.5.7.3 Resultados de las 20 repeticiones en Comnet para experimento 7.**

No. Replicación	$T^-$ Comnet
1	27.4253
2	27.7173
3	27.2783
4	27.2992
5	27.2993
6	27.7767
7	27.8541
8	27.6985
9	27.5299
10	27.3996
11	27.2799
12	27.6300
13	27.2380
14	27.4760
15	27.3817
16	27.3431
17	26.9145
18	27.3888
19	27.2486
20	26.9798

**Gráfica A.5.7.3 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 7.**



### A.5.8 Experimento 8

Se realizó un diseño de 9 nodos. La capacidad de los enlaces fue de 19200 bps para la red de acceso y 56000 para el “backbone”. Los nodos 1,2 y 3 como conmutadores. En la tabla A.5.8.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.8.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Los nodos 1,2 3 no generan si reciben tráfico del resto de los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de atraso de la red igual a 14.50ms. Se utilizó una topología de enlace directo. En la gráfica A.5.8.1 se muestra el diseño en Econets.

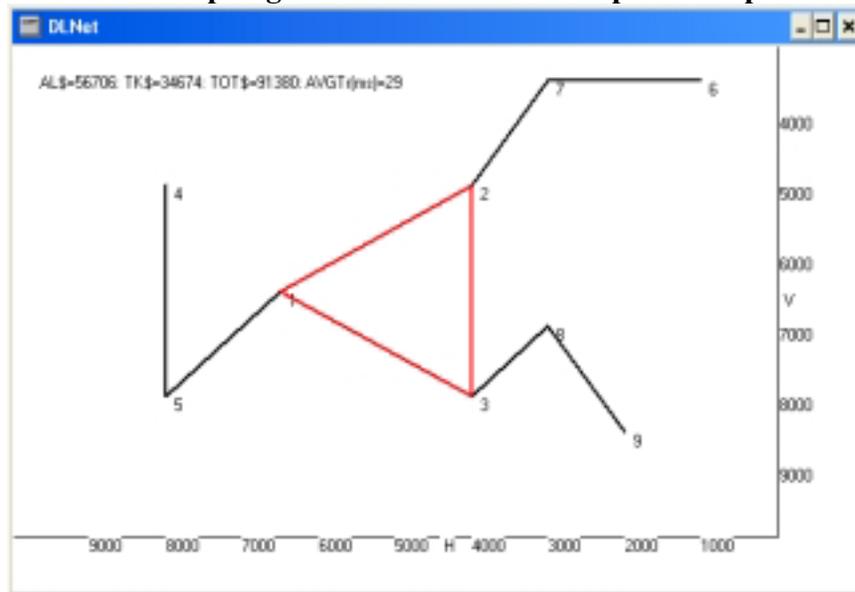
**Tabla A.5.8.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 8.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	53	Fftd =	1
UPR =	19200	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	2
HPR =	19200	Thm =	0	Fik =	0	TKLT =	3
IML =	53	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	53	BKL =	53	Flt =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.8.2 Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 8.**

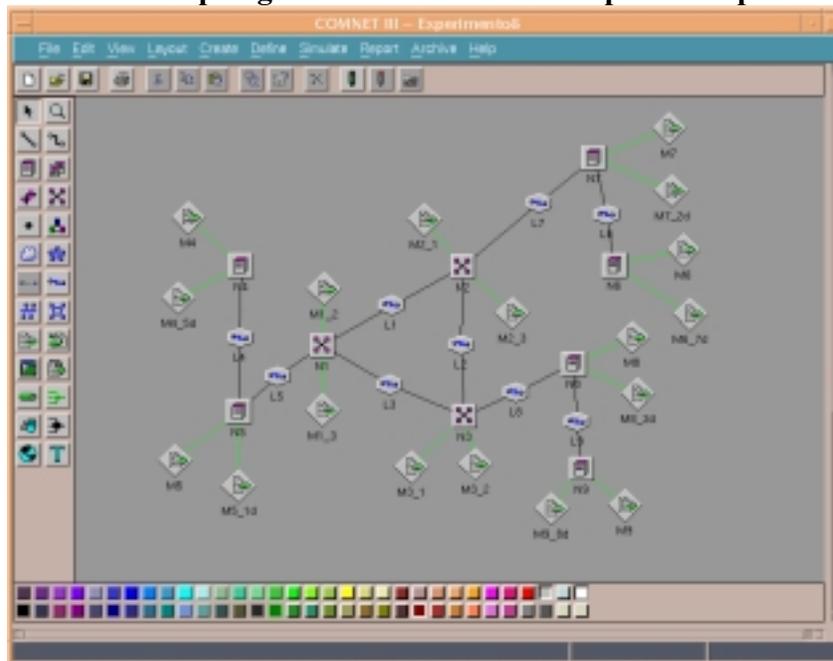
NODOS	N4	N5	N6	N7	N8	N9
N4		1200	1200	1200	1200	1200
N5	1200		1200	1200	1200	1200
N6	1200	1200		1200	1200	1200
N7	1200	1200	1200		1200	1200
N8	1200	1200	1200	1200		1200
N9	1200	1200	1200	1200	1200	

**Gráfica A.5.8.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 8.**



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 10 repeticiones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 16.5613ms y una desviación estándar igual a 0.2119 El diseño se muestra en la gráfica A.5.8.2

**Gráfica A.5.8.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 8.**



En este ejemplo el cálculo realizado por Econets es distinto ya que divide la red en cuatro partes:

7. Subred 1: formada por los nodos 4 y 5 y el conmutador 1, con enlaces de 4 a 1 y 5 a 1.
8. Subred 2: formada por los nodos 6 y 7 y el conmutador 2, con enlaces de 6 a 2 y 7 a 2.
9. Subred 3: formada por los nodos 8 y 9 y el conmutador 3, con enlaces de 8 a 3 y 9 a 3.
10. "Backbone": con los conmutadores 1,2 y 3.

Por lo tanto el cálculo del tiempo promedio de atraso en Comnet se realizó considerando lo anterior como:

$$[ (Ta1 * W1 \text{ de Subred1}) + (Ta2 * W2 \text{ de Subred2}) + (Ta3 * W3 \text{ de Subred3}) / Wt ] + Ta^{\text{"backbone"}}$$

Donde:

Tai = Tiempo de atraso en la subred i

Wi de Subred i = Tráfico en la subred i

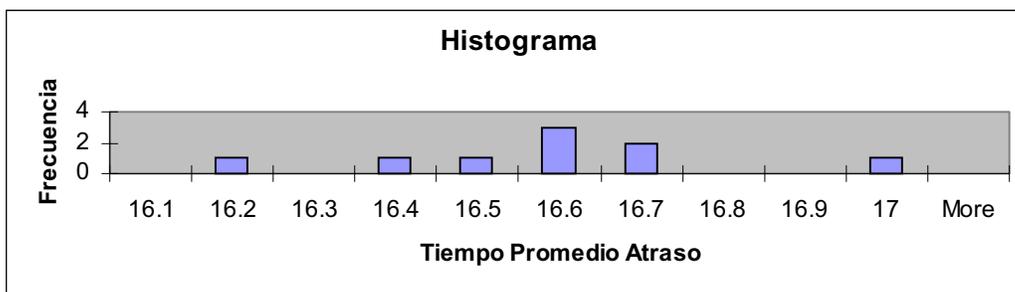
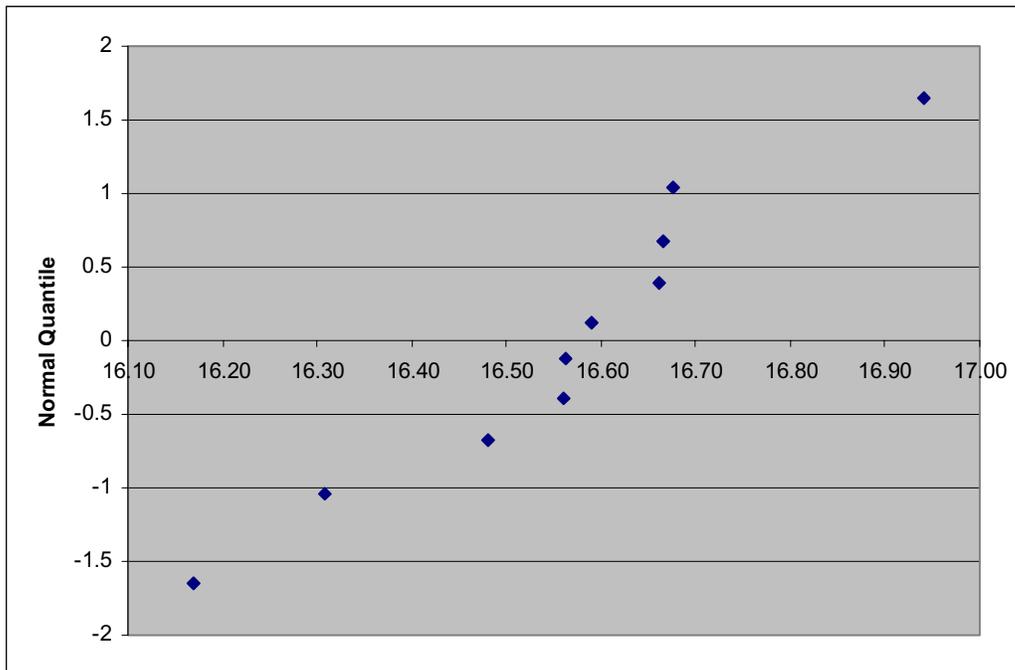
Wt = Tráfico total de la red.

En la tabla A.5.8.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 10 replicaciones y en la gráfica A.5.8.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores.

**Tabla A.5.8.3 Resultados de las 10 replicaciones en Comnet para experimento 8.**

No. Replicación	T <sup>-</sup> Comnet
1	16.6610
2	16.1685
3	16.5899
4	16.6657
5	16.3086
6	16.5601
7	16.6756
8	16.4800
9	16.5622
10	16.9415

**Gráfica A.5.8.3 Histograma y gráfica “Normal Quantile” de los resultados de la simulación en Comnet para el experimento 8.**



### A.5.9 Experimento 9

Se realizó un diseño de 9 nodos. La capacidad de los enlaces fue de 19200 bps para la red de acceso y 56000 para el “backbone”. Los nodos 1,2 y 3 como conmutadores. En la tabla A.5.9.1 se muestran los principales parámetros de diseño usados en Econets para este experimento. En la tabla A.5.9.2 se muestra la matriz de tráfico entre los nodos. Los nodos 1,2 y 3 no generan si reciben tráfico del resto de los nodos. Al introducir este diseño al paquete Econets arrojó un tiempo promedio de atraso de la red igual a 35.00ms. Se utilizó una topología estrella. En la gráfica A.5.9.1 se muestra el diseño en Econets.

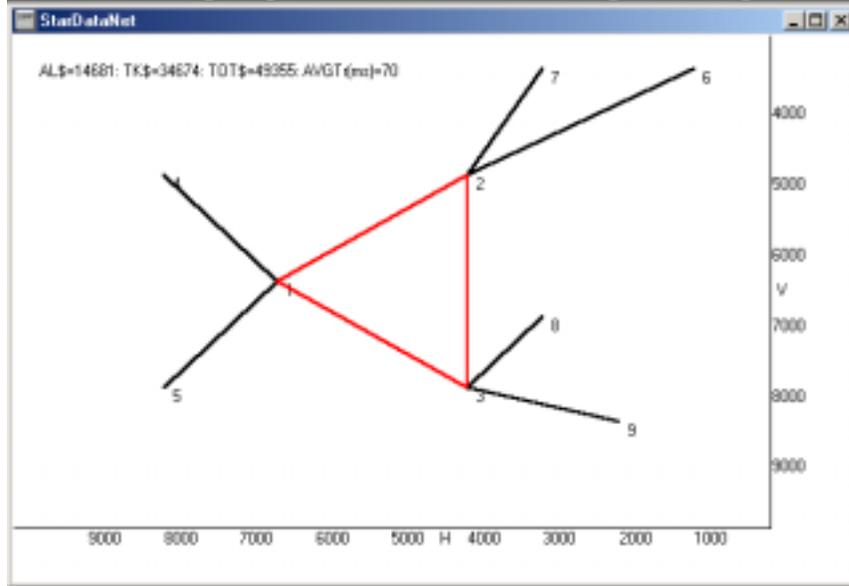
**Tabla A.5.9.1 Principales parámetros de diseño de Econets para el experimento 9.**

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
ATP =	1	HTT =	0	ICPB =	53	Fftd =	1
UPR =	19200	Tnp =	0	TGF =	1	ALT =	2
HPR =	19200	Thm =	0	Fik =	0	TKLT =	3
IML =	53	Kpg =	0	Fnn =	0	MTKU =	1
RML =	53	BKL =	53	Flt =	0	BBTF =	1

**Tabla A.5.9.2 Matriz de tráfico entre los nodos para el experimento 9.**

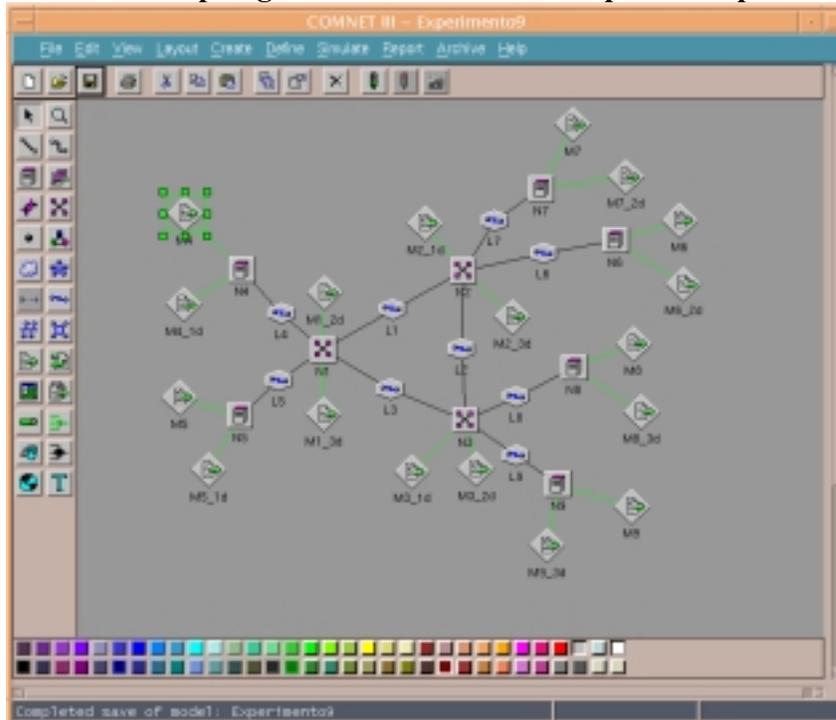
NODOS	N4	N5	N6	N7	N8	N9
N4		1200	1200	1200	1200	1200
N5	1200		1200	1200	1200	1200
N6	1200	1200		1200	1200	1200
N7	1200	1200	1200		1200	1200
N8	1200	1200	1200	1200		1200
N9	1200	1200	1200	1200	1200	

**Gráfica A.5.9.1 Topología del diseño en Econets para el experimento 9.**



Posteriormente se utilizó la información obtenida de Econets y se realizaron 10 repeticiones de una simulación de 3600 segundos en Comnet. Utilizando los resultados de Comnet se obtuvo un tiempo promedio de atraso de la red igual a 34.7592ms y una desviación estándar igual a 0.8006. El diseño se muestra en la gráfica A.5.9.2

**Gráfica A.5.9.2 Topología del diseño en Comnet para el experimento 9.**



En este ejemplo el cálculo realizado por Econets es distinto ya que divide la red en cuatro partes:

11. Subred 1: formada por los nodos 4 y 5 y el conmutador 1, con enlaces de 4 a 1 y 5 a 1.
12. Subred 2: formada por los nodos 6 y 7 y el conmutador 2, con enlaces de 6 a 2 y 7 a 2.
13. Subred 3: formada por los nodos 8 y 9 y el conmutador 3, con enlaces de 8 a 3 y 9 a 3.
14. "Backbone": con los conmutadores 1,2 y 3.

Por lo tanto el cálculo del tiempo promedio de atraso en Comnet se realizó considerando lo anterior como:

$$[ (Ta1 * W1 \text{ de Subred1}) + (Ta2 * W2 \text{ de Subred2}) + (Ta3 * W3 \text{ de Subred3}) / Wt ] + Ta^{\text{"backbone"}}$$

Donde:

Tai = Tiempo de atraso en la subred i

Wi de Subred i = Tráfico en la subred i

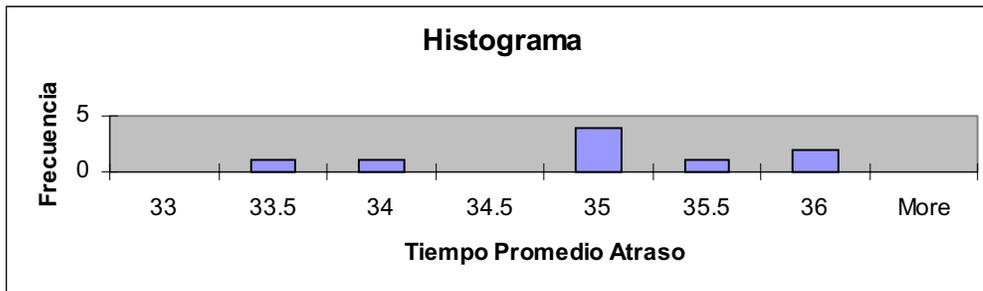
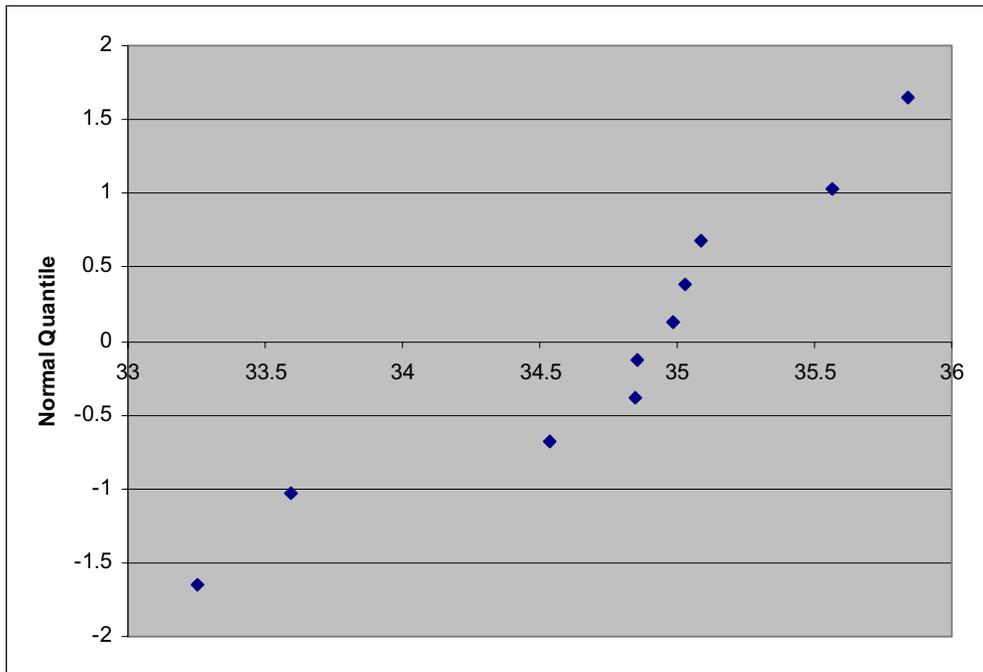
Wt = Tráfico total de la red.

En la tabla A.5.9.3 se muestra los resultados del tiempo promedio para las 10 repeticiones y en la gráfica A.5.9.3 se muestra el histograma de frecuencias para estos valores

**Tabla A.5.9.3 Resultados de las 10 repeticiones en Comnet para experimento 9.**

No. Replicación	T <sup>-</sup> Comnet
1	35.0845
2	34.8473
3	33.2500
4	35.8430
5	35.0310
6	34.9867
7	34.5363
8	35.5672
9	33.5907
10	34.8552

**Gráfica A.5.9.3 Histograma de los resultados en Comnet para el experimento 9.**

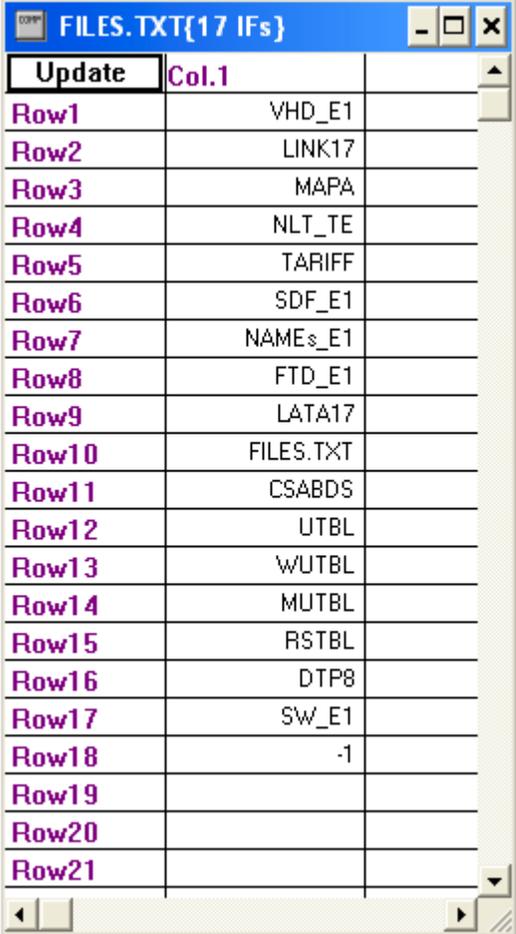


## Anexo 6

### Tablas de diseño de Econets.

En este anexo se muestran las principales tablas de configuración usadas en los diseños usando el paquete Econets. Las tablas indispensables para la creación de un diseño son: “Files.txt”, “VHD\_Ex”, “SDF\_Ex”, “NAMES\_Ex”, “SW\_Ex”, “FTD\_Ex”, “NLT\_TE”. Enseguida se muestran de la gráfica A.6.1 hasta la gráfica A.6.7 todas las tablas con los valores del experimento 1. Los nombres de las tablas que contienen una “x”, esta fue substituida por el número de experimento.

**Tabla A.6.1 Datos de la tabla “Files.txt”, con los datos de las principales tablas.**



Update	Col.1
Row1	VHD_E1
Row2	LINK17
Row3	MAPA
Row4	NLT_TE
Row5	TARIFF
Row6	SDF_E1
Row7	NAMES_E1
Row8	FTD_E1
Row9	LATA17
Row10	FILES.TXT
Row11	CSABDS
Row12	UTBL
Row13	WUTBL
Row14	MUTBL
Row15	RSTBL
Row16	DTP8
Row17	SW_E1
Row18	-1
Row19	
Row20	
Row21	

Tabla A.6.2 Datos de la tabla “VHD\_E1”, con coordenadas y tráfico en el nodo.

Update	Col.1	Col.2	Col.3	Col.4
Row1	1	6500	9000	2400
Row2	2	6500	7000	0
Row3	3	6500	5000	0
Row4	4	6500	3000	0
Row5	5	6500	1000	0
Row6	-1			
Row7				
Row8				
Row9				

Tabla A.6.3 Datos de la tabla “FTD\_E1”, con el tráfico entre nodos

Update	Col.1	Col.2	Col.3
Row1	1	5	2400
Row2	-1		
Row3			
Row4			

Tabla A.6.4 Datos de la tabla “NAMES\_E1”, con los nombres de los nodos.

Update	Col.1
Row1	N1
Row2	N2
Row3	N3
Row4	N4
Row5	N5
Row6	-END
Row7	
Row8	

Tabla A.6.5 Datos de la tabla “NLT\_TE”, con los distintos tipos de enlaces.

Update	Col.1	Col.2	Col.3	Col.4
Row1	1	9600	9600	1
Row2	2	19200	19200	3
Row3	3	56000	56000	8
Row4	4	1544000	1440000	24
Row5	5	45000000	40000000	672
Row6	-1			
Row7				
Row8				
Row9				

Tabla A.6.6 Datos de la tabla “SW\_E1”, con un solo concentrador.

Update	Col.1
Row1	1
Row2	5
Row3	-1
Row4	
Row5	

Tabla A.6.7 Datos de la tabla “SDF\_E1”, con los principales parámetros del diseño en Econets.

Update	Col.1	Col.2
Row1	1	ATP/D
Row2	19200	UPR/D
Row3	19200	HPR/D
Row4	8	IML/D
Row5	64	RML/D
Row6	4	Ncu/D
Row7	100	Rmph/D
Row8	0	HTT/D
Row9	0	Fapt/D
Row10	0	Trp/D
Row11	0	Thm/D
Row12	0	Kpg/D
Row13	64	BKL/D
Row14	56	ICPB/D
Row15	1	TGF/C
Row16	0	FK/C
Row17	0	Fnn/C
Row18	0	FK/C
Row19	1	Ftd/C
Row20	NA	NA
Row21	2	ALT/V/D
Row22	NA	NA
Row23	.1	Bal/V/A
Row24	13.33	ECC/V
Row25	300	ECD/V/A
Row26	60	DREQ/A
Row27	.15	PEX/D/A
Row28	23	Cbr/A
Row29	1	Frt/A
Row30	2	ACDT/A
Row31	2	TKLT/A/V/D
Row32	NA	NA
Row33	.1	Bk/V
Row34	1	Ftdx/A/D
Row35	1	MTKU/A/D
Row36	1	BBTF/C
Row37	3000	Vmin/C
Row38	10000	Vmax/C
Row39	0	Hmin/C
Row40	10000	Hmax/C
Row41	0	Fvc0/C
Row42	0	Fvc1/C
Row43	0	Fvc2/C

## Tutorial Econets.

En el presente tutorial se trata de mostrar las principales características de Econets, se utilizará un ejemplo en el cual se podrá observar la manera en que un diseño es creado.

1. Para iniciar es necesario modificar el archivo de “Files.txt” el cual contiene todos los archivos involucrados en el diseño de la red. Los renglones que deben ser modificados son: 1, 6, 7, 17 con los valores mostrados en la Tabla A.7.1. Para modificar cada renglón, se presiona el botón izquierdo del ratón en el renglón deseado, se modifica el contenido y se presiona la tecla ENTER. Para grabar los cambios, presionar el botón de “Update”, localizado en la parte superior izquierda de la ventana que se está modificando. Después de lo anterior la ventana desaparece y regresa el control a la pantalla principal.

**Tabla A.7.1. Tabla con la información del archivo “FILES.TXT”.**

Update	Col.1
Row1	VHD_T1
Row2	LINK17
Row3	MapUSA
Row4	NLT
Row5	TARIFF
Row6	SDF_T1
Row7	NAMES_T1
Row8	FTF0
Row9	LATA17
Row10	FILES.TXT
Row11	CSABDS
Row12	UTBL
Row13	WUTBL
Row14	MUTBL
Row15	RSTBL
Row16	DTP8
Row17	SWF2_T1
Row18	-1
Row19	

2. Como el archivo “SDF\_T1” contiene 60 parámetros es muy tedioso introducir todos los valores. Se utilizará una vía alternativa para su creación copiando un archivo existente llamado “SDF” con el nombre de “SDF\_T1”. Para lo anterior se puede utilizar el administrador de archivos de Windows o seleccionando la opción de “ViewUpdateInputFile” del menú “File” y posteriormente utilizar la opción de “Save As” para grabar el archivo con el nombre de “SDF\_T1”. Hecho lo anterior modificar los Renglonés del 37 al 40 con los valores de la Figura 2. El parámetro 38 se cambia a 0 para indicar que no se leerá el archivo de LATA. El significado del resto de los parámetros puede ser consultado en la Tabla A.7.2

**Tabla A.7.2. Tabla con la información del archivo “SDF\_T1”**

Update	Col.1	Col.2
Row1	3	ATP/D
Row2	9600	UPR/D
Row3	9600	HPR/D
Row4	28	IML/D
Row5	300	RML/D
Row6	4	New/D
Row7	100	Rnph/D
Row8	1E-03	HTT/D
Row9	0	Fopt/D
Row10	10	Trpv/D
Row11	4	Thrv/D
Row12	.01	Kpp/D
Row13	64	BKL/D
Row14	56	ICPB/D
Row15	1	TGF/C
Row16	0	Flk/C
Row17	0	Frv/C
Row18	0	Fl/C
Row19	0	Ftd/C
Row20	NA	NA
Row21	1	ALT/V/D
Row22	NA	NA
Row23	.1	Bst/V/A
Row24	13.33	ECC/V
Row25	300	ECD/V/A
Row26	60	DREQ/A
Row27	.15	PE/D/A
Row28	23	Obt/A
Row29	1	Fst/A
Row30	2	ACDT/A
Row31	1	TKLT/A/V/D
Row32	NA	NA
Row33	.1	Bk/V
Row34	1	Ftd/V/D
Row35	0.1	MTKL/A/D
Row36	2	BBTF/C
Row37	3000	Vniv/C
Row38	10000	Vnsv/C
Row39	0	Hniv/C
Row40	10000	Hnsv/C
Row41	0	Fvc0/C
Row42	0	Fvc1/C

3. Enseguida se definirán los nodos que formarán parte del diseño de nuestra red, una vez realizado lo anterior se podrán visualizar los puntos en la pantalla de ECONETS. Para este paso es necesario crear un archivo nuevo. Para la creación del archivo se utiliza la opción de “CreateInputFile” del menú “File”. El cuadro de dialogo que aparece pregunta por el número de columnas y renglones que debe contener el archivo, especificar 4 columnas y 11 renglones. Para empezar a editar, utilizar el ratón y presionar el botón en la primera celda. Introducir el valor requerido y pulsar “ENTER”. Utilizar la tecla → para cambiar de columna y volver a capturar. Repetir la operación para terminar el primer renglón. Una vez capturada la ultima columna, presionar la tecla ↓ para cambiar al siguiente renglón. Llenar los valores de las celdas con la información que se muestra en la Tabla A.7.2. El número -1 en el renglón 11 indica final de archivo y deberá ser capturado.

**Tabla A.7.3. Tabla con la información del archivo “VHD\_T1”.**

Update	Col.1	Col.2	Col.3	Col.4
Row1	1	5003	2744	9600
Row2	2	5235	2854	4800
Row3	3	5807	5115	4800
Row4	4	7954	2564	9600
Row5	5	5110	2027	9600
Row6	6	6536	2863	9600
Row7	7	5289	3416	9600
Row8	8	8077	4089	9600
Row9	9	6781	2127	33600
Row10	10	7787	2216	33600
Row11	-1			

- El siguiente paso es nombrar a los nodos, para llevar a cabo esta tarea es necesario crear un archivo nuevo con 1 Columna y 11 Renglones.

Para capturar los datos usar la metodología usada en el punto 3 para la creación de un archivo nuevo, usar los datos de la Tabla A.7.4 para llenar los datos.

La longitud de los nombres puede ser de hasta 10 caracteres. Este es el nombre que saldrá impreso en algunos de los reportes de Econets. La palabra -END que se introduce en el último renglón es para indicar el fin de archivo al programa de ECONETS.

**Tabla A.7.4. Pantalla con la información del archivo “NAMES\_T1”.**

Update	Col.1
Row1	Nodo1
Row2	Nodo2
Row3	Nodo3
Row4	Nodo4
Row5	Nodo5
Row6	Nodo6
Row7	Nodo7
Row8	Nodo8
Row9	Nodo9
Row10	Nodo10
Row11	-END
Row12	

- Posteriormente es necesario crear un archivo que especifica los nodos que van a funcionar como “Switches”. Para lo anterior es necesario crear un nuevo archivo con 1 columna y cuatro renglones. Los nodos que funcionarán como “switches” son el 6 y 9. El primer renglón especifica el número de “switches”. En la Tabla A7.5. se muestra imagen con la definición del archivo.

**Tabla A.7.5. Pantalla con la información del archivo “SWT\_T1”.**

Update	Col.1
Row1	2
Row2	6
Row3	9
Row4	-1
Row5	
Row6	

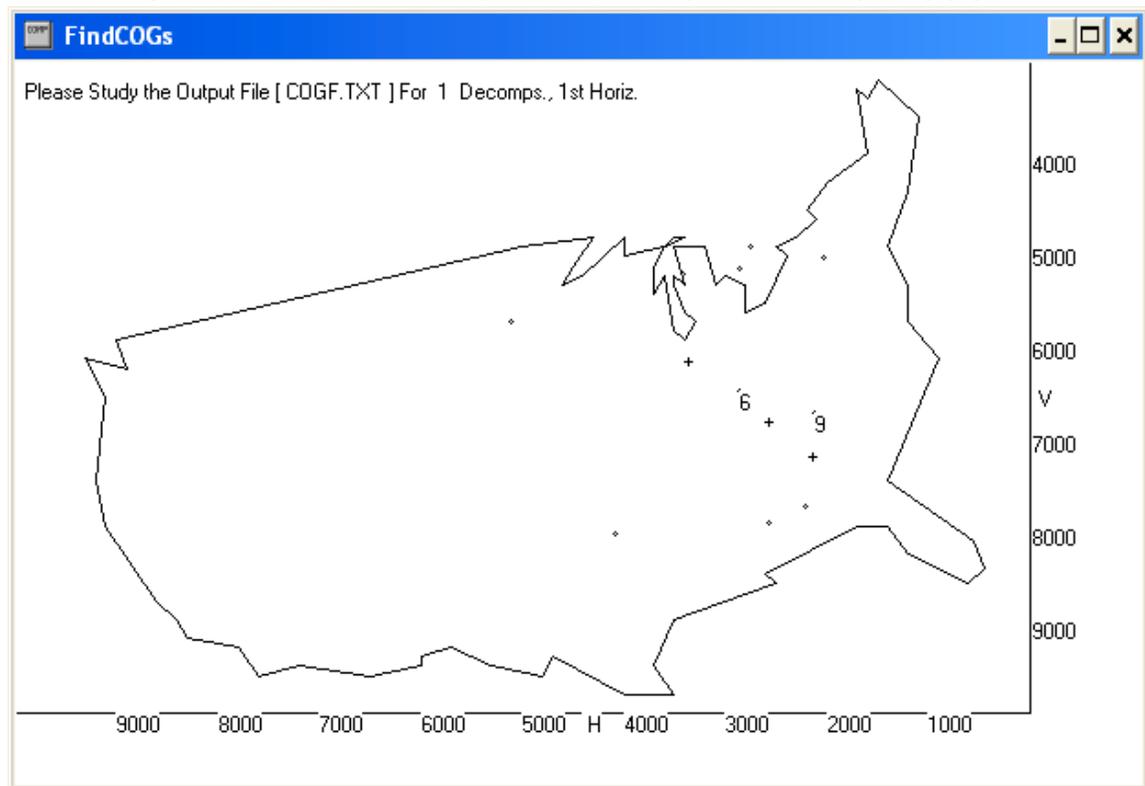
6. Una vez realizados los cinco primeros pasos se pueden aplicar algoritmos al diseño. La primera opción es obtener la localización de los concentradores. Para hacer esto, se utilizará el algoritmo de “COG-Center of Gravity” de Sharma. El resultado gráfico se puede observar en la Gráfica A.7.1

Este algoritmo calcula, en base a la localización geográfica y a la carga de los nodos, el punto más conveniente para localizar un concentrador. La fórmula que utiliza para encontrar el punto es la siguiente:

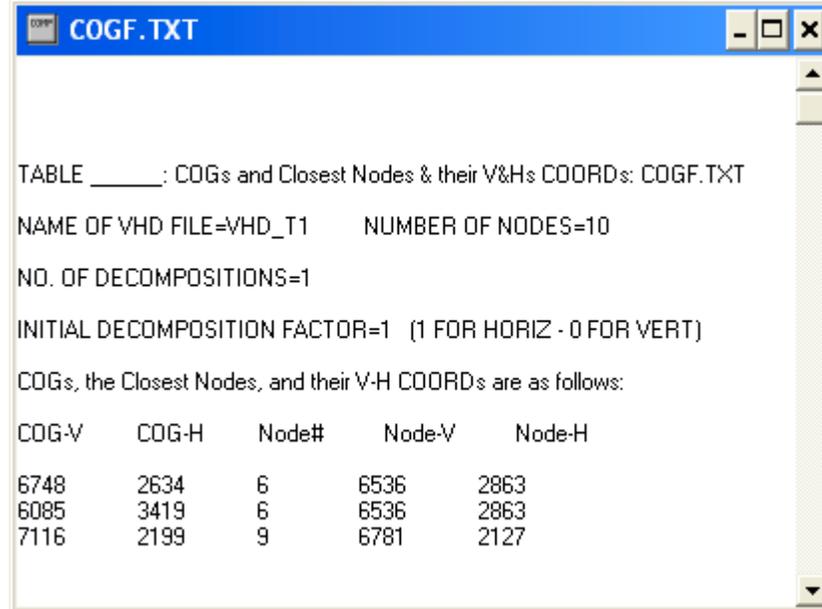
$$X = \frac{\sum X_i * W_i}{\sum W_i} \qquad Y = \frac{\sum Y_i * W_i}{\sum W_i}$$

Se utilizará la opción de “Find COGs” del menú “Networking”. Los resultados numéricos del algoritmo COG los podemos visualizar en el archivo “COGF.TXT”. Este archivo se muestra en la Gráfica A.7.2

**Gráfica A.7.1. Pantalla con la información del cálculo de COGs**



**Gráfica A.7.2. Pantalla con la información del archivo “COGF.TXT”.**



7. A partir de este momento se pueden utilizar los algoritmos del menú “Networking”. Seleccionar la opción de “StartDataNet. El resultado de este análisis se muestra en la Gráfica A.7.3. En la parte superior se observan los costos mensuales de los enlaces, así como el tiempo promedio de retraso en el sistema, dado en milisegundos.

AL\$ es el costo mensual de las líneas de acceso de los nodos a los concentradores.

TK\$ es el costo mensual de la líneas entre concentradores.

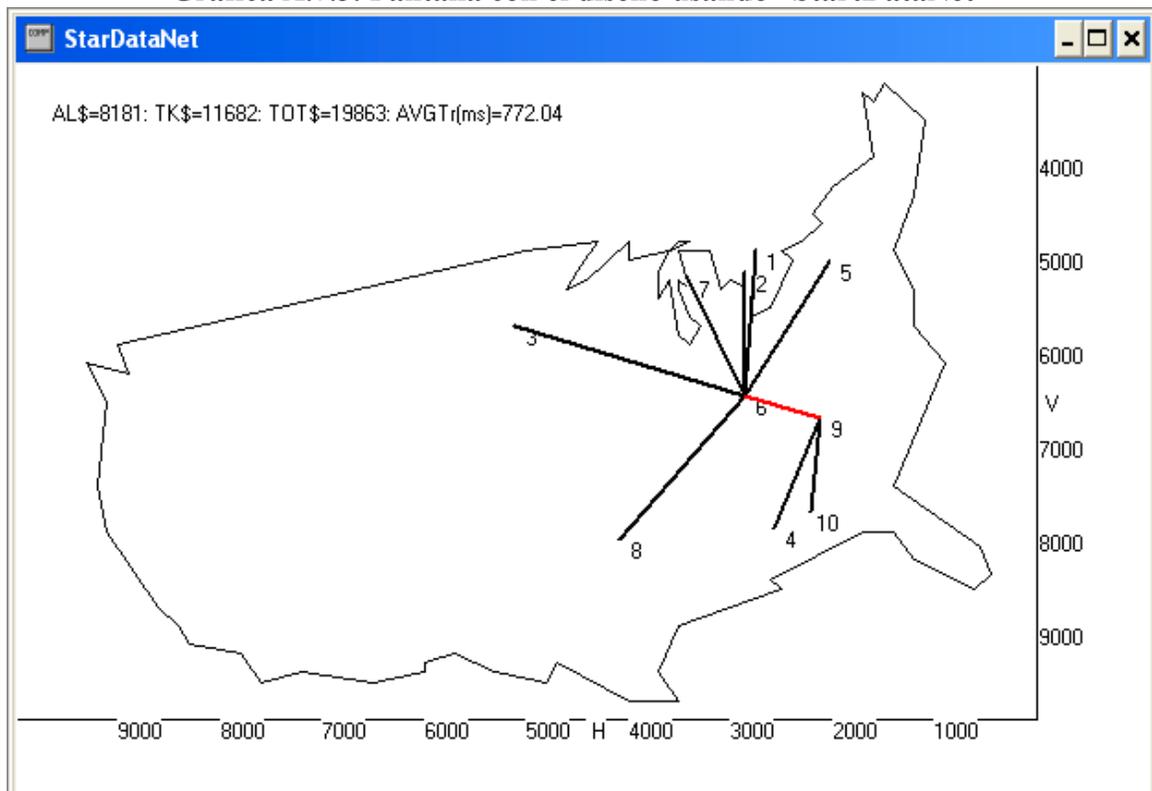
TOT\$ es el costo mensual total de las líneas del sistema.

AVGTr(ms) es el tiempo promedio de atraso de todo el sistema.

Econets produce un archivo adicional en donde se puede observar a detalle los resultados del análisis, utilizar la opción “View Output File” del menú “File” para verlos.

Este archivo es “ALFSD1.TXT” que contiene los costos de las líneas de acceso entre nodos y el resumen de los costos totales del sistema. Su contenido se muestra en la Gráfica A.7.4.

**Gráfica A.7.3. Pantalla con el diseño usando “StartDataNet”**



**Gráfica A.7.4. Pantalla con la información del archivo “ALFSD1.TXT”.**

TABLE \_\_\_\_: NETWORK MODELING/DESIGN DATA: ALFSD1.TXT

\*\*\*\*\* APPLICABLE DESIGN PARAMETERS \*\*\*\*\*

ALT / Flk=1 / 0:                      Tariff No.=1:                      TGF=1  
 Max. Data Rate Allowed.(Wm)(bps) = 9600:    Fvc0=0:    Analysis Type(ATP) =3

NO. OF SWITCHES=2    AT    6    9

\*\*\*\*\* ACCESS LINE CONNECTION DATA \*\*\*\*\*

NN	Sw	ALs	MIs	\$/AL	\$/ALB
1	6	1	487	771	771
2	6	1	412	733	733
3	6	1	749	857	857
4	9	1	396	725	725
5	6	1	523	785	785
6	6	1	0	0	0
7	6	1	432	743	743
8	6	1	623	817	817
9	9	4	0	0	0
10	9	4	320	686	2745

\*\*\*\*\* SUMMARY DESIGN DATA FOR SWITCH CENTERS \*\*\*\*\*

Sw@	SwTI	SwTerm	Sw\$
6	57600	7	4709.77
9	76800	9	3471.16

\*\*\*\*\* SYSTEM DESIGN DATA SUMMARY \*\*\*\*\*

Tot.#SwitchTERMs= 16                      Tot.. ALs Cost(\$/mo)= 8181  
 Total Trunking Cost(\$/mo)= 11682 :    Tot. System Cost(\$/mo)= 19863  
 Cents per Xmitted. Megabits =13.68    Avg. # Peak Hrs/Day= 10  
 Avg. System Response Time (MS) =772.04 for Wm= 9600bps & ATP= 3  
 - END OF TABLE

## Anexo 8

### Tutorial Econets.

En el presente tutorial se trata de mostrar las principales características de Delite, se utilizará un ejemplo en el cual se podrá observar la manera en que un diseño es creado.

1. Del menú “File” seleccionar la opción “Random Net is SqWd” para la creación de un diseño de red con 10 Nodos con 2 centros. El nombre de este ejemplo será Tutorial1.gen. El tipo y la cantidad de tráfico que se asignará a cada sitio es especificado por los parámetros “Traffic Type” y “Traffic Profile”. Llenar los datos de acuerdo a los mostrados en la Gráfica A.8.1.

**Gráfica A.8.1 Pantalla “Random Site in SqWorld” de DELITE.**



Random Sites in SqWorld

Creating a GEN file for Squareworld

Number of nodes: 10

Number Centers: 2

Seed: 0

File name: Tutorial1.gen

Traffic Type: MULTI\_CTR

Traffic Profile: 24-48.tpf

Start Cancel

2. Lo anterior genera un archivo con el nombre de Tutorial1.gen que se muestra en la Gráfica A.8.2. Este archivo contiene la información del tipo de función del cada nodo en la red especificada en la columna “TYPE”, la columna “IDD” especifica el código del país, las coordenadas vertical y horizontal del nodo son especificadas en las columnas “VCORD” y “HCORD”. El tráfico que entra y sale de cada sitio es especificado en las columnas “TRAFOUT” y “TRAFIN”.

Las sección del tipo de líneas contiene una lista de los enlaces que van a ser usados en el diseño.

La sección de los parámetros contiene una lista de los principales parámetros que se usarán en el diseño de la red. De estos parámetros uno de los más importantes es el de la longitud del mensaje que es especificado en bits. La información referente al resto de los parámetros puede consultarse en la Tabla A.1.3.1

**Gráfica A.8.2 Pantalla con información del archivo Tutorial1.gen**

```

Tutorial1.gen - WordPad
File Edit View Insert Format Help

*.GEN file produced by Delivie.exe with for 10 sites in Squawworld
*
%TABLE SITES
%NAME+++++ TYPE  IDD  VCORD++++  HCORD++++  PARENT+++++ POPULATION LEVEL  TRAFOUT++  TRAFIN++

      N1 E  1  5003  2744  N1  1  1  4800  4800
      N2 E  1  5225  2854  N2  1  1  2400  2400
      N3 E  1  5807  5115  N3  1  1  2400  2400
      N4 E  1  7984  2564  N4  1  1  4800  4800
      N5 E  1  5110  2027  N5  1  1  4800  4800
      N6 E  1  6536  2863  N6  1  1  4800  4800
      N7 E  1  5289  3416  N7  1  1  4800  4800
      N8 E  1  8077  4082  N8  1  1  4800  4800
      N9 N  1  6781  2127  N9  1  2  16800  16800
      M10 N  1  7787  2216  M10  1  2  16800  16800

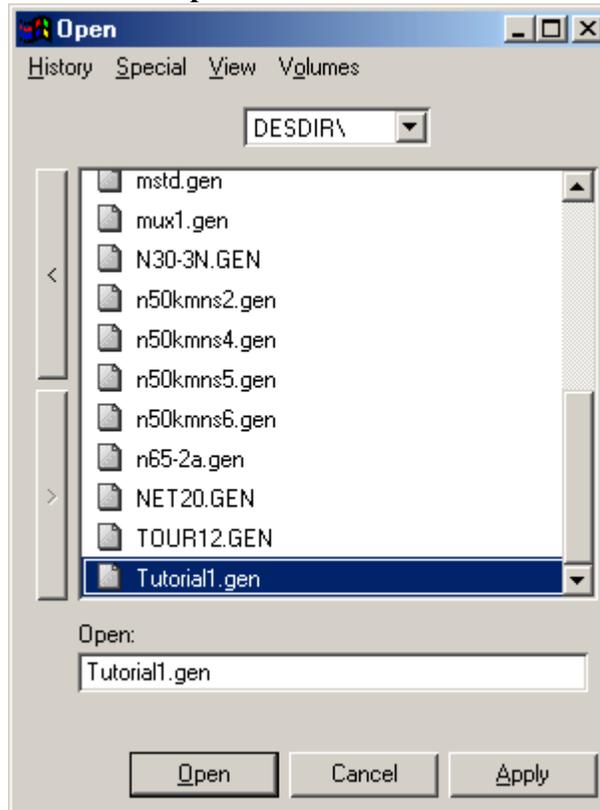
%TABLE LINETYPES
% SVTY+ TYPE  SPEED+++  FIXED_COST  DIST_COST1  DIST_COST2  DIST1
356  LS  3600  200  2  1.4  300
356  LS  54000  500  3  3  200

%TABLE PARAMS
% PARAMS+++++  VALUE+++++
NG_GEN_COSTS  Y
NG_GEN_REQS   Y
NG_DIST_OFFSET 0.01
NG_DIST_POWER 0.0
NG_POP_OFFSET 0.01
NG_POP_POWER  0.0
NG_TOT_REQ    100000
NG_BAND_FRACT 0
NG_L11        0.0
NG_L12        1.0
NG_L13        0.0
NG_L21        1.0
NG_L22        0.0
NG_L23        0.0
NG_L31        0.0
NG_L32        0.0
NG_L33        0.0
NG_NORMALIZE  ROM
NG_DIAG       M
NG_TRAFFIC    DEFAULT
NG_COSTS      DEFAULT
NG_COSTROW-MAT  NONE
NG_COSTROW-INT  NONE
NG_EQUIPMENT  MOCQUIP.TEL
NG_PARAMS     PARAMS.TEL
NG_IMP_FILE   DEFAULT
COSTPARAM     DIST1
MESSAGE_LEN   8000
  
```

3. Seleccionar la opción “Generate Input” del menú “File” para generar el resto de los archivos.

Al realizar lo anterior, aparece la pantalla de la Gráfica A.8.3. Seleccione el archivo Tutorial1.gen

**Gráfica A.8.3 Pantalla para seleccionar el archivo Tutorial1.gen**



4. El resto de los archivos han sido creados. Los nombres de los archivos generados son: Tutorial1.CST, Tutorial1.INP y Tutorial1.REQ.

El contenido del archivo Tutorial1.CST se muestra en la Gráfica A.8.4. Para el “Generador de Costos” las entradas son las columnas “VCORD” y HCORD” así como las columnas “FIXED\_COST” y “DIST\_COST” de la sección ‘Tipo de Líneas’ del archivo Tutorial1.gen (Gráfica A.8.2).

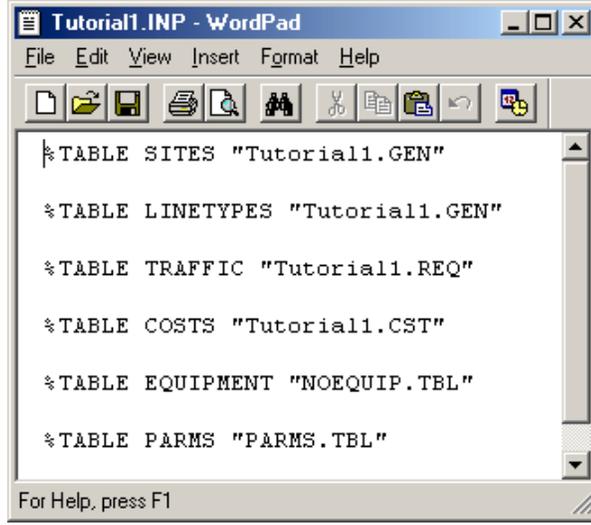
El contenido del archivo Tutorial1.INP se muestra en la Gráfica A.8.5 y especifica en que archivos se encuentran contenidas las tablas de información para el diseño de la red. Por último el contenido del archivo Tutorial1.REQ se muestra en la Gráfica A.8.6 y contiene el tráfico de los centros hacia los nodos y de los nodos a los centros.

**Gráfica A.8.4 Pantalla con información del archivo**

**Tutorial1.CST**

Line Type	D96	D56
M10	200.00	500.00
M10	1236.00	3090.00
M10	2142.00	5355.00
M10	3040.00	7600.00
M10	1644.00	4110.00
M10	2930.00	7375.00
M10	596.00	1490.00
M10	3798.00	9495.00
M10	2896.00	7240.00
M10	3104.00	7760.00
N9	200.00	500.00
N9	2610.00	6525.00
N9	2222.00	5555.00
N9	996.00	2490.00
N9	1916.00	4790.00
N9	1484.00	3710.00
N9	3420.00	8550.00
N9	1952.00	4880.00
N9	2130.00	5325.00
N8	200.00	500.00
N8	3140.00	7850.00
N8	2218.00	5545.00
N8	3902.00	9755.00
N8	1788.00	4420.00
N8	2754.00	6885.00
N8	3376.00	8440.00
N8	3638.00	9095.00
N7	200.00	500.00
N7	1598.00	3995.00
N7	1636.00	4090.00
N7	3068.00	7670.00
N7	2020.00	5060.00
N7	780.00	1960.00
N7	950.00	2375.00
N6	200.00	500.00
N6	1894.00	4735.00
N6	1686.00	4215.00
N6	2626.00	6565.00
N6	1534.00	3835.00
N6	1776.00	4440.00
N5	200.00	500.00
N5	3186.00	7915.00
N5	3444.00	8610.00
N5	1058.00	2645.00
N5	944.00	2360.00
N4	200.00	500.00
N4	3618.00	9045.00
N4	3002.00	7505.00
N4	3330.00	8075.00

Gráfica A.8.5 Pantalla con información del archivo Tutorial1.INP



Gráfica A.8.6 Pantalla con información del archivo Tutorial1.REQ

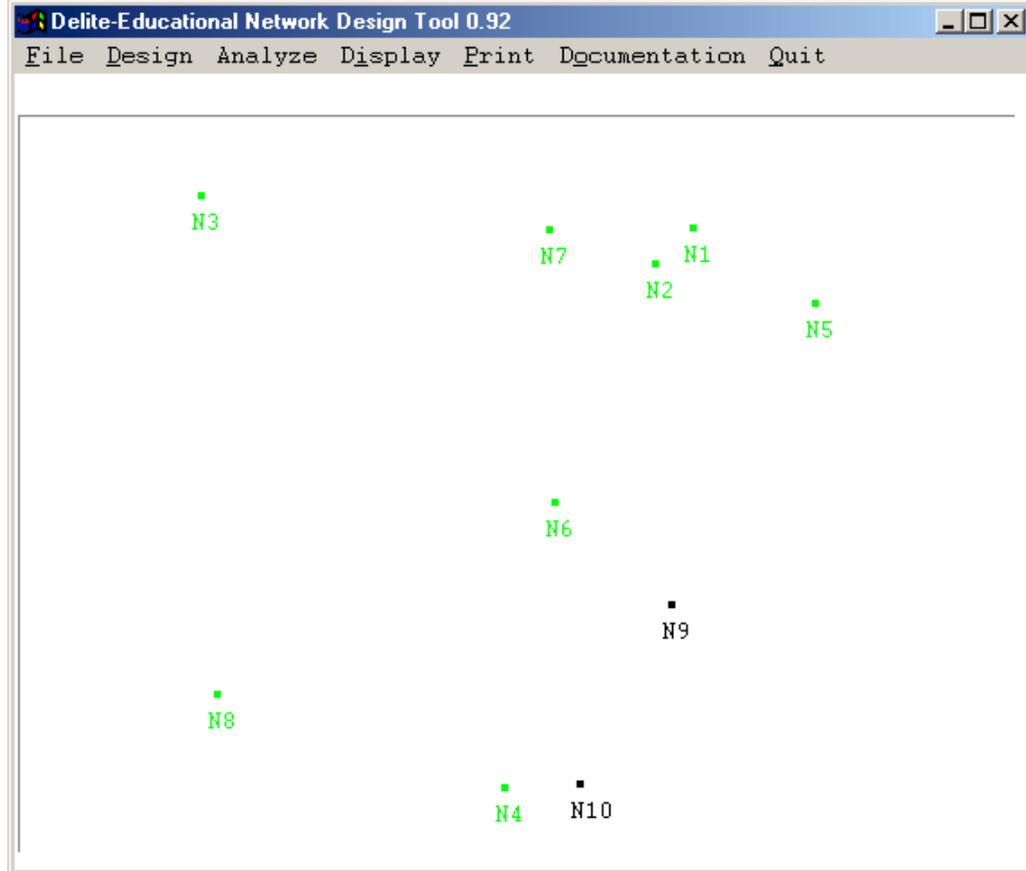
The screenshot shows a WordPad window displaying a table of traffic data. The table has three columns: SOURCE, DEST, and BANDWIDTH. The data is as follows:

SOURCE	DEST	BANDWIDTH
N10	N8	2100
N10	N7	2100
N10	N6	2100
N10	N5	2100
N10	N4	2100
N10	N3	2100
N10	N2	2100
N10	N1	2100
N9	N8	2100
N9	N7	2100
N9	N6	2100
N9	N5	2100
N9	N4	2100
N9	N3	2100
N9	N2	2100
N9	N1	2100
N8	N10	2400
N8	N9	2400
N7	N10	2400
N7	N9	2400
N6	N10	2400
N6	N9	2400
N5	N10	2400
N5	N9	2400
N4	N10	2400
N4	N9	2400
N3	N10	1200
N3	N9	1200
N2	N10	1200
N2	N9	1200
N1	N10	2400
N1	N9	2400

At the bottom of the window, it says "For Help, press F1".

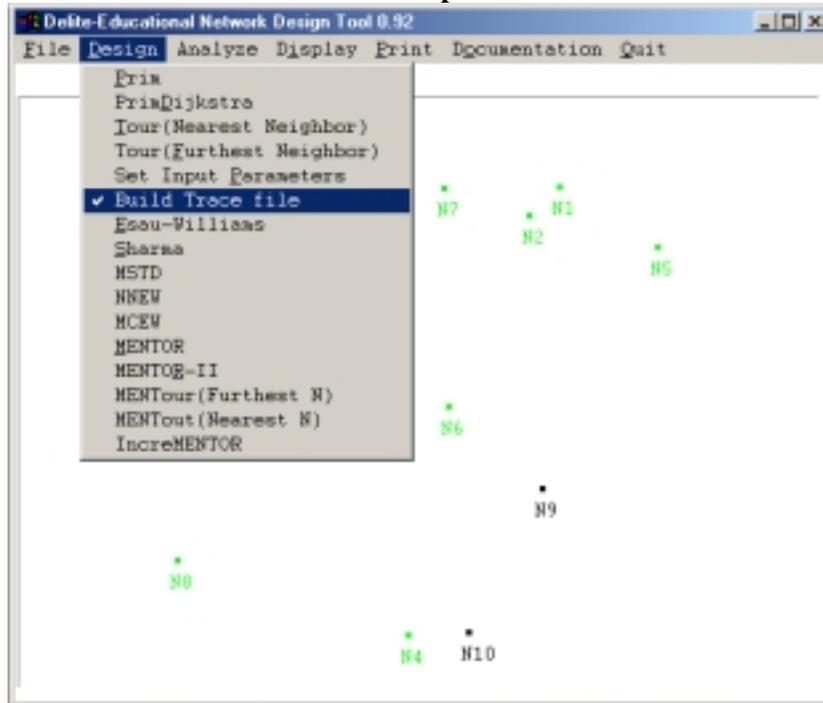
5. Leer el archivo Tutorial1.INP desde la opción “Read Input File” del menú “File”. Al hacer lo anterior aparecerá en la pantalla principal todos los nodos del diseño. La imagen se presenta en la Gráfica A.8.7.

**Gráfica A.8.7 Pantalla principal con la información de los nodos del diseño.**

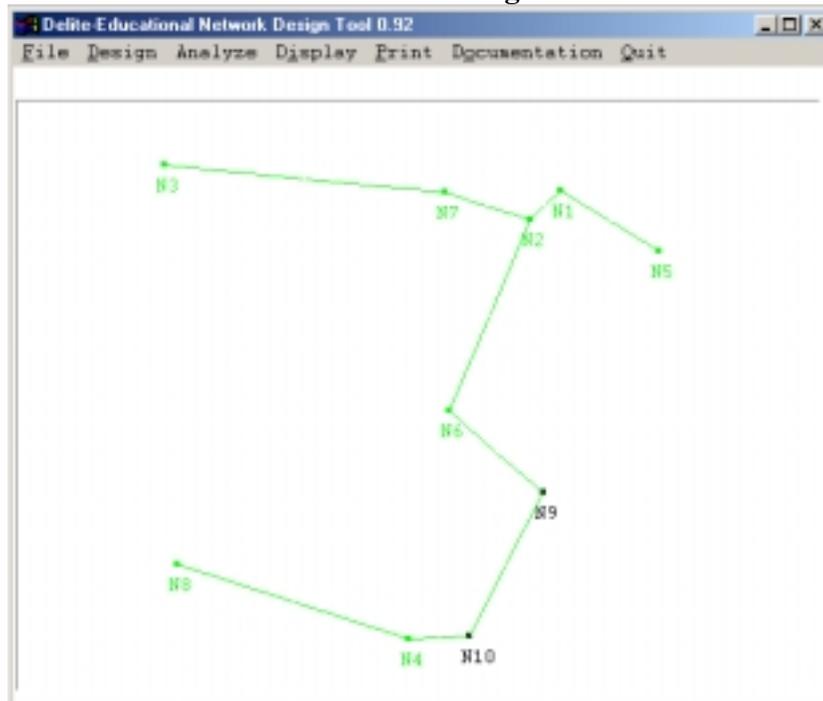


6. Seleccionar la opción de “Build Trace file” del menú “Design”. Posteriormente escoger el algoritmo “Prim” del mismo menú. En la Gráficas A.8.8 y A.8.9 se muestran los resultados de estas acciones.

**Gráfica A.8.8 Selección de la opción de “Build Trace File”**



**Gráfica A.8.9 Selección del algoritmo “PRIM”**



- Al seleccionar la opción de “Build Trace file” se genera un archivo con los pasos de la ejecución del algoritmo que se eligió. En este caso el archivo se llama Prim.trc. Parte de su contenido se muestra en la Gráfica A.8.10.

**Gráfica A.8.10 Pantalla con información del archivo Tutorial1.REQ**

```
prim.trc - WordPad
File Edit View Insert Format Help

In pass 1 the node with the best label is N10.
The label is 0.
The predecessor is N10.
In pass 1 we give node N9 a new label of 1236 and set the pred to N10.
In pass 1 we give node N8 a new label of 2142 and set the pred to N10.
In pass 1 we give node N7 a new label of 3040 and set the pred to N10.
In pass 1 we give node N6 a new label of 1644 and set the pred to N10.
In pass 1 we give node N5 a new label of 2950 and set the pred to N10.
In pass 1 we give node N4 a new label of 596 and set the pred to N10.
In pass 1 we give node N3 a new label of 3798 and set the pred to N10.
In pass 1 we give node N2 a new label of 2896 and set the pred to N10.
In pass 1 we give node N1 a new label of 3104 and set the pred to N10.

In pass 2 the node with the best label is N4.
The label is 596.
The predecessor is N10.
In pass 2 we give node N8 a new label of 1768 and set the pred to N4.
In pass 2 we give node N3 a new label of 3618 and set the pred to N4.

In pass 3 the node with the best label is N9.
The label is 1236.
The predecessor is N10.
In pass 3 we give node N7 a new label of 2222 and set the pred to N9.
In pass 3 we give node N6 a new label of 996 and set the pred to N9.
In pass 3 we give node N5 a new label of 1916 and set the pred to N9.
In pass 3 we give node N3 a new label of 3420 and set the pred to N9.
In pass 3 we give node N2 a new label of 1952 and set the pred to N9.
In pass 3 we give node N1 a new label of 2130 and set the pred to N9.

In pass 4 the node with the best label is N6.
The label is 996.
The predecessor is N9.
In pass 4 we give node N7 a new label of 1598 and set the pred to N6.
In pass 4 we give node N5 a new label of 1894 and set the pred to N6.
In pass 4 we give node N3 a new label of 2626 and set the pred to N6.
In pass 4 we give node N2 a new label of 1534 and set the pred to N6.
In pass 4 we give node N1 a new label of 1776 and set the pred to N6.

In pass 5 the node with the best label is N2.
The label is 1534.
The predecessor is N6.
In pass 5 we give node N7 a new label of 780 and set the pred to N2.
In pass 5 we give node N5 a new label of 1058 and set the pred to N2.
In pass 5 we give node N3 a new label of 2590 and set the pred to N2.
In pass 5 we give node N1 a new label of 464 and set the pred to N2.

In pass 6 the node with the best label is N1.
The label is 464.

For Help, press F1
```

## *Referencias Bibliográficas*

- [Cahn, 1998] **Cahn, Robert S. (1998).** “Wide Area Network Design”. Edit. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco CA.
- [Sharma, 1997] **Roshan L. Sharma. (1997).** “Network Design Using ECONETS”. Edit. International Thomson Computer Press, Boston MA.
- [McCabe, 1998] **James D. McCabe. (1998).** “Practical Computer Network Analysis and Design”. Edit. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. San Francisco CA.
- [Bertsekas-Gallager, 1992] **Dimitri Bertsekas/Robert Gallager. (1992).** “Data Networks”. Edit. Prentice Hall, New Jersey.
- [Tanenbaum, 1991] **Andrew S. Tanenbaum. (1991).** “Redes de Ordenadores”. Edit. Prentice Hall, Naucalpan México.
- [Kershenbaum, 1993] **Aaron Kershenbaum. (1993).** “Telecommunications Network Design Algorithms”. Edit. McGraw-Hill Inc.
- [Stallings, 1993] **William Stallings. (1993).** “Local and Metropolitan Area Networks”. Edit. Macmillan Publishing Company. New York.
- [Mann-Rubinson, 1998] **Teresa C. Mann-Rubinson, Kornel Terplan. (1998).** “Network Design”. Edit. CRC Press LLC, Florida
- [Oppenheimer, 1999] **Priscilla Oppenheimer. (1999).** “Top-Down Network Design”. Edit. Macmillan Technical Publishing. Indianápolis, Indiana.
- [Walrand-Varaiya, 2000] **Jean Walrand, Pravin Baraya. (2000).** “High-Performance Communication Networks”. Edit. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco CA.
- [Kobayashi, 1981] **Hisashi Kobayashi. (1981).** “Modeling and Analysis: An Introduction to System Performance Evaluation Methodology”. Edit. Addison Wesley

- [Blommers, 1996]** John Blommers. (1996). “Practical Planning for Network Growth”. Edit. Prentice Hall, New Jersey.
- [COMNET, 1997]** **User’s Manual. (1997).** “Planning for Network Managers”. La Jolla California, USA.
- [COMNET-TUT, 1997]** **COMNET Tutorial. (1997).** A Detail Guide to Modeling Networks with COMNET III. La Jolla California, USA.
- [Schwartz, 1977]** **Mischa Schwartz. (1997).** “Computer-Communication Network Design and Analysis”. Edit. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [Kleinrock, 1964]** **Kleinrock L. 1964.** Communication Nets:Stochastic Message Flow and Delay. New York. McGraw-Hill
- [Banks-Carson-Nelson, 1996]** **Banks-Carson-Nelson, 1996.** Discrete-Event System Simulation.New Jersey. Prentice may.
- [Walpole-Myers, 1990]** **Walpole-Myers, 1990.** Probabilidad y Estadística para Ingenieros. México. Interamericana.