

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE UNA RED TELEFÓNICA  
UTILIZANDO UNA INTERFASE INTELIGENTE**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR:

CLAUDIA CECILIA CONTRERAS FOLGAR

al conferírsele el título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Guatemala, marzo de 1,997

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL 1o.	ING. MIGUEL A. SÁNCHEZ GUERRA
VOCAL 2o.	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLÓRZANO
VOCAL 3o.	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRÍA
VOCAL 4o.	BR. VÍCTOR RAFAEL LOBOS ALDANA
VOCAL 5o.	BR. WAGNER GUSTAVO LÓPEZ CÁCERES
SECRETARIA	ING. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. JULIO GONZÁLEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	ING. GUSTAVO OROZCO
EXAMINADOR	ING. EDWIN ALBERTO SOLARES
EXAMINADOR	ING. JULIO SOLARES PEÑATE
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ

Guatemala, 13 de enero de 1,997

Ingeniero  
Julio César Solares Peñate  
Coordinador Area de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
USAC

Ingeniero Solares:

Por este medio estoy informándole que he revisado el trabajo de Tesis titulado :  
"ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE UNA RED TELEFONICA, UTILIZANDO UNA  
INTERFASE INTELIGENTE", elaborado por la estudiante Claudia Cecilia Contreras  
Folgar de Alfaro.

El mencionado trabajo llena los requisitos necesarios para dar mi aprobación, e  
indicarle que la autora y mi persona somos responsables por el contenido y  
conclusiones de la misma.

Atentamente,



Ing. Julio César González Saenz

ASESOR

Colegiado No. 2821



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 10 de febrero de 1997

Señor Director  
Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al trabajo de tesis titulado: **ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE UNA RED TELEFONICA, UTILIZANDO UNA INTERFASE INTELIGENTE**, desarrollado por el estudiante **Claudia Cecilia Contreras Folgar de Alfaro**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

  
Ing. Julio César Solares Peñate  
Coordinador Area de Electrónica



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis de la estudiante Claudia Cecilia Contreras Folgar, titulada: Análisis de sensibilidad de una red telefónica, utilizando una interfase inteligente, procede a la autorización del mismo.



Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra  
Director

Guatemala, 13 de febrero de 1,997.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: **Análisis de sensibilidad de una red telefónica, utilizando una interfase inteligente**, de la estudiante **Claudia Cecilia Contreras Folgar**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios  
Decano

Guatemala, marzo de 1,997.





2.5.1. Proceso de nacimiento y muerte.....	24
2.5.2. Tráfico de Erlang.....	27
2.6. ALGORITMOS DE DIMENSIONAMIENTO.....	29
2.6.1. Algoritmo de Kruithoff.....	29
2.7. EJEMPLO DE UNA RED TELEFÓNICA.....	30
2.7.1. Arquitectura de la red.....	30
2.7.2. Centros de tránsito y locales.....	31
2.7.2.1. Niveles jerárquicos de la red telefónica.....	31
2.7.2.2. Situación de la red telefónica metropolitana.....	32
2.7.3. Tecnología de las centrales.....	33
2.7.3.1. Ventajas económicas en la sustitución de centrales analógicas.....	33
2.7.3.2. Ventajas técnicas en la sustitución de centrales analógicas.....	33
2.7.4. Señalización.....	34
2.7.5. Criterios de enrutamiento.....	34
2.7.5.1. Definiciones.....	35
2.7.5.1.1. Rutas.....	35
2.7.5.1.2. Ruta directa.....	35
2.7.5.1.3. Ruta de alto uso.....	35
2.7.5.1.4. Ruta final.....	35
2.7.5.1.5. Ruta desborde.....	35
2.7.5.2 Criterios de enrutamiento.....	35
<b>3. TEORÍA Y MODELOS DE SIMULACIÓN</b>	
3.1. TRÁFICO TELEFÓNICO.....	37
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS CENTRALES TELEFÓNICAS.....	38
3.3. CAPACIDAD DE LOS ENLACES QUE CONECTAN LOS NODOS DE CONMUTACIÓN.....	40
3.4. ALGORITMOS DE ENRUTAMIENTO.....	40
3.5. TOPOLOGÍA DE LA RED TELEFÓNICA.....	41
3.6. CRITERIOS A CONSIDERAR EN DISEÑO DE EXPERIMENTO DE SIMULACIÓN.....	41
<b>4. CASO DE APLICACIÓN</b>	
4.1. EL COMPUTADOR AL SERVICIO DE LA PLANIFICACIÓN DE REDES.....	43
4.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE UNA RED TELEFÓNICA, CON EL USO DE UN PROGRAMA DE DIMENSIONAMIENTO.....	45
4.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE UNA RED TELEFÓNICA, CON EL USO DE UN PAQUETE DE SIMULACIÓN.....	48
<b>5. RESULTADOS</b> .....	50
5.1 RESULTADOS ANTE DISTINTAS CONDICIONES DE TRÁFICO CURSADO EN LA RED PROTOTIPO.....	53



6.-CONCLUSIONES.....	54
7.-RECOMENDACIONES.....	55
8.-BIBLIOGRAFÍA.....	56

ANEXO.....	v
------------	---

## LISTA DE ILUSTRACIONES

1.1. Distribuciones de probabilidad para 20 Erlangs, ilustrando el cambio relativo de las distribuciones con el cambio de la relación varianza-media.....	4
1.2. Representación gráfica de la distribución exponencial negativa del tiempo de duración de la llamada.....	5
1.3. Red en malla.....	10
1.4. Red en estrella.....	10
1.5. Categorías de tráfico por central.....	12
2.1. Bloqueo de un haz final de circuitos.....	17
2.2. Conmutador controlado por operadora.....	17
2.3. Conmutador de cuatro entradas y cuatro salidas.....	19
2.4. Conmutador de accesibilidad completa.....	20
2.5. Un proceso de nacimiento y muerte.....	25
2.6. Proceso general de nacimiento y muerte.....	26
2.7. Planteamiento de ecuaciones de estado.....	28
2.8. Cuadrantes de la zona metropolitana.....	31
2.9. Distribución de centrales de la zona metropolitana.....	33
2.10. Diferentes tipos de rutas.....	35
3.1. Modelo de una central telefónica combinada (Tránsito-Local).....	39
3.2. Modelo de una central telefónica local.....	39
3.3. Modelo de una central telefónica tránsito.....	40
4.1. Diagrama de flujo del programa de dimensionamiento.....	44
4.2. Algoritmo programa de dimensionamiento.....	46
4.3. Topología de la red prototipo.....	48
5.1. Topología de red prototipo considerando central A fallada.....	50
5.2. Gráfica comparativa de situaciones de tráfico contra % de costo.....	53

## LISTA DE TABLAS

2.1. Tonos de señalización R2.....	23
2.2. Grupo A señalización R2.....	23
2.3. Grupo B señalización R2.....	24
4.1. Base de datos red prototipo.....	45
4.2. Matriz de tráfico proyectado.....	47
4.3. Matriz de circuitos.....	47
5.1. Matriz de circuitos considerando la central tránsito A fuera de servicio y reanrutando el 40 % de su tráfico tránsito.....	51

5.2 Matriz de circuitos considerando la central tránsito <i>A</i> fuera de servicio y reenrutando el 100 % de su tránsito.....	51
5.3 Matriz de circuitos considerando la central tránsito <i>A</i> fuera de servicio y reenrutando el 0 % de su tráfico tránsito.....	51

## GLOSARIO

**Bloqueo:** lo constituyen todas las tentativas de llamada que no culminan en el establecimiento de una conexión completa.

**Central:** conjunto de dispositivos de transporte de tráfico, de etapas de conmutación, de medios de control y señalización que permite la interconexión de líneas de abonado, circuitos de telecomunicaciones u otras unidades funcionales.

**Central tránsito:** central telefónica que cursa tráfico que ha sido generado por fuentes exteriores y que está destinado a sumideros fuera de la misma.

**Central local:** central de conmutación que se considera como fuente o sumidero de tráfico telefónico.

**Congestión:** sobrecarga de una parte de una red que provoca una reducción sensible de su capacidad para cursar llamadas.

**Conmutación:** proceso consistente en la interconexión de unidades funcionales, canales de transmisión o circuitos de telecomunicación por el tiempo necesario para transportar señales.

**Desborde:** es la elección de una ruta alternativa cuando la ruta a tomar en primer intento no encuentra ningún circuito disponible.

**Dimensionamiento:** consiste en el diseño de la estructura de una red y la determinación del equipo requerido en cada parte de la misma para satisfacer una demanda dada.

**Erlang:** unidad de medida de la intensidad de tráfico telefónico.

**Hora pico:** es el período continuo de una hora de duración en el que el número de tentativas de llamadas es máxima.

**Modelo:** representación aproximada de un fenómeno del mundo real.

**Ruta:** es el conjunto de circuitos entre dos unidades de conmutación.

**Ruta directa:** une dos unidades de conmutación que poseen relación jerárquica entre sí, considerándose también la unión de unidades de conmutación de más alto nivel.

**Ruta final:** es la ruta cuyo tráfico no puede desbordar sobre otra ruta pero que puede recibir desborde de otra.

**Señalización:** intercambio de información que concierne específicamente al establecimiento y control de las conexiones y a la gestión en una red de telecomunicaciones.

**Simulación:** es el proceso de representar un sistema por otro.

**Tráfico:** medida de intensidad del flujo de datos o de conversación, a través de un canal telefónico.

**Tráfico cursado:** conjunto de llamadas que han sido conectadas satisfactoriamente a su destino por un grupo de recursos durante un intervalo de tiempo dado.

**Tráfico ofrecido:** lo constituyen todos los intentos de llamadas que tratan de cursarse sobre un grupo de circuitos; el intento no necesariamente tiene éxito.

**Tiempo de ocupación:** período que transcurre entre la toma de un recurso y su liberación.

# INTRODUCCIÓN

Actualmente, la red telefónica nacional se encuentra en continuo crecimiento, debido a esto es necesario optimizar el proceso de diseño y dimensionamiento de la red.

Dimensionar una red telefónica consiste en diseñar su arquitectura y estimar el equipamiento necesario en cada una de sus unidades funcionales, para poder brindar a los usuarios un grado de servicio adecuado, manteniendo al mismo tiempo la inversión en equipo optimizada.

El presente trabajo de tesis persigue automatizar el proceso de diseño y evaluar el comportamiento de una red telefónica ante una situación de falla. Para tal efecto fue necesario el desarrollo de un programa de dimensionamiento que permitiera el tratamiento de cantidades relativamente grandes de datos, el manejo de un mayor número de variables y que redujera el tiempo y esfuerzo que consumen el sin número de procesos repetitivos que involucra el dimensionamiento de una red telefónica. También se hizo un estudio teórico de los siguientes parámetros: **la naturaleza del tráfico telefónico**, **la distribución del tráfico entre los diferentes centros**, esta distribución varía dependiendo de los diferentes tipos de clientes en la red (abonados particulares, abonados comerciales, etc.), **principios de encaminamiento**, para conocer los criterios en el establecimiento de rutas directas, rutas de desbordamiento, etc., **grado de servicio**, es importante que el usuario pueda efectuar una llamada cuando lo desee a un costo que no le sea prohibitivo, **tecnología de las centrales de la red** (centrales digitales o analógicas), **señalización**, etc.

Otra herramienta utilizada para evaluar la sensibilidad de la red ante una situación de falla, la constituye el paquete de simulación de redes de telecomunicaciones y teleinformática. A través de la simulación se pretende el representar una red telefónica por un modelo para poder analizar el rendimiento y funcionamiento de un sistema antes de su implementación. Para poder crear el modelo fue necesario conocer las características de la red, por ejemplo, el enrutamiento, la matriz de tráfico entre centrales, el tiempo de duración de las llamadas, etc. Todas estas características se obtuvieron de los resultados proporcionados por el programa de dimensionamiento y de esta manera se evaluó el rendimiento de la red de acuerdo a lo diseñado.

Tanto el proceso de dimensionamiento como el de simulación juegan un papel importante en el diseño de una red telefónica ya que tienen como finalidad asegurar la calidad de servicio ofrecida al cliente.

# 1. CONCEPTOS GENERALES

## 1.1 INGENIERÍA DE TELETRÁFICO

El objetivo básico de la teoría de teletráfico, consiste en encontrar las condiciones bajo las cuales se ofrece un servicio de telefonía adecuado al abonado, a la vez que se hace un uso óptimo de las facilidades y recursos disponibles.

El tráfico telefónico es el conjunto de llamadas que se ofrecen a un grupo de circuitos, tomando en cuenta la duración y el número de las mismas. La unidad internacional de tráfico telefónico es el "erlang" y representa:

- a.- El promedio de llamadas en desarrollo simultáneo durante un período de una hora.
- b.- El promedio de llamadas originadas durante un período igual al tiempo promedio de la duración de la llamada.
- c.- Tiempo total expresado en horas para cursar todas las llamadas.

El tráfico telefónico varía mucho de un período a otro y no uniformemente sino de acuerdo con las necesidades del abonado. El volumen del tráfico varía de mes a mes de día a día y de hora a hora, así como variaciones de abonado a abonado. Por ejemplo, en los días festivos tiende haber un incremento en el volumen del tráfico. En centrales telefónicas que dan servicio a zonas comerciales pueden aparecer picos de tráfico al final de la mañana, mientras que una central sirviendo a una zona residencial o universitaria podrá tener ocupadas las horas de la tarde. Otra importante fuente de fluctuaciones de tráfico se debe a la mayor utilización del teléfono por parte de unos abonados respecto a otros. En general los abonados comerciales realizan más llamadas que los abonados residenciales.

Tradicionalmente, una central telefónica está diseñada para dar servicio durante la hora de más tráfico en el día ( hora activa ), en la parte más cargada del año.

El tráfico telefónico es muy errático e irregular. Sin embargo, cuando se efectúan medidas detalladas y periódicas del tráfico cursado, aparecen continuas

fluctuaciones de tráfico, que contienen ciertos elementos de regularidad a pesar de la manera aleatoria de que las llamadas son hechas por los abonados.

### 1.1.1 TIPOS DE DISTRIBUCIÓN DE TRÁFICO TELEFÓNICO

La densidad de tráfico telefónico se puede estudiar al conocer su distribución de probabilidad, ésta última nos indica la probabilidad de tener  $x$  llamadas en curso en un tiempo dado. La distribución de probabilidad se puede describir a partir de los siguientes parámetros estadísticos:

<i>Media o Esperanza Matemática</i> ( $\mu$ ).	Muestra la localización del centro de masa de la función de probabilidad.
<i>Varianza</i> (vmr).	Es una medida de la dispersión en torno de la media de la distribución.
<i>Coefficiente de Dispersión</i> ( $\alpha$ ).	Es la relación entre la varianza y la media.
<i>Desviación Típica</i> ( $\sigma$ ).	Se utiliza para el cálculo de los factores de seguridad en las medidas de tráfico.

Se pueden dividir las distribuciones de tráfico en tres categorías dependiendo del valor del coeficiente de dispersión.

$\alpha < 1$	$\rightarrow$ tráfico no aleatorio con distribución uniforme
$\alpha = 1$	$\rightarrow$ tráfico aleatorio
$\alpha > 1$	$\rightarrow$ tráfico no aleatorio con distribución irregular

La dispersión para el tráfico irregular es mayor que para el aleatorio, y la dispersión de éste último es mayor que la del tráfico uniforme. En otras palabras, las distribuciones de tráfico irregular tienen colas más largas que las del tráfico aleatorio y las distribuciones aleatorias tienen colas más largas que las de tráfico uniforme. En general, se requiere mayor número de circuitos para las distribuciones con colas más largas que para las de colas más cortas.

#### 1.1.1.1 Tráfico no aleatorio con distribución uniforme:

En tráfico uniforme la probabilidad de arribo de una nueva llamada decrece con el incremento de la intensidad de tráfico.

Por medio de la distribución binomial se describe en forma aproximada el comportamiento del tráfico uniforme de la siguiente forma: si se asume que se tienen  $n$  abonados, con tiempo promedio de duración de llamada igual a  $h$  (expresado como fracción de hora) y que el número de circuitos es ilimitado, de tal forma que cada vez que una llamada se origina se puede establecer la comunicación, entonces, la probabilidad de encontrar una línea ocupada

durante la hora pico es igual a  $h$  y la probabilidad de encontrarla desocupada es  $1 - h$ . Debido a que las probabilidades son las mismas para todas las líneas, la probabilidad de encontrar  $x$  líneas ocupadas es:

$$h^x (1-h)^{n-x}$$

Para el cálculo de la probabilidad total se deben incluir todas las combinaciones posibles de  $x$  del total de  $n$  líneas, de tal forma que:

$$B(x, n, h) = \frac{n!}{x!(n-x)!} h^x (1-h)^{n-x} \quad (1.1)$$

La probabilidad calculada en la ecuación (1) se puede interpretar como:

- ♦ la probabilidad que un observador encuentre en cualquier momento de la hora activa, exactamente  $x$  líneas ocupadas.
- ♦ el período promedio de tiempo en la hora activa durante el cual  $x$  líneas están ocupadas simultáneamente.

El tiempo de duración de la llamada no es necesariamente igual para cada hora, por lo que se debe tomar un promedio de varias horas activas.

La importancia de la ecuación (1) radica, en describir las condiciones de tráfico encontradas en la práctica, cuando se trata de grupos pequeños de abonados. En el tráfico uniforme, la probabilidad de que llegue una nueva llamada disminuye con el aumento de la intensidad de tráfico. Esto se comprende por el hecho de que las llamadas se originan solamente en fuentes desocupadas.

#### 1.1.1.2 Tráfico no aleatorio con distribución irregular:

A diferencia del tráfico uniforme, en el tráfico irregular la probabilidad de arribo de una nueva llamada es una función lineal del número de líneas ocupadas.

El tráfico irregular se describe mediante la distribución binomial con índice negativo, en la cual la varianza es mayor que la media. Su representación es la siguiente:

$$R(x, n, h) = \binom{-n}{x} (-h)^x (1-h)^n \quad (1.2)$$

en donde  $n$  representa el número hipotético de fuentes de tráfico, la variable aleatoria  $x$  puede ser cualquier número entero de 0 a infinito y  $h$  representa la ocupación por fuente generadora de tráfico.

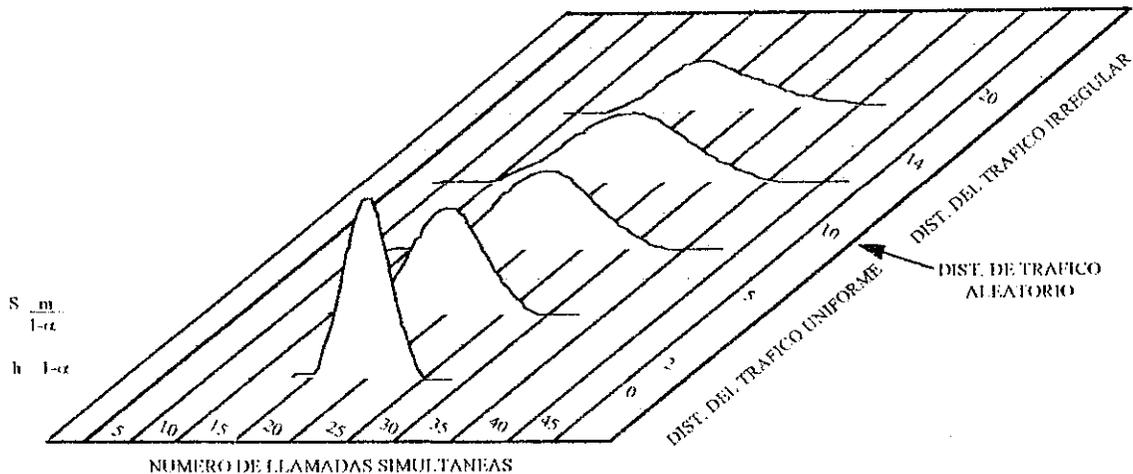
La ecuación (1.2) indica la probabilidad de encontrar  $x$  llamadas en progreso para determinados valores de  $n$  y  $h$ .

#### 1.1.1.3 Tráfico Aleatorio:

La distribución de Poisson es la que caracteriza el tráfico aleatorio, en el cual la varianza es igual a la media. La fórmula de Poisson se puede obtener a partir de



la Binomial si se supone un número infinito de fuentes de tráfico. Esto equivale a la suposición de que los intervalos entre la llegada de ocupaciones consecutivas están distribuidos de forma exponencial. Aunque no se cumpla la suposición de un número infinito de fuentes de tráfico, en la práctica, generalmente el número de fuentes de tráfico en comparación con el número de circuitos disponibles en la central telefónica para cursar las llamadas, es tan grande, que se pueden partir de las condiciones antes indicadas sin deteriorar la exactitud significativamente.



**Figura 1.1**

Distribución de probabilidad para 20 erlangs, ilustrando el cambio relativo de la distribución con el cambio de la relación varianza-media

La fórmula de distribución de Poisson se expresa como:

$$P(x, nh) = e^{-nh} \frac{(nh)^x}{x!} \quad (1.3)$$

La ecuación anterior indica la probabilidad de encontrar exactamente  $x$  llamadas simultáneas en curso, cuando las llamadas llegan aleatoriamente y la cantidad de llamadas por hora es  $n$  con un tiempo medio de duración de  $h$  horas por llamada.

Debido a la sencillez de la fórmula de Poisson, ésta ha sido adoptada en la práctica como base para la mayoría de tablas de capacidad de tráfico. Hay que hacer notar sin embargo que para un proceso de entrada con tráfico uniforme, las tablas basadas en una entrada poissoniana, sobredimensionan la cantidad de circuitos mientras que para el tráfico irregular la infradimensionan.

## 1.1.2 VARIABLES DE LA INGENIERÍA DE TELETRÁFICO

La estimación de la cantidad de circuitos necesarios en una central telefónica, para satisfacer la demanda de los abonados, es de principal importancia para los ingenieros de tráfico. Diversas fórmulas matemáticas, llamadas fórmulas de dimensionado han sido desarrolladas y establecidas para este efecto. A continuación se describe algunos conceptos básicos sobre el tráfico de voz, que están relacionados con estas fórmulas.

### 1.1.2.1 Tiempo de duración de la llamada:

Los tiempos de duración de la llamada se clasifican en dos tipos: constantes y variables.

**Tiempo de duración constante:** se aplica para el equipo que sólo interviene el tiempo necesario para establecer la comunicación.

**Tiempo de duración variable:** se aplican específicamente para las conversaciones de los abonados. A través de mediciones de tráfico se ha establecido, que la distribución del tiempo de duración de la llamada sigue la distribución exponencial negativa, excepto para llamadas cortas entre 20 y 30 segundos. Esta distribución expresa la probabilidad que una llamada no termine durante un intervalo de tiempo  $t$  y se representa por la siguiente ecuación:

$$P(>t) = e^{-t/h} \quad (1.4)$$

donde  $h$  es el tiempo medio de duración de la llamada.

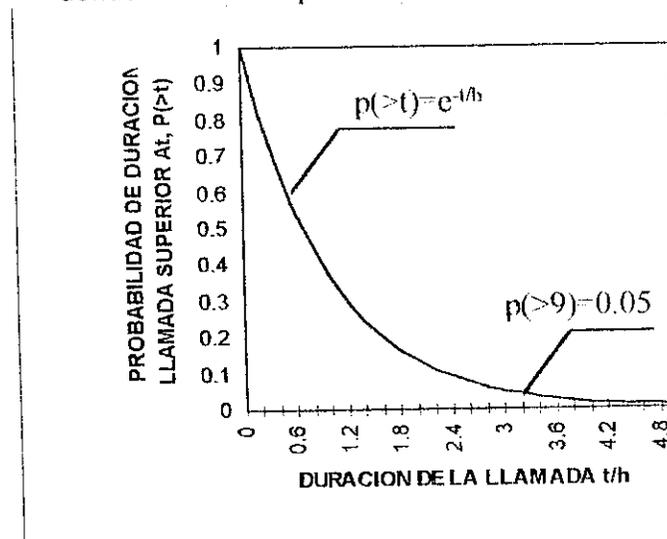


Figura 1.2

Representación gráfica de la distribución exponencial negativa del tiempo de duración de la llamada.

### 1.1.2.2 Formas en que se atiende el tráfico:

Dependiendo de la forma que se trate la demanda de comunicaciones en un sistema de conmutación al presentarse *bloqueos*, se distingue entre redes que trabajan con *sistemas de pérdidas* y otras que trabajan como *sistemas de espera*. Por bloqueo se entiende el estado en que es imposible el establecimiento de una nueva comunicación, por estar ocupados todos los circuitos disponibles en la central telefónica.

**Sistema de pérdidas:** se rechaza una ocupación ofrecida si la comunicación deseada no se puede establecer inmediatamente, debido a un bloqueo, recibiendo el abonado que llama la señal de ocupado.

**Sistema de espera:** una ocupación ofrecida que no pueda ser atendida inmediatamente por causa de un bloqueo, puede mantenerse hasta que se pueda establecer el enlace. Para las esperas que se presenten en estos casos es importante el orden en que se atiende a las ocupaciones en espera, por ejemplo, en el orden de su llegada o en orden casual.

### 1.1.2.3 Accesibilidad:

La palabra accesibilidad en la ingeniería de teletráfico, se utiliza para definir la capacidad o número de salidas de un equipo de conmutación para acceder a una ruta determinada. La accesibilidad puede ser:

- ◆ **Accesibilidad constante:** si ésta es igual en todo momento, independientemente del estado de ocupación de la red de conmutación. La accesibilidad constante puede ser: *completa* ó *limitada*.

**Accesibilidad completa:** cuando su valor numérico es igual al número de líneas de salida del grupo de líneas contemplado;

**Accesibilidad limitada:** cuando su valor numérico no es igual al número de líneas de salida del grupo de líneas contemplado.

- ◆ **Accesibilidad variable**

### 1.1.2.4 Número de fuentes de tráfico:

Las fluctuaciones de tráfico dependen en gran parte del número de fuentes originadoras del mismo (abonados). Para efectos de dimensionamiento, se hace la suposición que el tráfico es generado por un número infinito de fuentes. Es decir, se considera un tráfico aleatorio. En la práctica no se cumple la condición

de un número infinito de fuentes originadoras de tráfico; sin embargo, el número de fuentes de tráfico, en comparación con el número de líneas de salida, es tan grande, que se puede realizar esta suposición sin deteriorar significativamente la exactitud de los cálculos. Sólo cuando el número de fuentes de tráfico no es mucho mayor que el número de líneas de salida de conmutación, se debe considerar un número finito de fuentes.

### 1.1.3 FACTORES QUE DISTINGUEN Y CARACTERIZAN LAS FÓRMULAS DE DIMENSIONADO

Los diferentes factores que intervienen en la elección de fórmulas de circuitos de conmutación son:

- a) *Distribución del tráfico*: como se describió en los incisos anteriores existen tres tipos de distribución de tráfico de entrada: tráfico irregular, tráfico uniforme y tráfico aleatorio.
- b) *Número de fuentes originadoras de tráfico*: limitado o infinito.
- c) *Forma en que se atiende el tráfico*: sistemas de pérdidas, sistemas de espera.
- d) *Accesibilidad*: completa o limitada.
- e) *Intensidad de tráfico*.

Con base en lo anterior, las fórmulas de dimensionado se dividen en dos categorías según la forma de cursar el tráfico:

1. Fórmulas de pérdidas (basadas en los sistemas de pérdidas)
2. Fórmulas sumatorias (basadas en los sistemas de espera)

En cada una de las categorías hay tres fórmulas; y dependen de la distribución del tráfico de entrada (aleatorio, uniforme e irregular).

A continuación se describirán las fórmulas más empleadas para el dimensionamiento de circuitos de servicio.

#### 1.1.3.1 Fórmula de pérdida de Erlang.

Es la fórmula más importante de dimensionado. Las principales suposiciones de esta fórmula son:

- a) El tráfico se origina de un número infinito de fuentes de tráfico, lo que implica un tráfico de entrada poissoniano.
- b) El número de canales de servicio es ilimitado.

- c) Las llamadas no atendidas inmediatamente desaparecen del sistema con un tiempo de duración cero.
- d) Es válida para cualquier distribución del tiempo de duración de la llamada.

La fórmula se expresa como:

$$E(c,a) = \frac{(a^c/c!)}{1+a+(a^2/2!)+\dots+(a^c/c!)} \quad (1.5)$$

En donde:

- $E(c,a)$  = probabilidad de congestión.
- $a$  = es la media del tráfico ofrecido
- $c$  = es el número de canales de servicio

El valor dado por la fórmula de Erlang se llama grado de servicio o más comúnmente probabilidad de pérdida. Se puede expresar como congestión en llamadas o en tiempo. Para una congestión en tiempo,  $E(c,a)$  representa la porción del tiempo durante el cual están todos los canales simultáneamente ocupados. La congestión en llamadas representan la proporción de llamadas perdidas (llamadas que fallan al primer intento).

El valor usado en la fórmula de Erlang es la media del tráfico ofrecido. El tráfico ofrecido nos indica todas las solicitudes por parte de los abonados de establecer una comunicación, difiere del tráfico cursado debido a la cantidad del tráfico perdido. Si el número de circuitos disponibles para establecer las llamadas telefónicas fuera ilimitado y todas las solicitudes de llamadas fueran completadas, el tráfico ofrecido sería igual al tráfico cursado. El tráfico perdido representa el número de llamadas bloqueadas ó no completadas.

### 1.1.3.2 Fórmula sumatoria de Poisson (Molina).

Se emplea para determinar el número de canales con accesibilidad completa cuando el tráfico ofrecido es aleatorio. Las suposiciones que emplea esta fórmula son:

- a) El tráfico se origina en un gran número de abonados o fuentes de tráfico independientemente.
- b) El número de canales de servicio es limitado.
- c) Los intentos de llamada que no encuentran un canal libre, permanecen en el sistema durante el período que habían ocupado si fuesen atendidos y posteriormente abandonan el sistema.

La fórmula de Molina se establece como sigue:

$$P''(c,a) = \sum_{x=c}^{\infty} e^{-a} \frac{a^x}{x!} \quad (1.6)$$

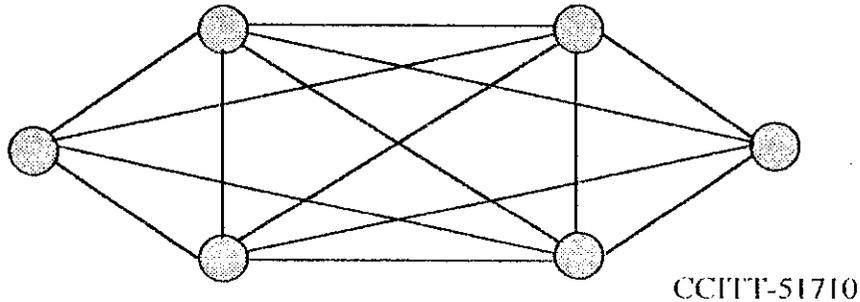
$P''(c,a)$  es la probabilidad de encontrar  $c$  llamadas en progreso y  $a$  es el tráfico ofrecido.



### 1.2.1.2 Arquitectura de las redes básicas.

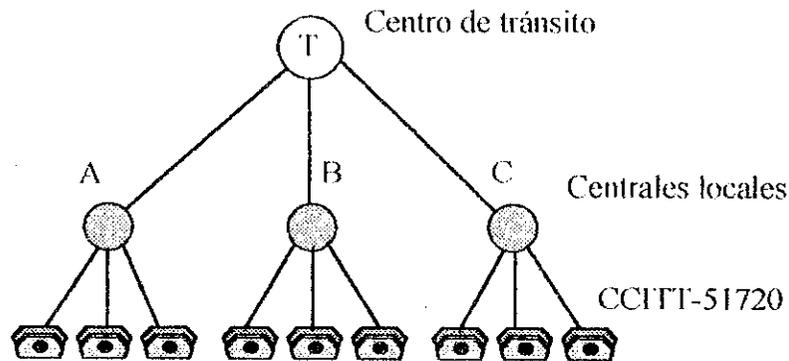
Las redes telefónicas reales son el resultado de la combinación de dos configuraciones básicas: redes en estrella y redes en malla.

**Red en malla:** en este tipo de estructura cada central está conectada directamente con todas las demás. Por lo tanto no se tienen centros de tránsito, puesto que las llamadas se encaminan a través de un sólo enlace como máximo.



**Figura 1.3**  
Red en malla

**Red en estrella:** en una red básica en estrella todas las llamadas entre las centrales de conmutación de un mismo nivel pasan a través de rutas directas a un centro intermediario de nivel superior. El centro intermediario se denomina comúnmente centro de tránsito local si conmuta tráfico local o bien centro de tránsito interurbano si conmuta tráfico interurbano.



**Figura 1.4**  
Red en Estrella

**Redes mixtas:** en este tipo de estructura coexisten formaciones en malla y en estrella.

La estructura de estrella es adecuada en los casos en los que el volumen de tráfico entre los centros de un mismo nivel jerárquico es poco elevado, mientras que cuando el tráfico es muy intenso se suele optar por una formación en malla.

### 1.2.1.3 Previsión de tráfico:

En la parte de planificación, las previsiones de tráfico constituyen la parte esencial, cualquiera que sea los métodos de dimensionamiento, el resultado solamente será satisfactorio si las matrices de tráfico previstas son las correctas; ya que de estas últimas depende la estimación de los enlaces entre centrales y por consiguiente de los equipos de transmisión.

Los pasos a seguir para establecer matrices de tráfico futuras son:

- 1.- Establecer la matriz de tráfico inicial punto a punto.
- 2.- Calcular los tráficos de salida-llegada de las centrales para todos los años que hay que estudiar.
- 3.- Considerar la evolución de la red
- 4.- Extrapolación de la matriz inicial de tráfico para todos los años en estudio.

#### ¿Cómo se determina la matriz de tráfico medida?

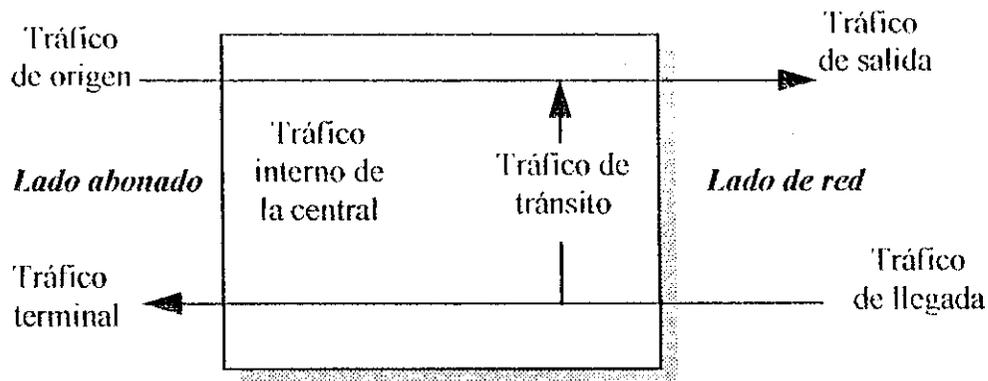
Para determinar el valor representativo del tráfico cursado por un haz de circuitos, se debe calcular el promedio de las treinta mediciones más elevadas entre todas las mediciones diarias obtenidas durante un año, en la hora media más cargada del día.

Una vez que se conoce el tráfico cursado de un haz de circuitos se debe establecer el tráfico que se ofrece a ese haz y la diferencia obtenida corresponde al tráfico rechazado. Para un tráfico de tipo Poisson se puede calcular el volumen de tráfico rechazado a partir de la fórmula de Erlang.

Es indispensable durante la elaboración de la matriz de tráfico inicial, analizar el valor del tráfico medio por abonado comercial y el tráfico medio por abonado residencial, ya que la evolución de cada uno de estos valores en el tiempo corresponde simplemente a multiplicarlos por el número de abonados correspondientes a cada categoría, y así se obtiene el tráfico total que tiene que cursar la central que da servicio a una zona en particular.

Por otra parte el tráfico medio total por abonado se descompone según se muestra en la siguiente figura:





**Figura 1.5**  
Categorías de tráfico, por central

### 1.2.1.3.1 Establecimiento de matriz de tráfico inicial:

Para elaborar la matriz de tráfico inicial punto a punto, se deben considerar dos casos:

#### **Caso 1:** (existen mediciones de tráfico)

Se dispone de dos tipos de medición de tráfico, mediciones por volumen y por dirección.

Las casillas de la matriz de tráfico inicial que corresponde a haces de circuitos directos se obtienen entonces directamente, en tanto que las demás se obtienen con base en los porcentajes por dirección.

Se debe verificar para todas las centrales en la matriz, que el tráfico total de la central  $i$  (tráfico de salida mas el tráfico de llegada) sea lo mas próximo posible al producto del número de abonados conectados a la central por el tráfico medio total por abonado en las centrales, de lo contrario hay que realizar una revisión.

#### **Caso 2:** (no se disponen de mediciones de tráfico)

La ausencia de mediciones de tráfico, pese a las consecuencias muy graves que tiene, es por desgracia bastante frecuente en los países en vías de desarrollo. Se han establecido modelos de tráfico para proporcionar valores provisionales, de tal forma que no quede bloqueado el proceso general de planificación. A continuación se describen varios de estos métodos, se considera una matriz inicial, en la que el sub-índice  $i$  representa el No. de fila y el sub-índice  $j$  el No. de columna en la matriz.

1.-*Tráficos por equirrepartición:* se utiliza cuando no es requerida una gran precisión. La fórmula que hay que utilizar es la siguiente:

$$H_{ij} = \frac{D_i * A_j}{TT} \quad (1.7)$$

En donde,

$D_i$  = es el tráfico de salida de la central  $i = N_i * p_i$

$A_j$  = tráfico de llegada de la central  $j = N_j * e_j$

TT = tráfico total de la matriz.

$N_i, N_j$  = es el número de abonados de la central i y j respectivamente

$p_i$  = es el tráfico medio de salida por abonado en la central i.

$e_j$  = es el tráfico medio de llegada por abonado en la central j.

En caso no se disponga de valores de tráfico medio por abonado, estos se pueden estimar mediante comparaciones con otras redes parecidas.

2.- *Matrices de afinidad*: los coeficientes de afinidad ( $C_{ij}$ ) los determina el planificador, se consideran iguales a la unidad cuando se supongan que las relaciones entre i y j son medias, inferiores a la unidad cuando sean más reducidas y superiores a la unidad cuando sean mayores.

Los flujos de tráfico  $F_{ij}$  se calculan de la forma siguiente:

$$F_{ij} = \frac{D_i \cdot D_j \cdot C_{ij}}{\sum_j D_j \cdot C_{ij}} \quad (1.8)$$

en donde:

$D_i$  = es el tráfico de salida de la central i =  $N_i \cdot p_i$

$D_j$  = tráfico de salida de la central j =  $N_j \cdot p_j$

$N_i, N_j$  = es el número de abonados de la central i y j respectivamente

$p_i, p_j$  = es el tráfico medio de salida por abonado en la central i, j.

3.- *Modelos gravitacionales*: este método consiste en calcular los coeficientes de afinidad a partir de la distancia entre centrales y seguidamente volver al caso anterior para calcular los datos de tráfico.

### 1.2.1.3.2 Consideración de la evolución de la red:

*Creación de una central:*

Al crear una central se toma como referencia las centrales más próximas a la misma ya sea porque los abonados de la nueva central proceden de las antiguas zonas de estas centrales, ya sea porque se considera que los nuevos abonados tendrán un comportamiento telefónico similar al de los abonados de estas centrales de referencia. Se añade una nueva fila y una columna a la matriz de tráfico, y se obtienen los datos de flujo de tráfico como si fuesen una combinación líneas de los flujos de tráfico de las centrales de referencia.

*Supresión de una central:*

Cuando se elimina una central de la red telefónica, se debe proporcionar una lista de las centrales a las que se tenga que dirigir el tráfico de la central suprimida. Se suprime la fila y la columna correspondiente a esta central.

### 1.2.1.3.3 Proyección de la matriz de tráfico:

La extrapolación de los flujos de tráfico se hace a partir de la matriz de tráfico inicial punto a punto, de forma que, por una parte los nuevos flujos tengan una distribución geográfica lo más próxima posible a la de la matriz inicial y que por otra parte, al sumar estos flujos para cada central se obtengan los tráficos de las centrales establecidos previamente para cada categoría de tráfico. El método que se utiliza es el de Kruithof, tiene la ventaja de ser iterativo y el de converger rápidamente hacia una solución aceptable. Sin embargo, un gran número de iteraciones puede afectar claramente las afinidades entre centrales, por lo que se aconseja evaluar los coeficientes de afinidad de la matriz antes y después de efectuar la proyección. Si los coeficientes varían en forma excesiva, se tienen que volver a efectuar la proyección reduciendo el número de iteraciones.

El cálculo del método de Kruithof se tratará con detalle en el siguiente capítulo.

## 1.2.2 ENRUTAMIENTO

El enrutamiento o encaminamiento de una red está ligada generalmente a su estructura jerárquica. El número de niveles en la red depende del número de abonados y del área de la zona geográfica servida.

Para describir la estructura jerárquica de la red se utilizan los siguientes términos:

- Central local: ocupa el nivel más bajo de la jerarquía de encaminamiento. Los abonados de una zona geográfica están conectados a ella.
- Centros de tránsito primarios: cada central local está conectada a su centro primario que es también su central de conexión.
- Centros de tránsito secundarios: estos centros atienden a una serie de centros primarios por lo tanto controlan el tráfico de una gran zona geográfica.

Algunas redes de mayor envergadura pueden emplear centros terciarios, cuaternarios o de orden más elevado. La red de los Estados Unidos es un ejemplo de red jerárquica de cinco niveles.

Es posible proporcionar rutas directas entre centros de niveles jerárquicos iguales o diferentes. Además hay casos en los que dentro de grandes poblaciones o ciudades, conviene, desde el punto de vista económico cursar el tráfico por medio de los centros de tránsito.

Cuando el tráfico excede cierto nivel, es muy corriente el establecer rutas directas entre centrales, por ejemplo al considerar dos centrales locales adyacentes, si la comunidad de intereses entre las zonas alcanza cierto nivel, una ruta directa entre las dos centrales puede ser la solución más económica que cursar el tráfico entre a través de uno o más centros de tránsito.

El establecimiento de rutas directas o el cursar el tráfico a través de centros de tránsito se relaciona directamente con la intensidad del tráfico, la ubicación geográfica entre centrales y el grado de servicio.

Una variación en la provisión de rutas directas lo constituye el encaminamiento alternativo, el cual permite ofrecer sucesivamente llamadas (que de otro modo se hubieran perdido) a rutas de segunda (tercera, cuarta) elección particulares. Las llamadas que son bloqueadas en una ruta constituyen el tráfico de desbordamiento. A la ruta de primera elección se le denomina ruta de alto uso y a la de segunda, ruta final. La ruta de alto uso puede desbordar únicamente sobre una ruta final. Se utilizará el criterio de umbrales para el establecimiento de rutas de alto uso.

El encaminamiento alternativo permite un mejor uso de los circuitos, sin embargo existen ciertos aspectos que deben ser estudiados, tal es el caso del efecto de un aumento progresivo del tráfico en una o más rutas. Si esto ocurre, las llamadas que desbordan en otras secciones de la red pueden afectar gravemente el servicio en dichas secciones que hasta ese momento no se vieron afectadas.

## 2. CONCEPTOS ESPECÍFICOS

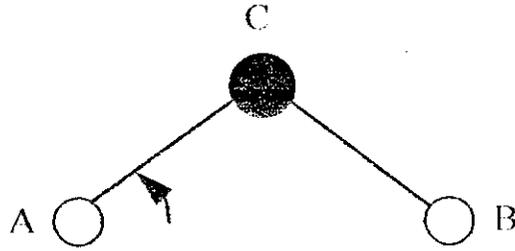
### 2.1 GRADO DE SERVICIO

Desde el punto de vista de abonado, por calidad de servicio se entiende: el grado de satisfacción o insatisfacción que le produce el servicio telefónico que se le está brindando, es decir, el abonado evalúa los siguientes aspectos: disponibilidad del servicio, calidad de transmisión, confiabilidad del servicio, etc.

En la etapa de diseño y dimensionamiento, la calidad o grado de servicio se utiliza como un parámetro de la ingeniería de teletráfico que expresa la probabilidad de pérdida. Se emplean dos criterios para definir el grado de servicio de una red, el bloqueo del haz final de circuitos y el bloqueo de central a central. Con respecto al primer criterio, el tráfico perdido se define como un porcentaje (el cual varía dependiendo del grado de servicio que se considere aceptable) del tráfico ofrecido al haz final de circuitos. El porcentaje de tráfico perdido entre centrales también representa, un porcentaje del tráfico total ofrecido entre las mismas.

La congestión que experimenta el abonado se mide directamente, como es natural, por el bloqueo de central a central. Por tanto tendría más sentido diseñar una red basándose en el criterio de bloqueo de central a central para todos los pares de centrales. Sin embargo, casi en todo el mundo se utiliza el criterio de bloqueo del haz de circuitos final de la central, ya que el otro criterio resulta muy complicado y va ligado a la estructura y enrutamiento de la red.

En el caso del bloqueo del haz final de circuitos en la práctica, el valor del grado de servicio se establece dependiendo de la posición jerárquica que ocupan los haces de circuitos dentro de la red. Por ejemplo, en la figura 2.1, una llamada de A hacia B, tiene dos trayectos o rutas posibles. Primero intenta tomar el haz de circuitos de la ruta A-B (ruta de alto uso). Si este haz de circuitos está totalmente ocupado, la llamada intentará tomar el trayecto alternativo A-C-B (ruta final). De acuerdo con el criterio de bloqueo de haces finales de circuitos, se dimensionan los trayectos finales A-C y C-B para un valor de grado de servicio dado independientemente al establecido para la ruta A-B de alto uso.



**Figura 2.1**  
Bloqueo del haz final de circuitos

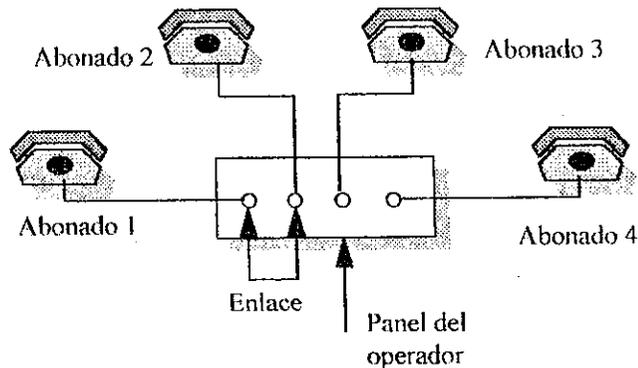
## 2.2 TRÁFICO POR ABONADO

Se utiliza para cuantificar el porcentaje de tiempo durante el cual el abonado utiliza su teléfono en un período de una hora. El tráfico por abonado se toma siempre durante la hora pico. Un tráfico por abonado de 0.2 nos indica que el usuario durante la hora pico utiliza su aparato telefónico 12 minutos.

El tráfico por abonado varía en las distintas ciudades, estas variaciones son causadas por diversos factores, tales como si la ciudad es área de recreo, si tiene industria de temporada o recolección agrícola, etc. Asimismo existen fluctuaciones en el tráfico por abonado, dependiendo de la época del año, del día de la semana y de la hora del día.

## 2.3 CENTROS DE CONMUTACIÓN

El concepto básico de un conmutador es el de conectar una línea (generalmente un abonado) con otra, de tal forma que cualquier abonado (o línea) puede eventualmente conectarse con cualquier otra. Cuando el número de conexiones es pequeño, esto se puede hacer de una forma manual. Si se considera la situación de cuatro abonados, como se muestra en la figura 2.2, es un ejemplo bastante sencillo que puede ser manejado por una operadora.



**Figura 2.2**  
Conmutador controlado por operadora, con este simple conmutador la conexión entre dos abonados se hace por medio de un enlace.

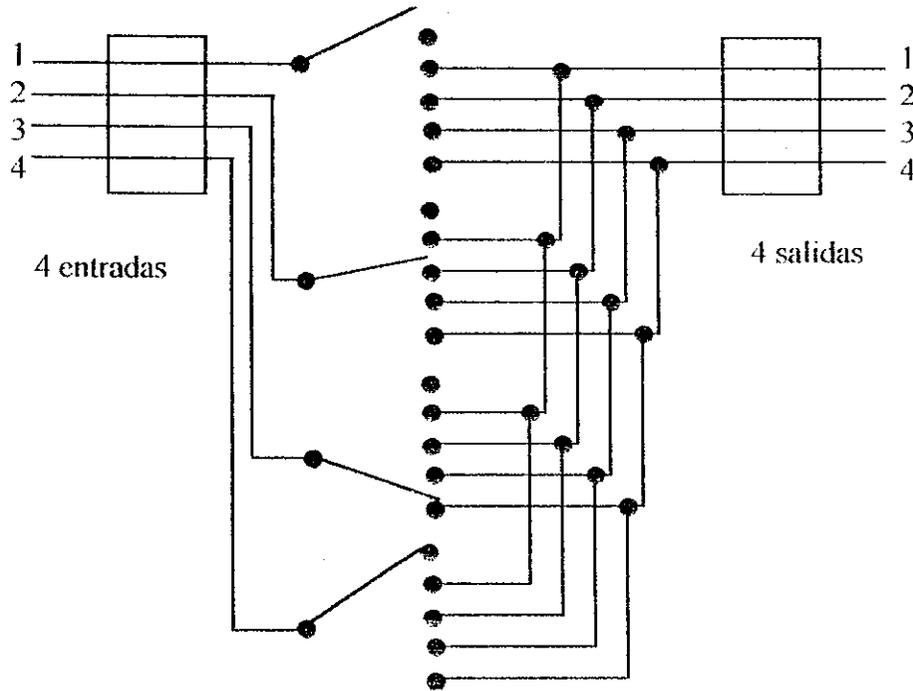
A medida que el número de abonados crece, la tarea de la operadora se vuelve extremadamente difícil, por lo que surge la necesidad de una central telefónica automática. La primera central telefónica automática fue producida en 1892 en La Porte, Indiana, USA. Era electromecánica, --conmutadores eléctricos manejados por electromagnéticos que por medio de movimientos mecánicos realizaban la función de conmutación. Ésta era realizada enviando pulsos (discado) para indicar el número requerido. En este sentido, los primeros conmutadores era digitales.

Los conmutadores posteriores utilizaban distinta forma de memoria, de tal forma que la conmutación en la central se realizara de forma asíncrona (a diferente velocidad) de los pulsos de discado. Con algunas mejoras, este tipo de conmutación y discado permanecieron como estandar hasta muy recientemente.

### 2.3.1 CONMUTADORES EN ESPACIO

Los conmutadores telefónicos fueron originalmente conmutadores en espacio, es decir, los conmutadores físicamente conectaban un circuito a otro, con una conexión en espacio. Para lograr realizar una llamada, era necesario conectar físicamente los dos teléfonos por medio de un cable. Los conmutadores en espacio fueron utilizados para conectar a los abonados sólo durante el tiempo de la duración de la llamada, de tal forma que los enlaces pudieran ser utilizados por otros abonados después que la llamada se había completado. Hoy en día, a pesar que una conexión física no ocurre (debido a que los conmutadores digitales utilizan dispositivos multiplexados en el tiempo), dos teléfonos son conectados por una ruta dedicada durante el tiempo de duración de la llamada.

La Figura 2.3 muestra un conmutador en el cual cada entrada se puede conectar a cada salida, esto es comúnmente conocido como un conmutador de accesibilidad completa, ya que cada entrada tiene una ruta a cada salida.



**Figura 2.3**

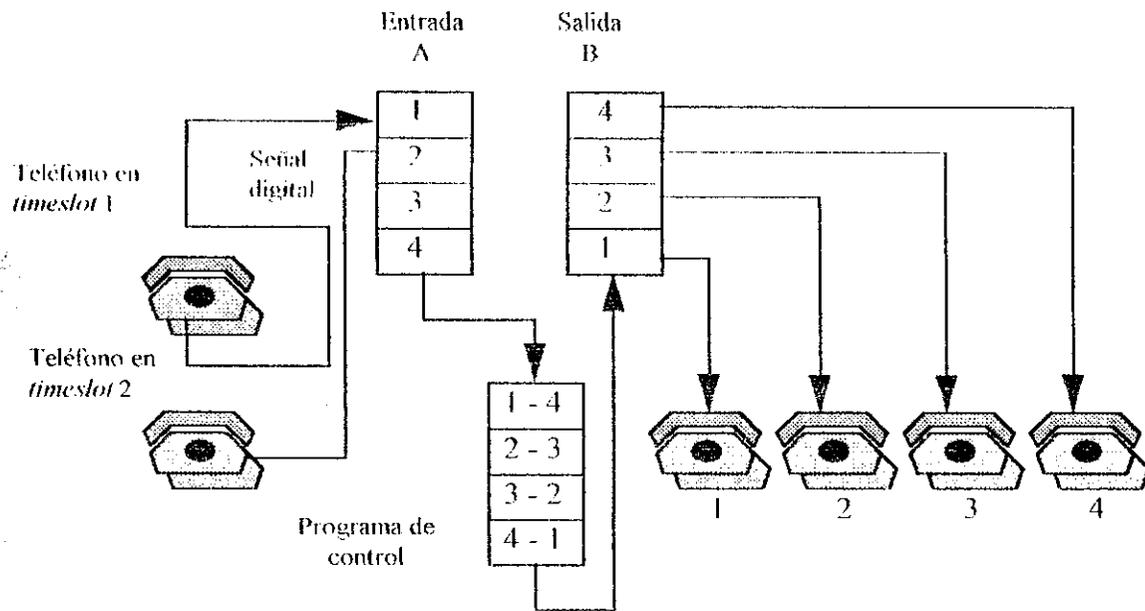
Conmutador de cuatro entradas y cuatro salidas. Las entradas 1 y 4 están conectadas a una posición neutral, la entrada 2 a la salida 2 y la entrada 3 está conectada a la salida 4.

Con el aumento en la capacidad de los conmutadores, el número total de rutas posibles se incrementó rápidamente. Debido a esto, los conmutadores posteriores fueron de accesibilidad limitada, lo que significa que cada entrada puede conectarse a un número limitado de salidas.

### 2.3.2 CONMUTACIÓN EN TIEMPO

Los conmutadores en tiempo estuvieron disponibles con las técnicas digitales y trabajan bajo el principio de conmutar una entrada con una salida en particular en un determinado instante en el tiempo. La figura 2.4, muestra como a cada entrada se le asigna su respectivo *timeslot*. la información de entrada es ordenada (conmutada) bajo la dirección del *store control* (programa de control maestro), de tal forma que cada *timeslot* entrante es conectado con el *timeslot* requerido.





**Figura 2.4**

Conmutador de accesibilidad completa que utiliza *timeslots* para conectar cualquier entrada a cualquier salida.

En la figura 2.4, cada línea telefónica es muestreada en su respectivo *timeslot*, el teléfono en el *timeslot 1* del lado A es conectado al teléfono del *timeslot 4* del lado B. Hay que hacer notar que la conmutación se realiza ordenando los *timeslots* y no mediante cables físicos, de tal forma que la información puede ser llevada por una sola ruta entre el conmutador A y el B. Las centrales telefónicas modernas utilizan una combinación de la conmutación en tiempo y espacio para minimizar el equipo requerido.

## 2.4 SEÑALIZACIÓN

La señalización tiene como objeto conectar a la central de conmutación telefónica al mundo exterior. Es la forma en la cual toda la información acerca de los dígitos discados, la condición de la línea y otro tipo de información de la red telefónica es transmitida a través de la red. Los primeros sistemas de señalización estaban basados en pulso DC; alrededor de 1950 una serie de sistemas basados en tonos fuera y dentro de la banda fueron desarrollados y actualmente constituyen la base de los formatos de señalización moderna.

La forma más común de señalización entre troncales utilizada hoy en día es la señalización por canal común, a pesar de esto la señalización por canal asociado es todavía ampliamente utilizada. En la señalización por canal común un circuito diferente al de voz es utilizado, lo cual habilita que la conmutación

ocurra a altas velocidades y que los canales de voz no estén enlazados con la señalización. El estándar 2mbit, sistema de 32 canales utiliza dos de esos canales exclusivamente para la señalización.

La señalización en banda y fuera de banda utiliza los mismos canales que son utilizados para voz. Las frecuencias de voz asumen estar en el ancho de banda de 300 a 3,400 Hz. Un tono en banda muy comunmente utilizado es el sistema de señalización CCITT R1, que utiliza 2,600 Hz.

Todas las complejas características de los modernos sistemas de señalización tienen por función satisfacer de un modo más perfeccionado lo siguiente:

- conectar al abonado con su central local
- dirigir la llamada a través de los sucesivos centros de conmutación
- conectar el abonado con el abonado o servicio llamado
- informar al abonado del progreso de la llamada
- realizar el cómputo de la llamada con fines de tasación automática
- proporcionar información para gestión de red
- desconectar a los abonados de sus centrales locales al terminar la comunicación
- liberar los enlaces y centrales intermedios al concluir la comunicación

#### 2.4.1 SEÑALIZACIÓN DE LAZO O DC

Los primeros sistemas de señalización fueron muy simples y se basaban principalmente en pulsos de línea que alternaban "1" ó "0" en el estado de la línea, en forma mas sencilla, esto se puede conseguir al colocar una condición de corto circuito o de un circuito abierto en la línea. En los conmutadores paso a paso estos pulsos son trasladados directamente al movimiento físico del conmutador.

El uso de pausas se utilizaba para indicar el fin de una condición dada. Por ejemplo la pausa producida entre el intervalo de discado de un dígito y otro en un teléfono de disco, es utilizado por el sistema, para determinar el fin de una serie de pulsos y el comienzo de uno nuevo.

La inversión de la polaridad en la línea es utilizada para indicar ciertos estados entre los cuales se incluye el hecho de que el abonado llamante cuelgue su microteléfono.

La desventaja de la señalización de lazo es que la forma de onda de los pulsos es deteriorada enormemente con líneas muy extensas y los pulsos en la

línea tienen que ser reconstruidos en forma separada. Esto generalmente se realizaba al convertir los pulsos a tonos y posteriormente, éstos últimos a pulsos.

## 2.4.2 SEÑALIZACIÓN R1

Este tipo de señalización está constituido por una parte de señalización de línea y otra de señalización de registro.

La señalización de línea es llevada a cabo en la misma vía que la conversación ya sea durante la presencia o ausencia de la conversación. Utiliza un tono de 2,600 Hz y su presencia o ausencia es la base de la señalización. La línea contiene filtros previos a la interconexión con el abonado para filtrar este tono.

Los registros forman parte de la memoria del conmutador y son utilizados para almacenar y trasladar los dígitos discados. Cuando el abonado disca un número éste es almacenado en el registro y comienza a trasladarlos a donde corresponda tan pronto como tenga suficiente información para determinar cual es la central destino.

La señalización de registro se realiza utilizando dos tonos simultáneamente escogidos de un total de seis. Esto se denomina *código multifrecuencia* (MFC) o algunas veces “dos de seis” MFC.

## 2.4.3 SEÑALIZACIÓN R2

R2 utiliza una frecuencia fuera de banda de 3,825 Hz para la señalización de línea y un total de 15 señales hacia adelante y 15 señales hacia atrás para la señalización entre registros. Es utilizado frecuentemente para señalización nacional e internacional.

R2 como otros sistemas de señalización tiene versión digital y versión analógica. La versión analógica se lista en la tabla 2.1.

La señalización hacia adelante puede tener dos significados designados bajo los grupos I (selección) y grupo II (clase de servicio del abonado llamante). La tabla 2.2 da a conocer estos significados.

La señalización hacia atrás también tiene dos grupos de señales conocidos como grupo A (certificación y control) y grupo B (estado del abonado llamante) detallados en la tabla 2.3.

SEÑAL	FRECUENCIAS Hz						
	ADELANTE ATRÁS	1380	1500	1620	1740	1860	1980
		1140	1020	900	780	660	540
1		X	X				
2		X		X			
3			X	X			
4		X			X		
5			X		X		
6				X	X		
7		X					
8			X			X	
9				X		X	
10					X	X	
11		X					X
12			X				X
13				X			X
14					X		X
15						X	X

**Tabla 2.1**  
Tonos de señalización R2

SEÑAL	GRUPO I SEÑAL	GRUPO II SEÑAL
1	DÍGITO 1	ABONADO NORMAL
2	DÍGITO 2	ABONADO CON PRIORIDAD
3	DÍGITO 3	EQUIPO DE MANTENIMIENTO
4	DÍGITO 4	NO UTILIZADO
5	DÍGITO 5	OPERADOR
6	DÍGITO 6	TRANSMISIÓN DE DATOS
7	DÍGITO 7	USO INTERNACIONAL
8	DÍGITO 8	USO INTERNACIONAL
9	DÍGITO 9	MONEDERO
10	DÍGITO 0	USO INTERNACIONAL
11	NO UTILIZADO	NO UTILIZADO
12	REQUERIMIENTO NO ACEPTADO	NO UTILIZADO
13	ACCESO A EQUIPO PRUEBA	NO UTILIZADO
14	NO UTILIZADO	NO UTILIZADO
15	FIN DE ENVÍO DÍGITOS	NO UTILIZADO

**Tabla 2.2**  
Grupo A. Señalización R2

NÚMERO DE LA SEÑAL	SIGNIFICADO EN EL GRUPO A	SIGNIFICADO EN EL GRUPO A
1	ENVÍA SIGUIENTE DÍGITO	LÍNEAS DE ABONADO LIBRE
2	ENVÍA DÍGITO ANTES DEL ÚLTIMO	ABONADOS QUE HAN CAMBIADO NÚMERO
3	CAMBIA A RECEPCIÓN DE B	LÍNEA ABONADO OCUPADO
4	SEÑALES B CONGESTIONADA	CONGESTIÓN TRONCAL
5	ENVÍO DE CATEGORÍA DE PARTE LLAMANTE	NUM. NO LOCALIZADO
6	CONFIGURACIÓN RUTA DE VOZ	LÍNEA DE MEDICIÓN
7	ENVIAR SEGUNDO ÚLTIMO DÍGITO	NO LÍNEA DE MEDICIÓN
8	ENVÍA TERCER ÚLTIMO DÍGITO	LÍNEA DE SALIDA DE LLAMADA
9	RE-ENVÍA NÚMERO COMPLETO	NO UTILIZADA
10	NO UTILIZADA	NO UTILIZADA

**Tabla 2.3**  
Grupo B. Señalización R2

#### 2.4.4 SEÑALIZACIÓN CCITT No.7

Este es el sistema de señalización más recomendado y utiliza señalización por canal común (es decir, la señalización se realiza en canales dedicados).

Por economía, en la operación de un sistema CCITT No.7, los puntos de transferencia de señalización (STPs) pueden ser utilizados para proveer enrutamiento dinámico del tráfico de señalización.

La señalización No. 7 es el sistema más reciente y ha sido diseñado para permitir la interconexión de redes de conmutación distintas.

La forma digital es un sistema de señalización *full-duplex* que opera a 64kbts/sec. La señalización No.7 opera únicamente en líneas dedicadas y otro tipo de condiciones de línea como lo son supresores de eco y equipamiento para la Ley A o Ley  $\mu$  no deben ser utilizadas.

## 2.5 DESARROLLO DE LA FÓRMULA DE ERLANG.

### 2.5.1 PROCESOS DE NACIMIENTO Y MUERTE.

Con el objetivo de conocer comportamiento de un sistema de servicio telefónico (típicamente una cola M/M/1). Una cola identificada como M/M/R/R,

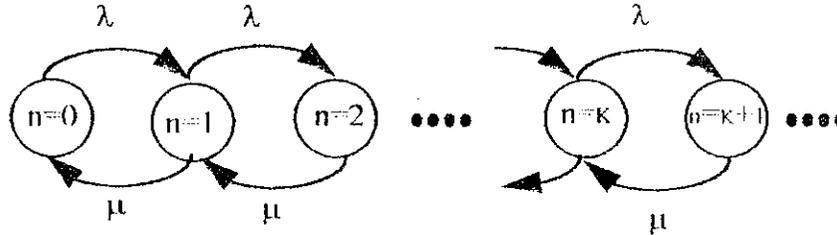
designa un proceso con arribos poissonianos y un servicio de tipo exponencial que opera como un sistema de pérdidas, sistemas que han sido tratados en el capítulo 1. Con el fin de analizarlos es necesario conocer lo siguiente:

- a) El número de clientes siendo servidos o esperando.
- b) El tiempo de servicio que permanente sea usado por el cliente que está siendo servido.
- c) Tiempo para la siguiente llegada.

Las propiedades de la distribución exponencial hace posible la simplificación de la deducción de la ecuación de Erlang, y reducen el número de clientes en el sistema. Este número sólo especifica el estado de la cola, por ejemplo: permite su evolución para ser predecida en términos de probabilidad. Así, si  $n$  clientes son presentes al momento  $t$  ( $n > 0$ ), entonces,

para una probabilidad $\lambda dt$ ,	habrán $n + 1$ al $t + dt$
para una probabilidad $\mu dt$ ,	habrán $n - 1$ al $t + dt$
para una probabilidad $1 - (\lambda + \mu)dt$ ,	habrán $n$ al $t + dt$

Es conveniente representar este modelo gráficamente en la siguiente figura, haciendo la posible transición explícita. Cada círculo representa un estado ( $n=0$  indica que el sistema esta vacío y el servidor esta en descanso;  $n=1$  indica un cliente en servicio; ...y así consecutivamente); una flecha que une  $n = k$  a  $n = k+1$  simboliza la llegada de un cliente quien incrementa el número de clientes de  $n$  a  $n+1$ . La velocidad de ocurrencia es indicada por  $\lambda$ , y la velocidad de ocurrencia del servicio es denotada por  $\mu$ .



**Figura 2.5**  
Un proceso de nacimientos y muertes

Las ecuaciones de estado describen la evolución del proceso. Se denota  $P_k(t)$  la probabilidad de encontrar el sistema en el estado  $k$  al momento  $t$ . Las ecuaciones se escriben de la siguiente manera:

$$P_k(t+dt) = P_k(t) + \frac{dP_k}{dt} dt \quad (2.1)$$

$$= P_k(t) (1 - \lambda dt - \mu dt) + P_{k-1}(t) \lambda dt + P_{k+1}(t) \mu dt \quad k > 1 \quad (2.2)$$

$$P_0(t+dt) = P_0(t) (1 - \lambda dt) + P_1(t) \mu dt \quad (2.3)$$

el sistema esta en el estado  $k$  al momento  $t + dt$  si él ha estado al momento  $t$  y si nada pasó, o si é estuvo en el estado  $k-1$  y una llegada ha ocurrido, o finalmente si él ha estado en  $k+1$  y una salida ha ocurrido.

Se limitará el estudio al estado estable del sistema se asume que las probabilidades en este caso no dependen del tiempo ( $dP_k/dt = 0$ ) y la ecuación puede ser reducida a la siguiente expresión:

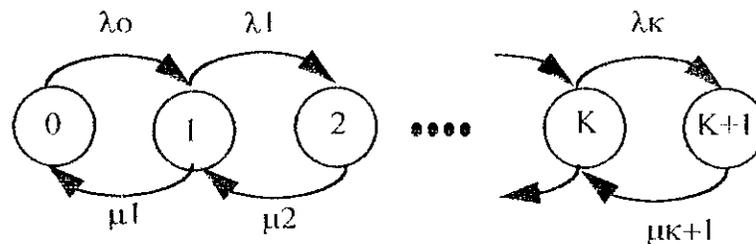
$$\lambda P_0 = \mu P_1 \quad (2.4)$$

$$(\lambda + \mu)P_k = \lambda P_{k-1} + \mu P_{k+1}, \quad k > 1 \quad (2.5)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1 \quad (2.6)$$

La última ecuación es llamada como la ecuación de normalización, especifica que el sistema debe estar siempre en un cierto estado.

Se puede notar que las ecuaciones pueden ser derivadas del diagrama de la figura anterior, la probabilidad del flujo entrante a un estado  $\lambda P_{k-1} + \mu P_{k+1}$  debe ser igual al flujo con el que sale del mismo, el cual es  $(\lambda + \mu)P_k$ , para garantizar el estado estable donde  $P_k$  se mantiene constante.



**Figura 2.6.**  
Proceso general de nacimiento y muerte

La solución recursiva nos da lo siguiente:

$$P_k = (\lambda / \mu)^k P_0 \quad (2.7)$$

$$P_0 = \{1 + \lambda/\mu + \dots + (\lambda/\mu)^k + \dots\}^{-1} = 1 - \lambda / \mu \quad (2.8)$$

$\lambda / \mu$  es tradicionalmente designado como  $\rho$  y es interpretado como la velocidad o razón de utilización, por ejemplo: la probabilidad de que el servidor este ocupado o bien la proporción de tiempo mientras se encuentra activo. Esto será el "tráfico ofrecido".

El método puede ser fácilmente extendido a casos más generales de procesos de nacimiento y muerte, donde los coeficientes  $\lambda$  y  $\mu$  dependen del estado.

Como se mostró en el último diagrama, es muy útil para describir las ecuaciones de estado.

$$\lambda_0 P_0 = \mu_1 P_1 \quad (2.9)$$

$$(\lambda_k + \mu_k) P_k = \lambda_{k-1} P_{k-1} + \mu_{k+1} P_{k+1} \quad (2.10)$$

y también la ecuación de normalización

$$\sum_{k=0}^{\infty} P_k = 1$$

La solución del sistema anterior de ecuaciones, nos dice que existe y está dado por:

$$P_1 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} P_0 \quad (2.11)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_0 \lambda_1}{\mu_1 \mu_2} P_0 \quad (2.12)$$

$$P_k = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{k-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_k} P_0 = \left( \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \right) P_0 \quad (2.13)$$

con

$$P_0 = \left( 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \right)^{-1} \quad (2.14)$$

### 2.5.2 TRÁFICO DE ERLANG:

Para el siguiente análisis este término designa un sistema con capacidad limitada ( $R$  servidores y  $R$  lugares) funcionando con "sistemas de pérdidas" y a un flujo de llegadas descritas por una distribución de Poisson. Las veces de ocupación exponencial son asumidas para hacer posible utilizar procesos de nacimiento y muerte. En realidad los resultados obtenidos son válidos para una cola M/G/R/R.

El estado del sistema es caracterizado por  $n$ , el número de servidores activos ( $0 \leq n \leq R$ ). Es necesario encontrar  $P_n$ , el estado de probabilidades del sistema. La siguiente ejemplificación hace posible ilustrar las diferencias entre  $\lambda$ ,  $C$  y  $C_0$ . La velocidad de los nacimientos asociados al proceso depende del estado.

$$\lambda_1 = \lambda$$



$$\lambda_R = 0 \text{ para } 0 \leq i \leq R$$

Debido a la capacidad limitada, las llamadas que llegan mientras se encuentran el sistema en el estado R, son perdidas. De acuerdo a la definición,

$$C = \lambda$$

donde  $C_0$  puede ser escrito como

$$C_0 = \sum \lambda_i P_i = \lambda(1 - P_R) \quad (2.15)$$

El tráfico ofrecido es,

$$A = CT \quad (2.16)$$

y

$$A_0 = \Lambda(1 - P_R) \quad (2.17)$$

El tiempo de congestión  $B_T$  es igual a  $P_R$  y de acuerdo a la ecuación siguiente.

$$B = \frac{A - A_0}{\Lambda} = P_R \quad (2.18)$$

Como se mencionó anteriormente, la caracterización de Poisson de llegadas implica que  $B$  y  $B_T$  son iguales.

La solución de la ecuación de nacimiento y muerte nos da  $P_n$  y, particularmente  $P_R$ . Aquí, las velocidades  $\mu_k$  son iguales a  $\mu_k = k\mu$ .

Si en un caso  $k$  servidores están activos al momento  $t$  (éstos son eventos condicionantes con esta consideración).

$P(\text{una salida entre } t \text{ y } t+dt | k \text{ servidores activos al momento } t)$

$= P(\text{servidor 1 termina}) + P(\text{servidor 2}) + \dots + P(\text{servidor } k \text{ termina})$

$= k\mu dt$

El resultado anterior es debido a que los servidores son independientes uno con otro y debido a la propiedad exponencial (los elementos infinitesimales han sido despreciados). La siguiente figura ayudará a escribir las ecuaciones de estado

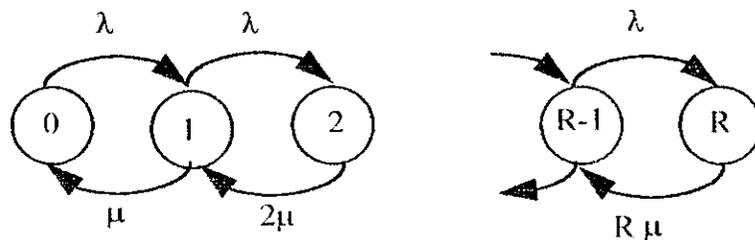


Figura. 2.7

Planteamiento ecuaciones de estado

Notamos que este sistema con  $R+1$  ecuaciones con  $R+1$  desconocidos estados  $R$ , y no pueden ser resueltos por sí mismo (esto esto puede ser visto sumando los terminos al lado izquierdo y al lado derecho); la normalización de la ecuación es necesaria para completar la solución.

$$B = B_T = P_R = \frac{\Lambda^R/R!}{1 + \Lambda + \Lambda^2/2! + \dots + \Lambda^R/R!} = E(R, \Lambda) \quad (2.19)$$

Esta es la famosa fórmula de Erlang, regularmente referida como la fórmula de Erlang  $B$ . Ésta es calculada por recursión y es también dada en forma de gráficos o tablas.

Cuando  $R$  llega a ser muy grande ( $\Lambda/R$  es muy pequeña), así que podemos escribir la fórmula de Erlang de la siguiente manera:

$$P_j = \frac{\Lambda^j}{j!} e^{-\Lambda} \quad (2.20)$$

Y por supuesto que  $P_R = 0$ . De esta manera un distribución es llamada a veces "tráfico de Poisson".

Se debe de notar que el término "tráfico de Erlang" ha sido empleado. Este designa el proceso de llegadas con una velocidad constante.

## 2.6 ALGORITMOS DE DIMENSIONAMIENTO

### 2.6.1 ALGORITMO DE KRUTHIOFF.

Este método se utiliza para realizar proyecciones de la matriz de tráfico inicial, punto a punto. Tiene la ventaja de ser iterativo y el de converger rápidamente hacia una solución aceptable. Sin embargo, un gran número de iteraciones podrían perturbar las afinidades entre las centrales, por lo que es aconsejable comparar los coeficientes de afinidad de la matriz antes y después de efectuada la proyección. Si las perturbaciones son grandes, se tiene que volver a efectuar la proyección reduciendo el número de iteraciones.

Se considera una matriz de tráfico inicial con las siguientes consideraciones:

$F_{ij}$  = flujo de tráfico que va de la central  $i$  a la central  $j$

$D_j^*$  =  $\sum_j F_{ij}$  es el tráfico de salida obtenido en la matriz.

$A_j^*$  =  $\sum_i F_{ij}$  es el tráfico de llegada obtenido en la matriz.

Por otra parte también se deben considerar las demandas de tráfico:

$D_i$  demanda de tráfico de salida de la central  $i$ ;  
 $\Lambda_j$  demanda de tráfico de llegada de la central  $j$ ;

A continuación se detallan cada una de las fases del algoritmo:

a) Normalización de las demandas de tráfico de llegada.

Los valores  $\Lambda_j$  se sustituyen por:

$$\Lambda_j' = \Lambda_j \frac{\sum_i D_i}{\sum_i \Lambda_i}$$

b) Cálculos de los tráficos de salida obtenidos de la matriz.

$$D_i^* = \sum_j F_{ij}$$

c) Multiplicación de todos los flujos de la matriz por un coeficiente propio a cada fila, para obtener las demandas de tráfico de salida  $D_i$  para cada fila. Para ello cada flujo  $F_{ij}$  se sustituye por el valor:

$$F_{ij} \cdot \frac{D_i}{D_i^*}$$

d) Cálculo de los tráficos de llegada obtenidos de la matriz.

$$\Lambda_i^* = \sum_j F_{ij}$$

e) Prueba de convergencia.

Si la diferencia máxima  $E$  entre la demanda de tráfico de llegada y el tráfico de llegada obtenido es inferior a un parámetro previamente determinado, se considera completo el algoritmo. De no ser así, hay que proseguir la operación.

f) Multiplicación de todos los flujos de la matriz por un coeficiente propio a cada columna, para obtener las demandas de tráfico de llegada  $\Lambda_j$  para cada columna. Para ello, se sustituye cada flujo  $F_{ij}$  por el valor:

$$F_{ij} \cdot \frac{\Lambda_j}{\Lambda_j^*}$$

Se prosiguen los cálculos, y se vuelve al algoritmo a partir de b).

## 2.7. EJEMPLO DE UNA RED TELEFÓNICA

### 2.7.1 ARQUITECTURA DE LA RED

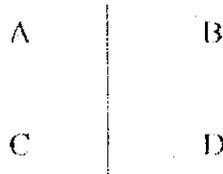
Con el fin de conseguir una estructura de red adecuada a los requerimientos del usuario, confiable, eficiente, económica, simple, funcional, flexible y ordenada, se ha ordenado la red telefónica que se va a ejemplificar en cuatro zonas:

Zona metropolitana  
 Zona nor-oriental  
 Zona sur

## Zona occidental

Cada una de las zonas constituye una región de tránsito interurbano. En el presente estudio se describirá únicamente la zona metropolitana.

La zona metropolitana la constituyen dos regiones: *urbana y suburbana*. Ésta se ha dividido en cuatro cuadrantes:



**Figura 2.8**  
Cuadrantes de la zona metropolitana

Cada cuadrante se considera una zona de tránsito local metropolitana y contiene varias áreas de central, las cuales se consideran áreas locales.

### 2.7.2 CENTROS DE TRÁNSITO Y LOCALES

Por la función que realizan las centrales de conmutación pueden ser básicamente de dos tipos:

1. **Local:** este tipo de central cursa tráfico que tiene por origen o destino abonados que se encuentran geográficamente dentro de la misma zona local.
2. **Tránsito:** este tipo de central cursa tráfico que ha sido generado por fuentes exteriores y que está destinado a otras centrales de conmutación.

A la combinación de los dos tipos anteriores de conmutación en una central se le denomina "central combinada".

#### 2.7.2.1 Niveles jerárquicos de una red telefónica

##### **NIVEL 1:**

**CENTRAL INTERNACIONAL:** es una central tránsito que tiene por función interconectar la red telefónica con el resto del mundo y realizar la tarificación de las llamadas que cursa.

##### **NIVEL 2:**

**CENTRAL INTERURBANA:** es una central tránsito que interconecta entre sí las centrales ubicadas en el área metropolitana con las centrales de las otras zonas geográficas. También interconecta estas últimas con las centrales internacionales y realiza la tarificación de las llamadas internacionales que cursa.

**NIVEL 3:**

*CENTRAL TRÁNSITO:* tiene por función interconectar las centrales locales metropolitanas, realizar la distribución de las llamadas locales con las centrales internacionales entrantes o salientes e interconectar las centrales locales metropolitanas con las centrales internacionales.

**NIVEL 4:**

*CENTRAL LOCAL:* tiene como funciones realizar la interconexión entre dos abonados de la misma área local, realizar la tarificación de las llamadas generadas e interconectar la red local con la red tránsito.

**2.7.2.2 Situación de la red telefónica metropolitana**

La red telefónica que se está ejemplificando se dividirá en cuatro planos jerárquicos:

a) Plano Internacional: en este plano se encuentran las siguientes centrales, Internacional I, Internacional II e Internacional III.

b) Plano Interurbano: dentro de este plano se encuentran cinco centrales interurbanas asociadas a las cuatro zonas geográficas en las cuales se encuentra dividido el país: Interurbana nor-oriental, Interurbana sur, Interurbana occidental, Interurbana metropolitana I e Interurbana metropolitana II.

c) Plano Tránsito: en el área metropolitana se encuentran cuatro centrales de tránsito asociadas a los cuatro cuadrantes en los cuales se encuentra dividida la región urbana: Central TA, Central TB, Central TC y Central TD.

En las zonas occidental, sur y nor-oriental se encuentran veintiún centrales ubicadas en las poblaciones de mayor importancia, para hacer tránsito entre las centrales de los poblados más pequeños con el resto de la red.

d) Plano Local: en este plano las centrales locales se encuentran agrupadas en cuatro cuadrantes como se muestra a continuación:



Existe dificultad en las centrales analógicas en la obtención de mediciones de tráfico y de operación interna de la central.

En una central analógica el ancho de banda de las señales está limitado a cuatro kilohertz, lo cual no permite la transmisión de señales de mayor ancho de banda.

Las centrales analógicas la adquisición de repuestos es prácticamente imposible, lo que se refleja en disminución de la calidad del servicio prestado.

La interconexión entre una central digital y una analógica requiere de equipos convertidores analógico-digital.

Las centrales digitales son capaces de cursar una cantidad mayor de tráfico debido a los tiempos de respuesta de los dispositivos electrónicos.

El consumo de potencia en una central digital es menor que en una central analógica bajo las mismas condiciones de operación.

La calidad de transmisión para las centrales digitales es alta, debido a que no se efectúa ninguna conversión A/D de la señal en los enlaces a lo largo de toda la conexión establecida, además que las señales son más inmunes a la diafonía y distorsión.

El empleo de elementos semiconductores en las centrales digitales se traduce en:

- Reducción del tamaño y peso de los equipos.
- Aumento de la capacidad de procesamiento.
- Aumento de la confiabilidad
- Disminución del costo.

Se hace factible la implementación de un Centro de Gestión de Red como centro de control global de todas las centrales digitales.

## **2.7.4 SEÑALIZACIÓN**

En la red telefónica ejemplificada, se emplea la señalización R2-D en su totalidad. A corto plazo se iniciará el uso de la señalización por canal común No. 7.

## **2.7.5 CRITERIOS DE ENRUTAMIENTO**

El plan de enrutamiento de la red metropolitana se basa en la estructura de la red. Esta estructura muestra como resulta más apropiado conectar los diferentes grupos de abonados mediante distintos tipos de rutas. En general, las limitaciones económicas las rutas que han de establecerse

### 2.7.5.1 Definiciones

#### 2.7.5.1.1 Rutas.

Una ruta es el conjunto de circuitos entre dos unidades de conmutación que son equivalentes a efectos de encaminamientos.

#### 2.7.5.1.2 Ruta directa.

Es el enlace de interconexión único entre dos centros de conmutación.

#### 2.7.5.1.3 Ruta de alto uso.

Vincula dos unidades de conmutación con posibilidad de desbordar excedentes de tráfico por una ruta alterna. No recibe desborde.

#### 2.7.5.1.4 Ruta final.

Une dos unidades de conmutación que poseen relación jerárquica entre sí, puede o no recibir desborde.

#### 2.7.5.1.5 Desborde.

Es la elección de una ruta alternativa cuando la ruta a tomar en primer intento no encuentra ningún circuito disponible.

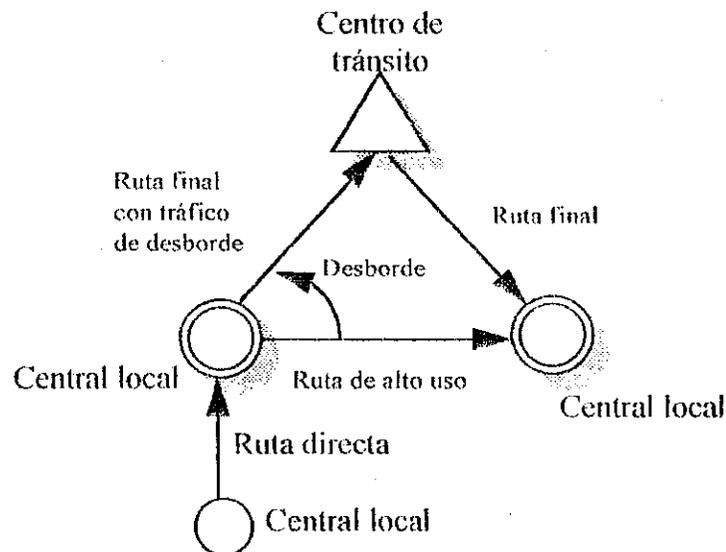


Fig 2.10  
Diferentes tipos de rutas

### 2.7.5.2 Criterios de enrutamiento:

El encaminamiento entre las centrales de la red telefónica metropolitana, se basa en los siguientes criterios:



**CRITERIO 1:**

Centrales del mismo edificio: se conectan a través de ruta directa

**CRITERIO 2:**

Entre centrales del mismo o diferente cuadrante, que cursen un tráfico:

a) mayor o igual a 21.8 Erl:

se conectan mediante ruta de alto uso.

b) menor a 21.8 Erl:

se enrutan a través de la(s) central(es) de tránsito correspondiente(s) mediante rutas finales.

**CRITERIO 3:**

Entre centrales del mismo o diferente cuadrante se conectan a través de las centrales de tránsito correspondientes mediante rutas finales.

### 3. TEORÍA Y MODELOS DE LA SIMULACIÓN

La simulación es una herramienta muy útil al diseñar un sistema; para el caso particular de una red telefónica permite analizar la carga de la red durante las horas de mayor tráfico, evaluar el grado de servicio que se le ofrece al usuario, predecir el impacto que nuevos servicios tendrían en la red y estudiar los recursos con que ésta última cuenta en caso fallase alguna de sus partes.

Para simular cualquier sistema es importante la construcción de modelos; un modelo es una representación simplificada del sistema que refleja sus particularidades y se utiliza para conocer el comportamiento del mismo. Existen dos tipos de modelos: matemáticos (especificados por medio de lenguaje matemático) y físicos (desarrollados con modelos a escala o prototipos).

En los modelos matemáticos dependiendo la forma en la cual varían las variables dependientes, la simulación puede ser:

*Simulación discreta:* cuando las variables dependientes cambian discretamente en el tiempo.

*Simulación continua:* las variables dependientes cambian continuamente con respecto al tiempo.

*Simulación combinada:* las variables dependientes pueden cambiar continua o discretamente con respecto al tiempo.

*Simulación de Monte Carlo:* en este tipo de simulación las distribuciones de probabilidad de las variables dependientes rigen el comportamiento del sistema.

Independientemente del tipo de modelo que se utilice durante la simulación éste debe caracterizarse por tener validez y credibilidad. Utilizar un programa especial de simulación permite el desarrollo del modelo de una red telefónica por medio del dibujo de su topología en la pantalla y la introducción de los parámetros necesarios para especificar la red. Esta opción requiere de la recopilación de datos de tráfico, el número de circuitos entre centrales y las tablas de enrutamiento. Al construir modelos para simular una red telefónica se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

#### 3.1 Tráfico telefónico

Debido a la naturaleza impredecible del tráfico y su variabilidad, se simula utilizando modelos de eventos aleatorios discretos. Como el tráfico se origina de

un número muy grande de fuentes, la generación de llamadas se caracteriza por comportarse como un proceso de Poisson, que consta de eventos independientes que ocurren aleatoriamente en el tiempo. Para modelar un proceso Poissoniano de generación de llamadas, se considera la distribución exponencial, debido que al usarla para caracterizar los tiempos entre arribos, resulta en un patrón caracterizado por la distribución exponencial. La distribución exponencial indica cada cuando ocurre un arribo, mientras que la distribución de Poisson dice cuantos arribos ocurren en un intervalo de tiempo.

El tiempo de duración de llamadas se distribuye exponencialmente, ya que entre más tiempo pase, menos probable es que continúe la llamada; o bien, al transcurrir mayor tiempo es más probable que termine la llamada. Utilizando esta distribución para describir el tiempo entre arribos, la duración de llamadas y el reintento de llamada se cumple con las suposiciones que se hacen al utilizar la fórmula de Erlang para la calidad de servicio.

### 3.2 Características de las centrales de conmutación

Las centrales representan fuentes y sumideros para el tráfico de la red, ejecutan funciones de conmutación de circuitos para establecer las llamadas o el tránsito cuando no existen rutas entre centrales.

Cada vez que un abonado genera una llamada, la central telefónica consulta el algoritmo de enrutamiento que está siendo utilizado y en base a éste establece la ruta que la llamada va a seguir. Si se tiene circuitos disponibles en la central para cursar la llamada y los enlaces de transmisión entre centrales no han fallado, una ruta estará disponible. Luego de establecer una conexión, se solicita a la central destino la información necesaria para determinar si la llamada hará tránsito. Cuando la conexión de la llamada no tiene éxito, el número de llamadas bloqueadas se incrementa, y la llamada es retirada del sistema.

La capacidad de conmutación de una central se modela asignándole un ancho de banda máximo, dependiendo de éste último, será la capacidad que la central posea para manejar llamadas. Cuando se genera una llamada, se ocupan 64 kbps de ancho de banda en la central y en los enlaces de transmisión durante el tiempo de duración de la llamada, este ancho de banda se libera con el término de la llamada.

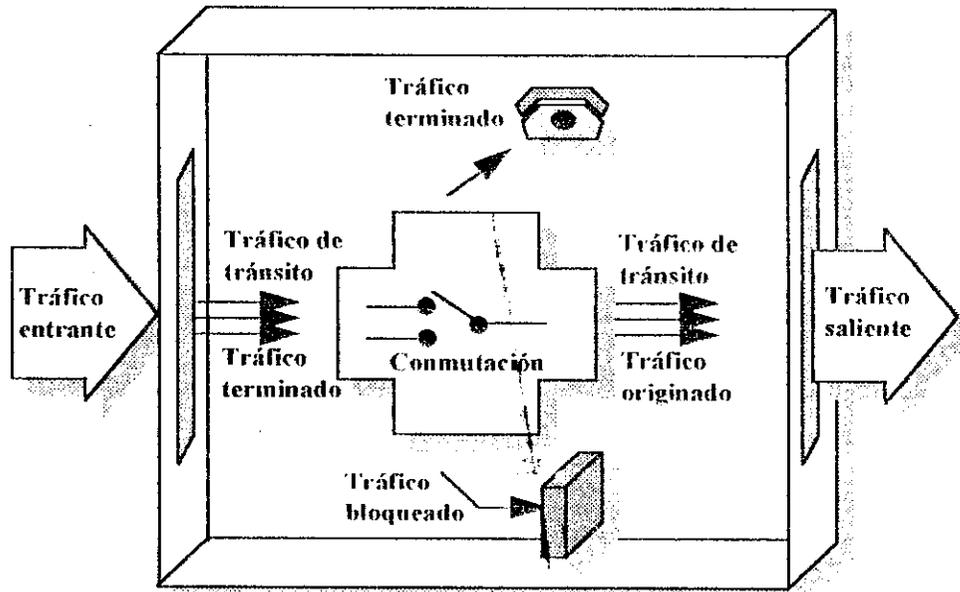


Figura 3.1  
Modelo de una central telefónica combinada (tránsito-local)

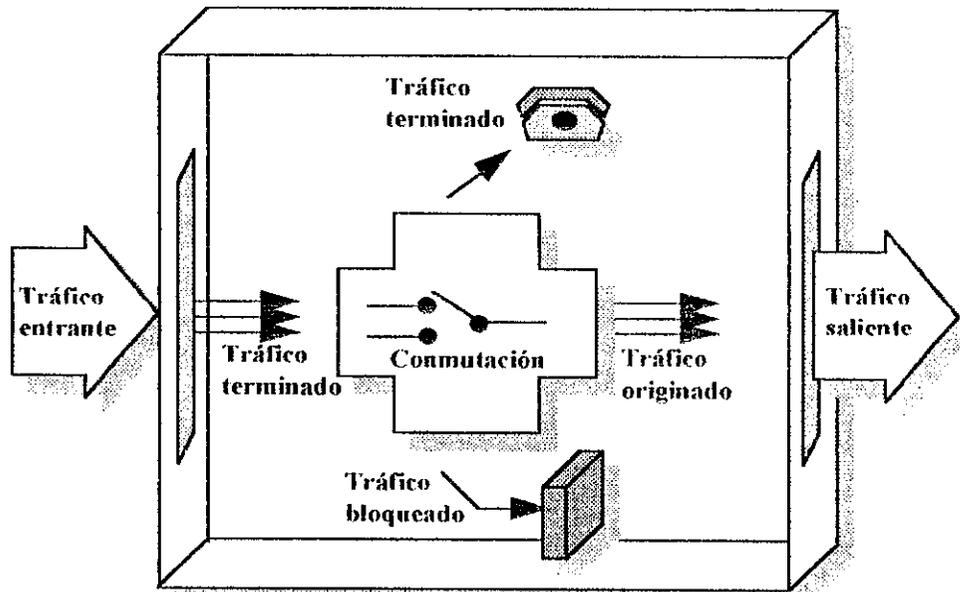


Figura 3.2  
Modelo de una central telefónica local

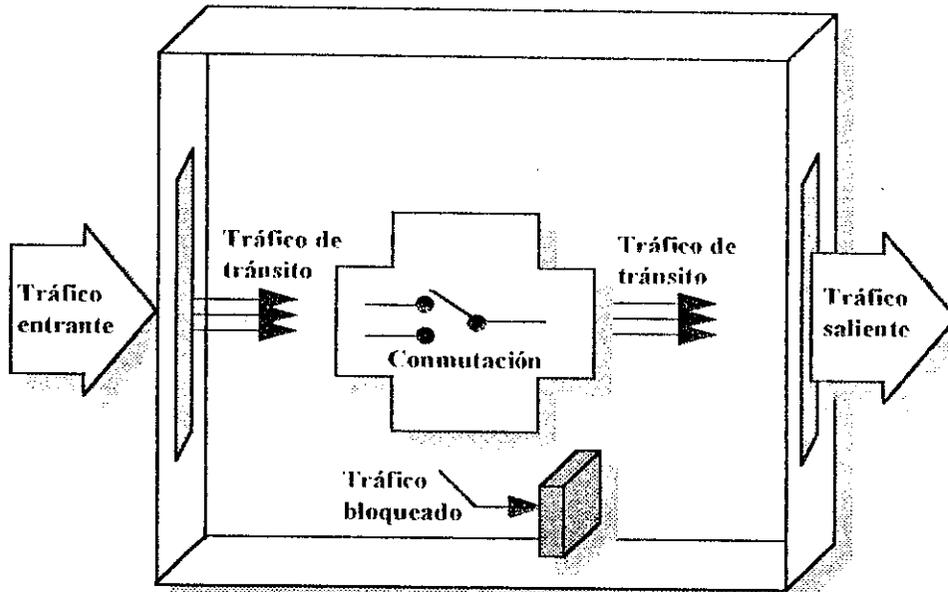


Figura 3.3  
Modelo de una central telefónica tránsito

### 3.3 Capacidad de los enlaces que conectan los nodos de conmutación

La función básica de un enlace punto a punto es la de conectar dos nodos de conmutación. Un enlace está compuesto de uno o más circuitos idénticos. El número de los circuitos que integran el enlace y el ancho de banda asignado a cada uno, definen la capacidad del enlace. Estos enlaces punto a punto llevan llamadas de un punto o central origen hacia el punto destino; son circuitos de cuatro hilos con operación completamente bidireccional. Cuando una llamada es cursada, el ancho de banda se decrementa en una cantidad igual al ancho de banda requerido por la llamada (64kbps). Cuando la llamada termina los recursos se recuperan en la red. Si no hay suficiente ancho de banda disponible cuando ocurre una llamada, ésta se pierde.

### 3.4 Algoritmos de enrutamiento

El enrutamiento define el flujo del tráfico a través de la red, desde su origen a su destino. Al modelar una red telefónica de voz es importante el ingreso de tablas de enrutamiento. Cuando durante el proceso de simulación ocurre una falla en algún enlace de la red, las tablas de enrutamiento deben ser actualizadas para reflejar las consecuencias de la falla.

Una alternativa al ingreso de tablas de enrutamiento durante la simulación, consiste en la utilización del algoritmo de camino mínimo, en el cual las tablas de rutas se calculan por ponderación durante intervalos especificados por el usuario.

del simulador; a los enlaces entre centrales se les asigna costos y se toma en cuenta la utilización de éstos. Al inicio de la simulación, todos los enlaces tienen un mismo costo, a menos que se especifique lo contrario, si un enlace está trabajando, pero no tiene suficiente capacidad para cursar una llamada, su costo sube al máximo. Después que el enlace se encuentra completamente ocupado hay un retardo hasta que se actualizan de nuevo las tablas de rutas; durante este retardo, los intentos de llamadas al enlace ocupado se ven bloqueadas, tomándose una ruta alterna si está disponible.

### 3.5 Topología de la red telefónica

La topología de la red está definida por los nodos de conmutación de la red y los enlaces que interconectan estos nodos. La forma en la cual se interconectan los nodos se ve reflejada en las tablas de enrutamiento.

La figura 3.4 muestra una red de tres centrales tomando el modelo de flujo de tráfico.

### 3.6 Criterios a considerar en el diseño de un experimento de simulación

Generalmente, cuando se diseña un modelo para representar un sistema, se pretende estudiar el comportamiento del sistema en su estado estable; sin embargo al inicio de una corrida de simulación se presentan estados transitorios no deseables, por lo que es aconsejable:

**Excluir una parte apropiada de la parte inicial de la corrida en el cálculo de las estadísticas del sistema, para que no influyan en el cálculo; con lo que se pretende excluir muestras del sistema desde cero, ya que las estadísticas se distorsionarían por bajos niveles de utilización y congestión durante el transitorio del sistema.**

**Utilizar un tiempo de corrida lo suficientemente grande para que los períodos transitorios sean relativamente insignificantes respecto a la condición de estado estable.**

**Utilizar simulación regenerativa. Consiste en inventar condiciones iniciales para un sistema y permitir que proceda la simulación durante algún tiempo; posteriormente tomar las condiciones finales de esta corrida como iniciales para la corrida siguiente.**

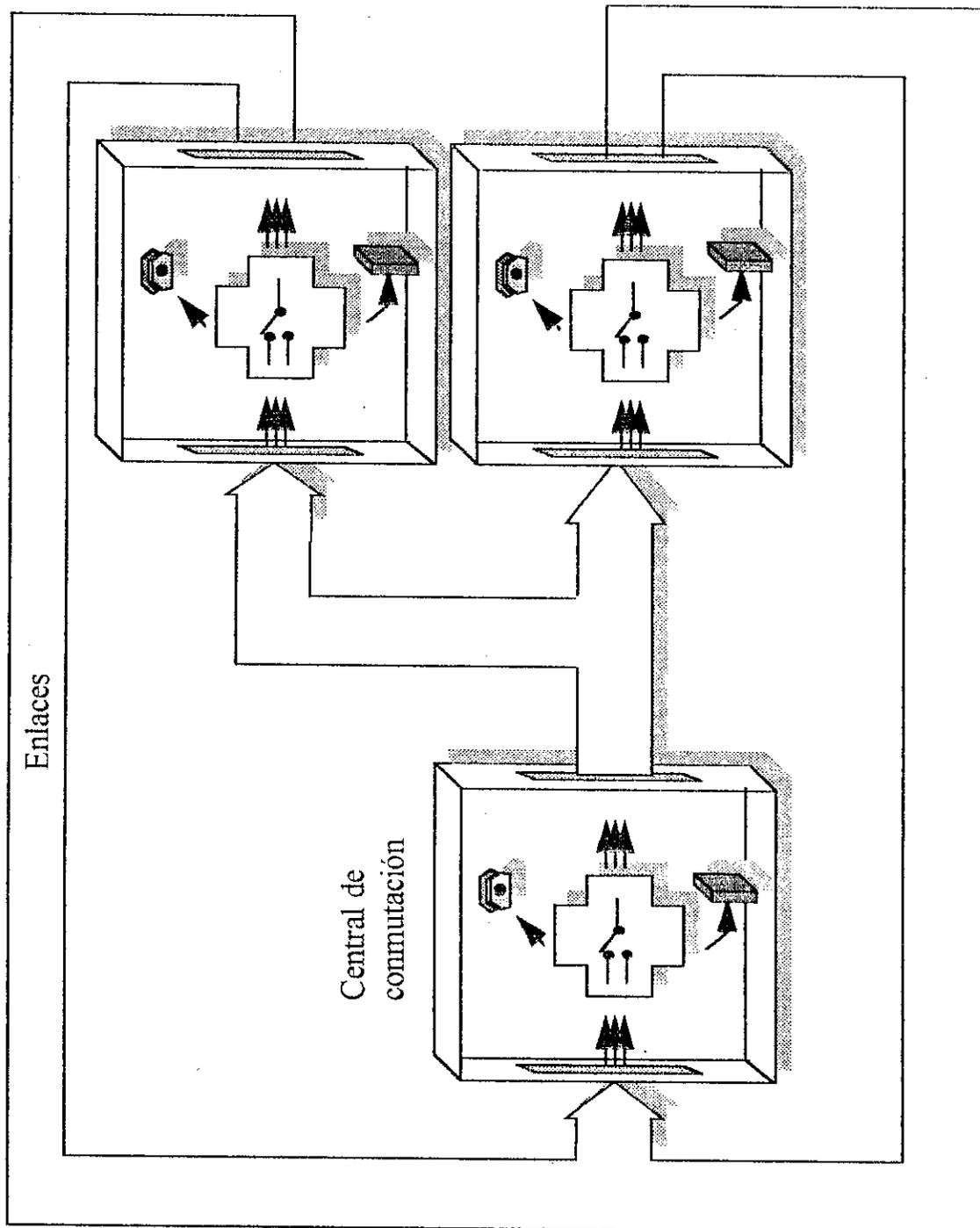


Figura 3.4  
Modelo de una red de voz

## 4. CASO DE APLICACIÓN

### 4.1 EL COMPUTADOR AL SERVICIO DE LA PLANIFICACIÓN DE REDES

En la etapa de diseño y planificación de redes existen procesos repetitivos con base matemática y que requieren mucho tiempo; por lo que la utilización de un computador resulta esencial y conlleva las siguientes ventajas:

- Mayor confiabilidad.
- Mayor rapidez de operación
- Mejor utilización de la mano de obra.

Por tales ventajas se ha desarrollado en el mercado programas de utilización general que incluyen:

- a) Generación de datos primarios (previsión de una matriz de tráfico, etc).
- b) Optimización de la estructura de la red y su dimensionamiento (dimensionamiento de la red de circuitos de enlace, con o sin encaminamiento alternativo, determinación de la estructura jerárquica de la red, etc.).
- c) Optimización y dimensionamiento para la planificación física (planificación de redes principales y locales de cables, etc)

No obstante el desarrollo de los programas descritos con anterioridad, es difícil la selección de uno que esté comercialmente disponible, ya que éstos tienen diferentes orígenes y debe advertirse que programas diseñados para realizar tareas idénticas pueden producir resultados diferentes. Por este motivo muchas administraciones optan por desarrollar sus programas de acuerdo a sus necesidades específicas.

A continuación se subraya la estructura y aspectos característicos del programa desarrollado para poder llevar a cabo el análisis de sensibilidad de la red; basándose en la característica que tiene los programas de computadora de estudiar un mayor número de soluciones variando ciertos parámetros de entrada.

**PROGRAMA:** diseño de una red de circuitos de enlace con o sin encaminamiento alternativo.

**Entrada:**

- a) Matriz de tráfico
- b) Tecnología de las centrales
- c) Señalización de las centrales
- d) Ubicación geográfica.

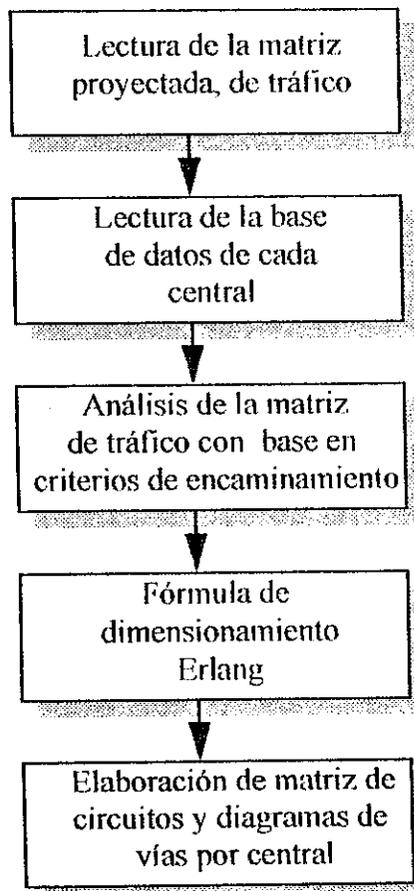


- e) Area a la que pertenecen las centrales.
- f) Número de centros de tránsito
- g) Principios de encaminamiento.

**SALIDA:**

- 1) Capacidad de las rutas directas y de tránsito con sus correspondientes niveles de tráfico.
- 2) Capacidad de los centros de tránsito.

En la figura 4.1 se muestra el flujo que sigue el programa de dimensionamiento. Primero se leen los datos de archivos de texto, a continuación se llama a una rutina que contiene el algoritmo de enrutamiento, el cual redistribuye el tráfico para luego aplicarse la fórmula de Erlang para dimensionar los circuitos. El resultado es la generación de los diagramas de vías de cada central y de un archivo tipo texto que contiene la matriz de circuitos.



**Figura 4.1**  
**Diagrama de flujo del programa de dimensionamiento**

Para llevar a cabo el análisis de la matriz de tráfico, se consideró una matriz de  $i$  filas y  $j$  columnas. Se aplicó el algoritmo de enrutamiento, que se muestra en la figura 4.2, para cada uno de los datos.

El programa de dimensionamiento considera también casos de falla de centrales tránsito; y re enruta automáticamente el tráfico, a través de la central tránsito declarada como segunda opción por el usuario en el archivo que contiene la base de datos de las centrales, cuando la central tránsito declarada como primera opción se encuentra con falla.

Para conocer detalle del programa referir al anexo 1, en el cual se muestra el listado del programa fuente.

## 4.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE UNA RED TELEFÓNICA, CON EL USO DE UN PROGRAMA DE DIMENSIONAMIENTO.

Para realizar este análisis se contruyó una red telefónica de 10 centrales correspondientes a tres diferentes áreas y se ingresó al programa de dimensionamiento la base de datos que se muestra en la tabla 4.1 y la matriz de tráfico proyectada de la tabla 4.2.

BASE DE DATOS										
*	Nombre	Tecnología	Ubicación	Área	Enr.1	Enr2.	Tipo	Funciona	Señalización	Fabricante
A	A	Dig.	Zona 1	Norte	-----	-----	Tránsito	si	7	Ericson
AI	AI	Analog.	Zona 4	Norte	A	B	local	si	2	NC-400
AII	AII	Digital	Zona 5	Norte	A	B	local	si	2	Siemens
B	B	Digital	Zona 9	Centro	-----	-----	Tránsito	si	7	NT
BI	BI	Digital	Zona 10	Centro	B	C	local	si	7	Siemenss
BII	BII	Digital	Zona 14	Centro	B	C	local	si	7	NEC
C	C	Digital	Zona 12	Sur	-----	-----	Tránsito	si	7	ATT
CI	CI	Analog.	Zona 11	Sur	C	A	local	si	2	NC-400
CII	CII	Digital	Zona 11	Sur	C	A	local	si	7	Ericson
CIII	CIII	Digital	Zona 8	Sur	C	A	local	si	7	NT

\*\*

Tabla 4.1  
Base de datos Red Prototipo

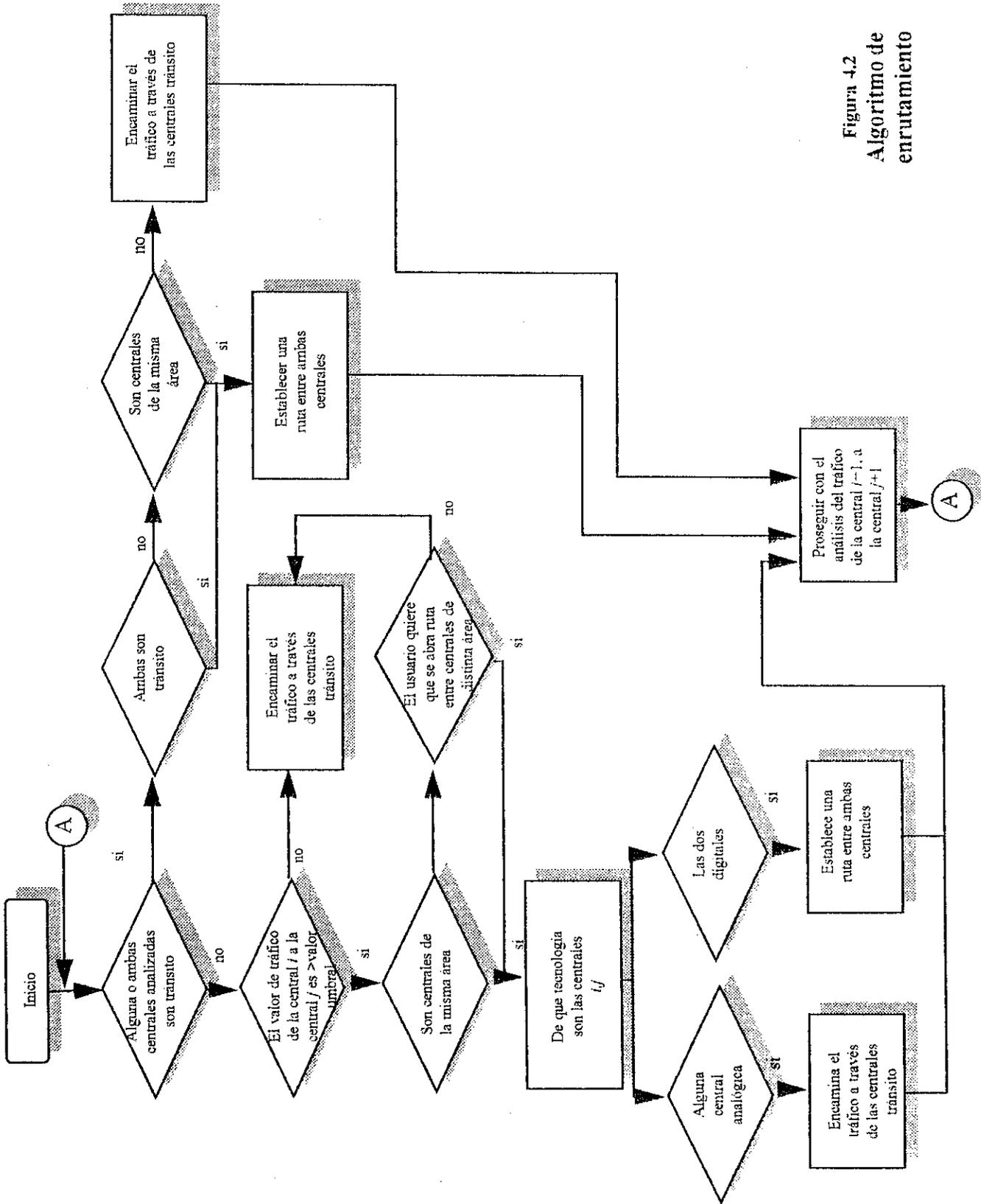


Figura 4.2  
Algoritmo de enrutamiento

## MATRIZ DE TRÁFICO

*	A	AI	AII	B	BI	BII	C	CI	CII	CIII
A	89	94.4	183.4	133.3	94.4	24	49	18	94.4	42.3
AI	70.3	27.9	45	76	27.9	35	62	14	27.9	50.1
AII	92	81.5	67.1	122.8	38	20	28	36	81.5	63.5
B	133	183.4	99	58.9	81.5	65	12	25	183.4	28.6
BI	82	74.4	31.3	123	53	42	8	52	74.4	17.4
BII	30.5	76	26	38	20.8	70.3	35	41	76	8.5
C	10	14.4	45	51	36	42	42	20	14.4	60.3
CI	14.2	15.2	76	26	28	50.5	29	19	15.2	12.4
CII	21	28.4	70.1	45	47	20.4	30	15	28.4	90.6
CIII	12	30.4	67.6	30	61.3	12	14.4	11	30.4	13

\*\*

**Tabla 4.2**  
**Matriz de tráfico proyectado**

Una vez ingresada esta información se corrió el programa de dimensionamiento, indicando en el mismo la posibilidad de abrir rutas entre centrales de diferentes área, cuando el tráfico así lo ameritara y siguiendo los criterios de enrutamiento que se mencionan a continuación:

- Las centrales analógicas encaminan su tráfico a través de la central tránsito de su área.
- Las centrales ubicadas dentro de un mismo edificio establecen rutas entre ellas.
- Las centrales de tecnología digital abren ruta entre sí, cuando el tráfico entre ambas es mayor a 21.8 erlangs.
- Las centrales tránsito abren ruta con las centrales de su área y con las otras centrales tránsito.

Los resultados obtenidos del programa para conseguir una probabilidad de bloqueo del 1%, son la matriz de circuitos de la tabla 4.3, los diagramas de vías de cada central y la topología de red que se muestra es la figura 4.3

## MATRIZ DE CIRCUITOS

	A	AI	AII	B	BI	BII	C	CI	CII	CIII
A		1080	900	1260			744			
AI										
AII					120	60			210	180
B					660	521	750			
BI						92			155	120
BII									122	
C								540	496	360
CI									60	
CII										150
CIII										

**Tabla 4.3**  
**Matriz de circuitos**

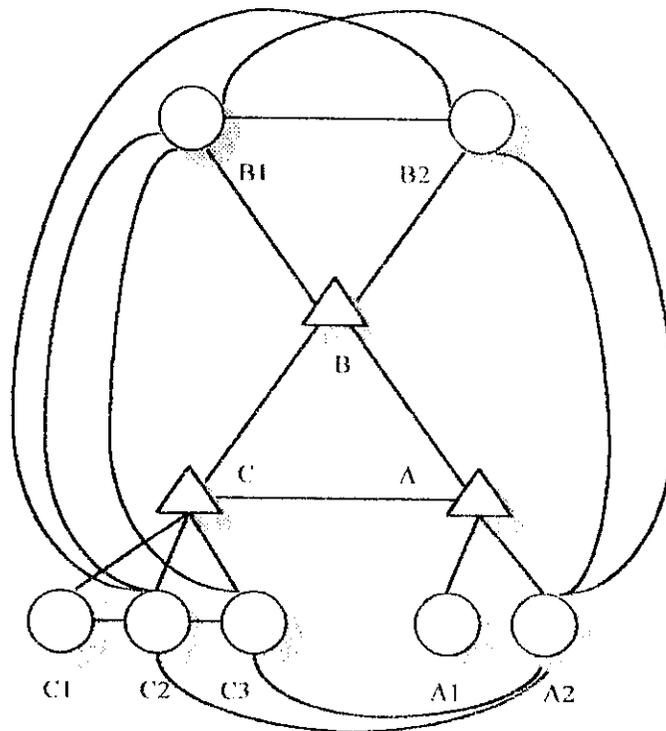


Figura 4.3  
Topología de red prototipo

Con el objeto de observar el efecto del cambio de un parámetro básico de la red, se corrió nuevamente el programa de dimensionamiento con la variante de declarar la central tránsito *A* como dañada. Se ingresaron como base de datos de entrada, la información que se encuentra en la tabla 4.4 y la matriz de tráfico de la tabla 4.2

**BASE DE DATOS**

*	Nombre	Tecnología	Ubicación	Área	Enr.1	Enr.2.	Tipo	Funciona	Señalización	Fabricant
A	A	Dig.	Zona 1	Norte	-----	-----	Tránsito	no	7	Ericson
A1	A1	Analog.	Zona 4	Norte	A	B	local	si	2	NC-400
A11	A11	Digital	Zona 5	Norte	A	B	local	si	2	Siemens
B	B	Digital	Zona 9	Centro	-----	-----	Tránsito	si	7	NT
B1	B1	Digital	Zona 10	Centro	B	C	local	si	7	Siemens
B11	B11	Digital	Zona 14	Centro	B	C	local	si	7	NEC
C	C	Digital	Zona 12	Sur	-----	-----	Tránsito	si	7	ATT
C1	C1	Analog.	Zona 11	Sur	C	A	local	si	2	NC-400
C11	C11	Digital	Zona 11	Sur	C	A	local	si	7	Ericson
C111	C111	Digital	Zona 8	Sur	C	A	local	si	7	NT

Tabla 4.4  
Base de datos considerando la central tránsito *A* fuera de servicio

Los resultados obtenidos del programa de dimensionamiento considerando este cambio se muestran en la siguiente sección.

## **4.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE UNA RED TELEFÓNICA, CON EL USO DE UN PAQUETE DE SIMULACIÓN DE REDES**

Al igual que con el programa de dimensionamiento, se hizo un estudio del comportamiento de la red de la figura 4.3, utilizando un simulador de redes de telecomunicaciones y teleinformática. Para introducir los datos del modelo en el simulador, se necesitó la matriz de tráfico punto a punto la tabla 4.2 y la matriz de circuitos de la tabla 4.3. El tráfico se transformó a llamadas por segundo utilizando la fórmula de Little. Las tablas de rutas para cada central, se obtuvieron de los diagramas de vías resultantes del programa de dimensionamiento.

Una simulación detallada de la red de conmutación requiere de gran cantidad de información y se dificulta por las limitaciones de procesamiento, como lo son el tamaño de memoria y el tiempo de ejecución de los programas. Al simular la red se hicieron las siguientes simplificaciones.

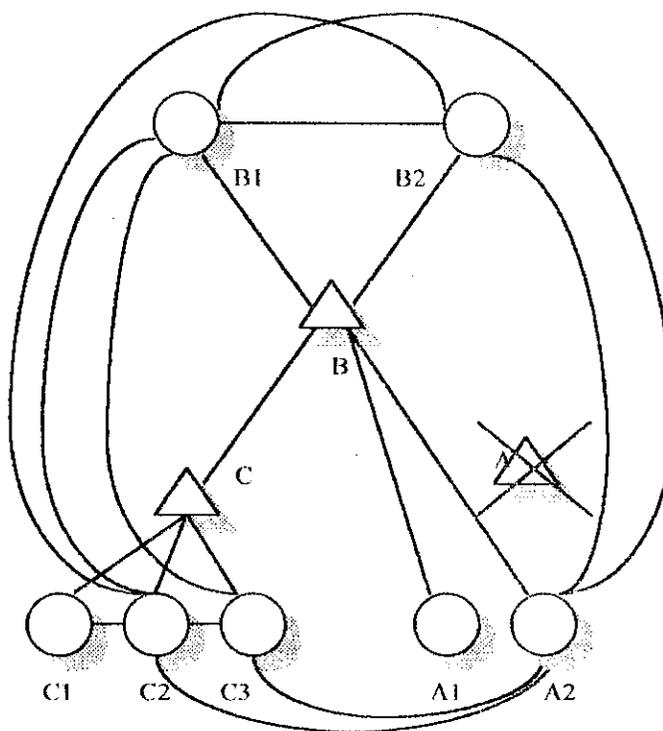
- a) Retardos de propagación de cero segundos para la transmisión por los enlaces, ya que las distancias consideradas son menores de 100 Km.
- b) No se toma en cuenta el tiempo de establecimiento de llamada (500 milisegundos) por ser despreciable en comparación con el tiempo de duración de la llamada (120 segundos).
- c) El tráfico interurbano, internacional y móvil no se incluyen en el modelo.
- d) No se consideran señalizaciones ni el retardo por la misma.
- e) Se toma un precalentamiento de 20 segundos para reducir transitorio.

Con un precalentamiento de 30 segundos se simuló la hora pico para la red telefónica de la figura 4.3; posteriormente se declaró la central tránsito A en estado de falla y se realizaron tres corridas más en el simulador con esta condición. Para cada una de las corridas se ingresaron la matriz de circuitos de las tablas 5.1, 5.2 y 5.3 respectivamente, en las cuales se consideró reenrutar el 40%, 100% y 0% del tráfico tránsito de la central A, a través de la central tránsito declarada como segunda opción con la base de datos.

# 5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del programa de dimensionamiento al analizar la red telefónica de la figura 4.3 con la central tránsito *A* fuera de servicio, se muestran en la matrices de circuitos de las tabla 5.1, 5.2 y 5.3.

El programa de dimensionamiento fué diseñado para que en caso de falla de una central tránsito, el tráfico cursado por esta central se reenrutara a través de otra central tránsito elegida por el usuario; en la tabla 5.1 se observa el equipamiento necesario para reenrutar el 40% del tráfico tránsito de la central *A* a través de la central *B*, en la tabla 5.2 se considera reenrutar el 100% y en la tabla 5.3 el 0%. Para este último caso, el tráfico saliente y entrante hacia la central *A1* sería bloqueado, al igual que el tráfico entrante y saliente de la central *A2* a las centrales *B, C* y *C1*.



**Figura 5.1**  
Topología de la red prototipo considerando la central *A* fallada y reenrutando un % del tráfico tránsito de *A* a través de *B*

**MATRIZ DE CIRCUITOS**

	A	AI	AII	B	BI	BII	C	CI	CII	CIII
A										
AI				420						
AII				300	120	60			210	180
B					420	398	930			
BI						92			155	120
BII									122	
C								420	341	240
CI									60	
CII										150
CIII										

**Tabla 5.1**  
**Matriz de circuitos al considerar la central tránsito A con falla, y**  
**reenrutando el 40% de su tráfico tránsito**

**MATRIZ DE CIRCUITOS**

	A	AI	AII	B	BI	BII	C	CI	CII	CIII
A										
AI				930						
AII				630	120	60			210	180
B					480	460	1200			
BI						92			155	120
BII									122	
C								510	372	300
CI									60	
CII										150
CIII										

**Tabla 5.2**  
**Matriz de circuitos al considerar la central tránsito A con falla, y**  
**reenrutando el 100% de su tráfico tránsito**

**MATRIZ DE CIRCUITOS**

	A	AI	AII	B	BI	BII	C	CI	CII	CIII
A										
AI										
AII					120	60			210	180
B					360	337	750			
BI						92			155	120
BII									122	
C								360	310	210
CI									60	
CII										150
CIII										

**Tabla 5.3**  
**Matriz de circuitos al considerar la central tránsito A con falla, y**  
**reenrutando el 0% de su tráfico tránsito**



Para considerar la veracidad de los resultados obtenidos por el programa de dimensionamiento se simuló la red telefónica prototipo tres veces, distinguiéndose cada corrida por:

**1a. corrida:**

Todas las centrales de la red telefónica se encuentran funcionando y con las características de las tablas 4.1, 4.2 y 4.3.

**2a. corrida:**

La central tránsito A se encuentra fallada pero no se considera el enrutamiento alternativo de la figura 5.1

**3a. corrida:**

La central tránsito A se encuentra con falla y se considera el reenrutamiento propuesto por la figura 5.1 y la matriz de circuitos de la tabla 5.1.

Al realizar la primera corrida del modelo en el simulador se obtuvo una calidad de servicio promedio igual a 0.00971 (~1%).

Durante la segunda corrida de la simulación se obtuvieron los siguientes resultados:

- a) El porcentaje de llamadas completadas desde y hacia los abonados de la central A1 igual a 0% (se excluye el tráfico interno).
- b) El porcentaje de llamadas completadas desde y hacia los abonados de la central A2 igual a 34.9 %.

Finalmente, para la tercera corrida se tiene:

- a) El porcentaje de llamadas completadas desde y hacia los abonados de la central A1 igual a 39.5% .
- b) El porcentaje de llamadas completadas desde y hacia los abonados de la central A2 igual a 55.6 %.
- c) El porcentaje de tráfico tránsito reenrutado igual a 45.8 %.

## **5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS ANTE DISTINTAS CONDICIONES DE TRÁFICO CURSADO EN LA RED PROTOTIPO.**

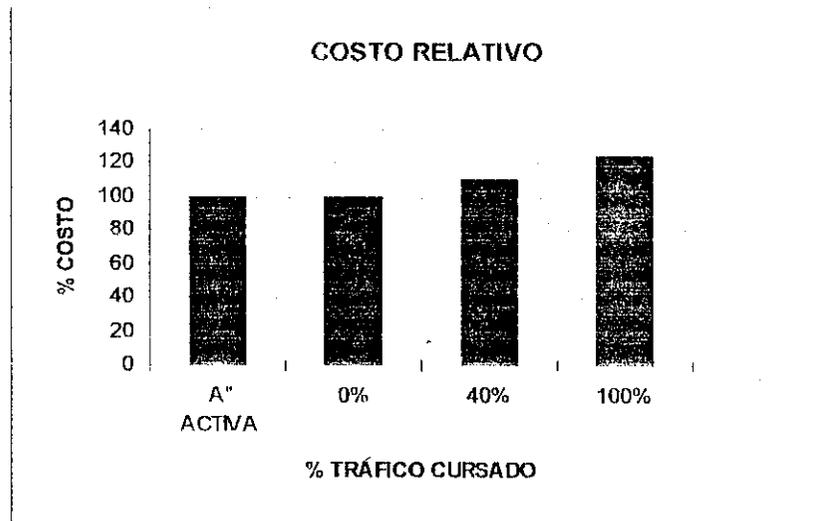
Para poder concluir, se debe de partir de la premisa que todo el equipo ya instalado de la red, incluso la central tránsito A, ha sido adquirida y la inversión se hizo. Con esto queremos decir que el impacto económico se verá afectado en costo extra al base que correspondió a la inversión original.

En el caso a), que presenta 0% tráfico cursado, observando los resultados de la tabla 5.3 se puede entender una disminución de los circuitos necesarios, condición que representa una baja de eficiencia de la red completa y una subutilización de los circuitos disponibles.

Para el caso b), 40% del tráfico cursado, se pueden observar los resultados en la tabla 5.1. Representa implementación de ciertas rutas alternas que se mantendrán en *standby*, durante la operación normal y entrarán a funcionar en el caso de falla en la central tránsito A. La eficiencia de la red no disminuye a los límites del caso a), y logra mantener un tráfico cursado de buen nivel. Desde el punto de vista económico representa el incremento del 10.5% adicional al costo base inicial que representa la red.

Desde el punto de vista de la condición c), 100% del tráfico cursado, la eficiencia de la red se mantiene ante cualquier falla en la central tránsito A. Sin embargo, se debe disponer equipo que no trabajará hasta que esa falla se de en dicha central. Aquí se debe de considerar el costo extra de la implementación, la que representa el 23.42 % adicional al costo base inicial y la subutilización que este equipo tendrá.

Se debe de evaluar la importancia y prioridad que ciertas centrales puedan tener para poder optar a porcentajes muy altos de tráfico cursado en casos de falla. Se apoya el criterio del 40%, para el cual se presentan mejores condiciones en la evaluación técnica y económica del diseño de la red.



**Figura 5.2**  
Gráfica comparativa de situaciones de tráfico contra % de costo

## CONCLUSIONES

- 1.- Del desarrollo creciente de las redes de telecomunicaciones, nace la necesidad de utilizar computadores como herramienta indispensable, los cuales ejecutan programas o paquetes de simulación y con ello ayudan a la planificación, optimización y desarrollo de las mismas.
- 2.- Para dimensionar una red hay que utilizar procesos iterativos, que brinden la optimización de la red en función de tráfico entre centrales.
- 3.- Las limitaciones que una simulación imponen al momento de su ejecución están compuestas por requerimientos de: hardware de la computadora empleada, parametrización de condiciones, idealización de las mismas y complejidad de la red.
- 4.- Para el caso del bloqueo del haz final de circuitos, en la práctica el valor del grado de servicio se establece dependiendo de la posición jerárquica que ocupan los haces de circuitos dentro de la red.
- 5.- Con el fin de obtener los mejores resultados en la corrida de cualquier programa o paquete de simulación se deben de tomar en consideración lo siguiente: excluir la parte inicial en el cálculo de las estadísticas del sistema, utilizar un tiempo de corrida lo suficientemente grande para minimizar influencia de transitorios y emplear simulación regenerativa.
- 6.- Como resultado de la simulación, el valor obtenido de tráfico tránsito reenrutado fue de 45.8%. El valor de este parámetro que utilizó el programa de dimensionamiento era de 40%. Este incremento en el porcentaje se justifica debido al redondeo en el número de circuitos en las rutas hacia centrales digitales (debido a la utilización de modulación por códigos de pulsos, PCM).
- 7.- Tomar en consideración la importancia y prioridad que ciertas centrales puedan tener para poder optar a porcentajes más altos de tráfico cursado en casos de falla. Se apoya el criterio del 40%, para el cual se presentan mejores condiciones en la evaluación técnica y económica del diseño de la red.

## RECOMENDACIONES

- 1.- Utilizar paquetes de simulación y programas de dimensionamiento que sean fácilmente ajustables a las necesidades que las redes de telecomunicaciones de Guatemala presentan, para lograr resultados que nos brinden la mayor exactitud, rapidez de operación y confiabilidad.
- 2.- Implementar planes que involucren la recolección y muestreo de datos que son necesarios para la utilización de programas que pueden llegar a ser de una alta precisión. Los programas más sencillos emplean menos datos pero ofrecen soluciones parciales o temporales.
- 3.- Desarrollar evaluaciones técnicas y económicas para la implementación de rutas alternativas en caso de falla en centrales tránsito. Esto para aumentar el porcentaje de llamadas efectivas.
- 4.- Emplear la herramienta de la simulación y los programas de dimensionamiento para determinar los índices y parámetros muy particulares que la sensibilidad de cada red imponen para su crecimiento y modernización.
- 5.- Continuar con el análisis de sensibilidad de redes telefónicas haciendo uso de programas de simulación orientadas a la transmisión con sus respectivos modelos e implicaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.-JONES, Jeffrey Genes. **Modeling and Simulation with COMNET III Course Notes.**  
Arlington, VA, U.S.A.: s.p.i., 1,993. 200pp
- 2.-LAW, Averill M. et. al. **Simulation Modeling & Analysis.**  
New York, USA.: McGraw-Hill. 1,991. 759pp.
- 3.-MILLS, Robb. **Modeling and Simulation with COMNET II.5 Course Notes.**  
La Jolla, CA, U.S.A.: s.p.i., 1,992 200pp.
- 4.-MINA, Ramses R. **Introduction to Teletraffic Engineering.**  
Chicago, U.S.A.: Telephony Publish Corporation, s.f. 120pp.
- 5.-TOCHER, K.D. **The Art of Simulation.**  
Inglaterra : The English Universities Press, Ltd., 1,963. 182pp.
- 6.-CACI. **COMNET III User's Manual(Beta).**  
La Jolla, CA, U.S.A.: s.p.i., 1,994 133pp.
- 7.-SIEMENS. **Teoría del tráfico telefónico, tablas y diagramas.**  
Berlin: Siemens Aktiengesellschaft, s. f. 417 pp.
- 8.-CCITT. **Planificación General de la Red.**  
Ginebra: Unión Internacional de Telecomunicaciones, 1,983.
- 9.-PONCE CH., JACOBO E. **Teoría de Simulación y su Aplicación a la Red Telefónica Metropolitana de Guatemala.**  
Guatemala, USAC, EIME. Tesis de Graduación, 1,994

# ANEXO I

PROGRAM Tesis;

SES WINCRT;

DNST

ancho=9;  
wide=15;  
max=50;  
maxrutas=max\*max;  
escape=CHR(27);  
Umbral=21.4;  
Gos=0.01;  
Porcentaje\_de\_tráfico=0.4;

Título=1;  
TítuloItalic=4;  
Info=2;  
Gráfica=3;

/PE

REGLO= ARRAY[1..max] OF STRING[wide];

VAR

ch:char;  
Quiere\_el\_usuario:boolean;  
ruta:string;  
qpro1{archivo tráfico},qpro2{archivo circuitos},qpro3{archivo base datos}: TEX  
columna:ARRAY [1..max] OF STRING[ancho];  
posición:ARRAY[1..5] OF INTEGER;  
datos,circuitos:ARRAY[1..max,1..max] OF single;  
tráfico\_Interno: array[1..max] of Single;  
cadena,name,nombre2:STRING;  
subcadena:STRING[ancho];  
criterio:single;  
markx,marky,i,j,k,error,tope, troncales,número,tránsito:INTEGER;  
Nombre:Array[1..max] of string[40];  
Mnemonic:array[1..max] of string [wide];  
señalización:arreglo;  
tecnología:array [1..max] of char;  
ubicación,área:array [1..max] of string[30];  
enrutamiento1,enrutamiento2:arreglo;  
Tránsito1,Tránsito2:array [1..max] of integer;  
TipoCentral:array [1..max] of char;  
Funciona:array [1..max] of char;  
Fabricante:array [1..max] of string [wide];  
  
número\_de\_Centrales\_malas:integer;  
N\_Tránsito\_Malas:integer;  
Caracteres\_por\_línea:word;  
Líneas\_impresas:integer;  
Central\_A\_Imprimir:integer;  
conteo:integer;  
t:text;

```

Data:array[1..max] of string[30];
Ndata      :Integer;
Ndatos     :Integer;
Name_Arch  :String[13];
Línea     :String;

Co,Cd      :Integer;

NRUTAS:Integer;
RUTAS:ARRAY [1..MaxRutas,1..4] of byte;

```

```

FUNCTION SinBlancos(ss:string):string;
Var Ncc:integer;
    Rss:string;
BEGIN
    Rss:='';
    for Ncc:=1 to length(ss) do
        if ss[Ncc]<>' ' then Rss:=Rss+ss[Ncc];
    SinBlancos:=Rss;

```

```

END;
FUNCTION Mayúsculas(ss:string):string;
var ncc:integer;
    Rss:string;
begin
    Rss:='';
    for ncc:=1 to length(ss) do
        Rss:=Rss+Uppcase(ss[ncc]);

    Mayúsculas:=Rss;
end;

```

```

PROCEDURE LLENAR_MATRIZ;

```

```

var
    ss:string;
    rr:real;
    err:integer;
BEGIN
    Inc(tope);
    for j:=2 to Ndata do
        begin
            ss:=SinBlancos(Data[j]);
            val(ss,rr,err);
            if err <> 0 then
                begin
                    writeln('! Error en la posición: [' ,Tope,',',j-1,'].');
                    writeln('del archivo: ',name_arch);
                    halt(0);
                end;
            DATOS[ Tope , j-1 ]:=RR;
        end;
    END;

```

```

PROCEDURE LLENAR_VECTORES;

```



```

var
  ss:string;
BEGIN
  Inc(Ndatos);
  Mnemonic[Ndatos]:=SinBlancos(Mayúsculas(data[1]));
  Nombre[Ndatos]:=data[2];
  SS:=sinBlancos(data[3]);
  tecnología[Ndatos]:=UpCase(ss[1]);
  ubicación[Ndatos]:=SinBlancos(Mayúsculas(data[4]));
  área[Ndatos]:=SinBlancos(Mayúsculas(data[5]));
  Enrutamiento1[Ndatos]:=sinblancos(Mayúsculas(data[6]));
  Enrutamiento2[Ndatos]:=sinblancos(Mayúsculas(data[7]));
  SS:=sinBlancos(data[8]);
  TipoCentral[Ndatos]:=UpCase(ss[1]);
  SS:=sinBlancos(data[9]);
  Funciona[Ndatos]:=UpCase(ss[1]);
  señalización[Ndatos]:=sinblancos(Mayúsculas(data[10]));
  Fabricante[Ndatos]:=SinBlancos(Mayúsculas(data[11]));

  { validar datos }

```

```
END;
```

```
PROCEDURE SEPARAR;
```

```
Var
```

```
  nc:integer;
```

```
BEGIN
```

```
  ndata:=1;
```

```
  for nc:= 1 to Max do data[nc]:='';
```

```
  for nc:= 1 to length(Línea) do
```

```
    begin
```

```
      if (Línea[nc]='.') then inc(ndata)
```

```
      else data[ndata]:=data[ndata]+Línea[nc];
```

```
    end;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE Leer_Archivo_y_Obtener_Datos;
```

```
BEGIN
```

```
  Assign(T,Name_Arch);
```

```
  {$i-}
```

```
  Reset(T);
```

```
  {$i+}
```

```
  if ioreult <> 0 then begin
```

```
    writeln(' No existe el archivo de Datos: ',name_arch)
```

```
    halt(0);
```

```
  end;
```

```
  Data[1]:='!';
```

```
  While (Not EOF(T)) and (SinBlancos(data[1])<>'*') do
```

```
    begin
```

```
      ReadLn(T,Línea);
```

```
      separar;
```

```
    end;
```

```
  if data[1]<>'*' then begin
```

```

        writeln('Error en Archivo');
        writeln('No encuentro la Línea (*)');
        halt(0);
    end;

Tope:=00;
While (Not EOF(T)) and (SinBlancos(data[1])<>'**') do
begin
    ReadLn(T,Línea);
    Separar;
    If SinBlancos(data[1]) = '**' then Llenar_Matriz;
end;
if sinBlancos(data[1])<>'**' then begin
    writeln('Error en archivo');
    writeln('No encuentro la Línea (**) ');
    halt(0);
end
else writeln('archivo leído...');

Close(T);
END;

PROCEDURE Leer_Archivo_Base_Datos;
BEGIN
    Assign(T,Name_Arch);
    {$i-}
    Reset(T);
    {$i+}
    if ioresult <> 0 then begin
        writeln(' No existe el archivo :',name_arch);
        halt(0);
    end;

    Data[1]:='';

    While (Not EOF(T)) and (SinBlancos(data[1])<>'*') do
    begin
        ReadLn(T,Línea);
        separar;
    end;

    if data[1]<>'*' then begin
        writeln('Error en Archivo');
        writeln('No encuentro la Línea (*)');
        halt(0);
    end;

    NDatos:=0;
    While (Not EOF(T)) and (SinBlancos(data[1])<>'**') do
    begin
        ReadLn(T,Línea);
        Separar;
        if SinBlancos(data[1])<>'**' then LLenar_Vectores;
    end;
    if sinBlancos(data[1])<>'**' then begin
        writeln('Error en archivo');
        writeln('No encuentro la Línea (**) ');

```

```

                halt(0);
            end
            else writeln('archivo leído...');
        }
    }
close(T);
ND;

PROCEDURE Convertir_Mnemonico_a_numero;
BEGIN
    For i:= 1 to Tope do
    begin
        if TipoCentral[i]<>'T' then
        begin
            j:=1;
            while (enrutamiento1[i]<>mnemonic[j]) and (j<=Tope) do inc(j);
            if j>tope then begin
                writeln('! Error en enrutamiento 1 de la central: ',nom
                writeln(enrutamiento1[i], ' no existe. ');
                halt(0);
            end;
            Tránsito1[i]:=j;
            j:=1;
            while (enrutamiento2[i]<>mnemonic[j]) and (j<=Tope) do inc(j);
            if j>tope then begin
                writeln('! Error en enrutamiento 2 de la central: ',nom
                writeln(enrutamiento2[i], ' no existe. ');
                halt(0);
            end;
            Tránsito2[i]:=j;
        end;
    end;
end;
ND;

```

\*\*\*\*\* ajuste por señalización \*\*\*\*\* }

```

PROCEDURE Criterio_señalización;
BEGIN
    OR i:=1 TO tope DO
    BEGIN
        FOR j:=1 TO tope DO
        BEGIN
            IF (i<>j) AND (i<j) THEN
                BEGIN
                    IF (señalización[i]='7') AND (señalización[j]='7') THEN
                        BEGIN
                            datos[i,j]:=datos[i,j]+datos[j,i];
                            datos[j,i]:=0;
                        END;
                    END;
                END;
        END;
    END;
END;
ND;
ND;

```

\*\*\*\*\* Criterio de contingencia \*\*\*\*\* }

```

PROCEDURE Criterio_contingencia;
BEGIN
  número_de_Centrales_malas:=00;
  N_Tránsito_Malas:=00;
  for i:=1 to Tope do
  begin
    if funciona[i]='N' then
      begin
        for j:=1 to tope do
          begin
            datos[i,j]:=00; { borrar horizontal }
            datos[j,i]:=00; { borrar vertical }
          end;
          Inc( número_de_centrales_malas );
          if TipoCentral[i]='T' then Inc(N_Tránsito_Malas);
        end;
      end;
  end;
  if N_Tránsito_Malas > 1 then begin
    write(' ** Existen ',N_Tránsito_Malas);
    writeln(' centrales Tránsito que no funcionan !'
:array [1..max] of char; /[] [] [] ubicación,
    halt(0);
  end;
END;

```

\*\*\*\*\* extras }

```

PROCEDURE DESPLEGAR_INFO;
BEGIN
  for i:=1 to tope do
  begin
    writeln(mnemonic[i], ' ', nombre[i], ' ', tecnología[i], ' ', ubicación[i]);
    writeln(' ', área[i], ' ', enrutamiento1[i], ' ', enrutamiento2[i]);
    writeln(' ', tipocentral[i], ' ', funciona[i], ' ', Tránsito1[i], ' ', Tránsito2[i]
  end;
  readln;
END;

```

```

***** }
* }
***** }

```

```

PROCEDURE Tránsito_a_Local;
BEGIN
  Inc( NRutas );
  if Funciona[ Tránsito1[Cd] ] = 'S'
    then Rutas[NRutas,2]:= Tránsito1[Cd]
    else Rutas[NRutas,2]:= Tránsito2[Cd];
  Rutas[NRutas,1]:=Co;
  if Rutas[NRutas,2]<>Co then Begin
    Rutas[NRutas,3]:=Cd;
    If Funciona[ Tránsito1[Cd] ] <> 'S'
    Then Datos[ Co,Cd ]:=Datos[Co,Cd] * Porcentaje_de_t

```

```

                                End
                                else Begin
                                Rutas[NRutas,2]:=Cd;
                                If Funciona[ Tránsito1[Cd] ] <> 'S'
                                Then Datos[ Co,Cd ]:=Datos[Co,Cd] * Porcentaje_de_t
                                End;
ID;

```

```

PROCEDURE Local_a_Tránsito;

```

```

BEGIN
inc( NRutas );
If Funciona[ Tránsito1[Co] ] = 'S'
then Rutas[NRutas,2]:=Tránsito1[Co]
else Rutas[NRutas,2]:=Tránsito2[Co];
Rutas[NRutas,1]:=Co;
If Cd <> Rutas[NRutas,2] then Begin
Rutas[NRutas,3]:=Cd;
If Funciona[ Tránsito1[Co] ] <> 'S'
Then Datos[ Co,Cd ]:=Datos[Co,Cd] * Porcentaje_de
End
else Begin
If Funciona[ Tránsito1[Co] ] <> 'S'
Then Datos[ Co,Cd ]:=Datos[Co,Cd] * Porcentaje_de
end;
ID;

```

```

PROCEDURE Tránsito_a_Tránsito;

```

```

BEGIN
inc( NRutas );
Rutas[NRutas,1]:=Co;
Rutas[NRutas,2]:=Cd;
ID;

```

```

PROCEDURE Ruta_Directa;

```

```

BEGIN
inc( NRutas );
Rutas[NRutas,1]:=Co;
Rutas[NRutas,2]:=Cd;
ID;

```

```

PROCEDURE Encaminar_por_Tránsito;

```

```

var auxiliar:integer;
BEGIN
inc( NRutas );
Rutas[NRutas,1]:=Co;
If funciona[ Tránsito1[Co] ] = 'S'
then Rutas[NRutas,2]:=Tránsito1[Co]
else Begin
Rutas[NRutas,2]:=Tránsito2[Co];
Datos[Co,Cd]:=Datos[Co,Cd] * Porcentaje_de_tráfico
End;

If funciona[ Tránsito1[Cd] ] = 'S'
then Auxiliar:=Tránsito1[Cd]
else Begin
Auxiliar:=Tránsito2[Cd];

```

```
    If área[Co] <> área[Cd]
    Then Datos[ Co,Cd ]:=Datos[Co,Cd] * Porcentaje_de_tráfico
    End;
```

```
if Auxiliar = Rutas[NRutas,2] then Rutas[NRutas,3]:= Cd
    else begin
        Rutas[NRutas,3]:=Auxiliar;
        Rutas[NRutas,4]:=Cd;
    end;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE Ruta_No_Directa;
```

```
BEGIN
```

```
    if (tecnología[Co]='D') and (tecnología[Cd]='D')
```

```
    then begin
```

```
        if área[Co]=área[Cd]
```

```
        then begin
```

```
            if (Datos[Co,Cd] > Umbral) then Ruta_Directa
```

```
                else Encaminar_por_Tránsito;
```

```
        end
```

```
    else begin
```

```
        if (Datos[Co,Cd] > Umbral) and (Quiere_el_Usuario)
```

```
        then Ruta_Directa
```

```
        else Encaminar_por_Tránsito;
```

```
    end;
```

```
    end
```

```
    else Encaminar_por_Tránsito;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE Local_a_Local;
```

```
BEGIN
```

```
    if ubicación[ Co ] = ubicación[ Cd ]
```

```
    then Ruta_Directa
```

```
    else Ruta_No_Directa;
```

```
END;
```

```
FUNCTION es_central_local(NC:integer):boolean;
```

```
begin
```

```
    if TipoCentral[Nc]='T' then es_central_local:=False
```

```
        else es_central_local:=True;
```

```
end;
```

```
FUNCTION es_tránsito_y_funciona(NC:integer):boolean;
```

```
begin
```

```
    if (TipoCentral[Nc]='T') and (funciona[nc]='S')
```

```
        then es_tránsito_y_funciona:=true
```

```
        else es_tránsito_y_funciona:=false;
```

```
end;
```

```
PROCEDURE Cálculo_de_rutas;
```

```

BEGIN
for CO := 1 to Tope do
  for CD := 1 to Tope do
    begin
      if CO=CD Then begin
        tráfico_Interno[Co]:=Datos[Co,Cd];
        Datos[CO,CD]:=00;
        inc(nrutas);
        for i:= 1 to 4 do
          rutas[nrutas,i]:=0
        end

      else begin
        if es_central_local(Co) and es_central_local(Cd)
          then Local_a_Local
        else begin
          if es_central_local(CO) and es_tránsito_y_funciona(CD)
            then Local_a_Tránsito
          else begin
            if es_tránsito_y_funciona(CO) and es_central_local(CD)
              then Tránsito_a_Local
            else begin
              if es_tránsito_y_funciona(CO) and es_tránsito_y_fu
                then Tránsito_a_Tránsito
              else inc(nrutas);
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
end;
END;

```

```

{ ***** }
{ * * * * * }
{ ***** }

```

```

PROCEDURE REARREGLO_DE_MATRIZ;
VAR puntero:integer;
    tráfico:real;
BEGIN
  For i:=1 to NRutas do
    begin
      Puntero:=4;
      if Rutas[i,4] = 0 then Puntero:=3;
      if Rutas[i,3] = 0 then Puntero:=2;

      if Puntero > 2 then
        begin
          tráfico:=Datos[Rutas[i,1],Rutas[i,puntero]];
          Datos[Rutas[i,1],Rutas[i,puntero]]:= 00;
          for j:=1 to (puntero-1) do
            begin
              Co:=Rutas[i,j];
              Cd:=Rutas[i,j+1];
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

```

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 Biblioteca Central

```

        Datos[Co,Cd]:=Datos[Co,Cd]+tráfico;
    end;
end
end;
ND;

PROCEDURE DESPLEGAR_RUTAS;
BEGIN
    for i:= 1 to NRutas do
    begin
        write('Ruta #',i,' -> ',mnemonic[Rutas[i,1]],'- ',mnemonic[Rutas[i,2]]);
        writeln('- ',mnemonic[Rutas[i,3]],'- ',mnemonic[Rutas[i,4]]);
        if i mod 20 = 0 then ch:=Readkey;
    end;

ND;
PROCEDURE DESPLEGAR_MATRIZ;
EGIN
for i:=1 to tope do
begin
for j:=1 to tope do
begin
writeln([' ',i,', ',',j,']...:',Datos[i,j]:8:2);
end;
ch:=readkey;
end;
readln;
ND;
PROCEDURE DESPLEGAR_MATRIZ2;
EGIN
for i:=1 to tope do
begin
for j:=1 to tope do
begin
write([' ',i,', ',',j,']...:',Datos[i,j]:8:2,' ');
writeln('Circuitos[ ',i,', ',',j,']...:',circuitos[i,j]:8:2);
end;
ch:=readkey;
end;
readln;
ND;

*****Este procedimiento calcula el número de circuitos a partir de la for
UNCTION Fórmula_Erlang(traffic: real):INTEGER;
VAR
    porcentaje_pérdida: REAL;
EGIN
porcentaje_pérdida:=1;
troncales:=0;
    REPEAT
        troncales:= troncales +1;
        porcentaje_pérdida:= (traffic*porcentaje_pérdida)/(troncales + traffic*po
UNTIL porcentaje_pérdida <= GOS;
    if troncales mod 30 > 0 then troncales:= ((troncales div 30)+1)*30;

```



```
Fórmula_Erlang:=Troncales;  
ID;
```

```
*****Este procedimiento genera una matriz de circuitos punto a punto
```

```
PROCEDURE Cálculo_Matriz_Circuitos;
```

```
VAR  
j:INTEGER;
```

```
BEGIN
```

```
FOR i:=1 TO tope DO
```

```
BEGIN
```

```
FOR j:=1 TO tope DO
```

```
  BEGIN
```

```
    if datos[i,j]>0
```

```
    then Circuitos[i,j]:=Fórmula_Erlang(datos[i,j])
```

```
    else Circuitos[i,j]:=00;
```

```
  END;
```

```
END;
```

```
END;
```

```
PROCEDURE Criterio_Proveedores;
```

```
VAR A_Sumar,número_de_flujos:integer;
```

```
BEGIN
```

```
FOR Co:= 1 TO Tope DO
```

```
  BEGIN
```

```
    FOR Cd:= 1 TO Tope DO
```

```
      BEGIN
```

```
        if (señalización[Co]='7') and (señalización[ Cd ]='7')
```

```
        then BEGIN
```

```
          if (fabricante[Co]='NT') or (fabricante[Cd]='NT')
```

```
          then BEGIN
```

```
            { se queda como está }
```

```
          END;
```

```
        if (fabricante[Co]='NEC') or (fabricante[Cd]='NEC')
```

```
        then BEGIN
```

```
          número_de_Flujos := trunc(Circuitos[Co,Cd] / 30);
```

```
          A_Sumar := (número_de_Flujos div 3) * 2;
```

```
          if (número_de_Flujos mod 3) > 1
```

```
          then A_Sumar:=A_sumar + 1;
```

```
          Circuitos[Co,Cd]:=Circuitos[Co,Cd]+A_Sumar;
```

```
        END;
```

```
    if (fabricante[Co]<>'NT') and (fabricante[Cd]<>'NT') and
```

```
        (fabricante[Co]<>'NEC') and (fabricante[Cd]<>'NEC')
```

```
    then BEGIN
```

```
      { redondear a 31 }
```

```
  }
```

```
  {
```

```
  }
```



```

        res:=res+chr(64+4);
        Caracteres_por_línea:=130;

        end;
    Gráfica:begin
        res:=res+chr(4);
        Caracteres_por_línea:=130;
    end;
    Título:begin
        res:=res+chr(32+16);
        Caracteres_por_línea:=40;
    end;
end;
Tipo:=Res;
end;

FUNCTION LLENAR(NC:word; CC:char):string;
Var ii:integer;
    res:string;
BEGIN
    res:='';
    for ii:=1 to NC do
        Res:=Res+CC;
    Llenar:=Res;
END;

FUNCTION CENTRAR(TT:STRING):String;
var posi:integer;
BEGIN
    posi:=(Caracteres_por_línea-length(tt)) div 2;
    if posi<0 then posi:=0;
    Centrar:=llenar(posi,' ')+tt;
END;

PROCEDURE Insertar_vía(Origen,destino,posición:integer; var ll:string);
var Nr:integer;
    Res:string;
    SS1,SS2:string;
    espacios:integer;
    puntero:byte;
begin
    Nr:=(origen-1)*Tope + destino;    { Nro. de ruta }
    puntero:=4;
    if Rutas[Nr,4]=0 then puntero:=3;
    if Rutas[Nr,3]=0 then puntero:=2;
    if Rutas[Nr,1]=0 then puntero:=0;

    case puntero of
        2:begin
            str(Datos[origen,destino]:6:2 ,SS1);
            str(Circuitos[origen,destino]:6:2,SS2);
            Res:=llenar(9-length(ss1),' ')+ss1+llenar(19-length(ss1),' ')+ss2;

```

```

end;
3:Res:=Mnemonic[ Rutas[Nr,2] ];
4:Res:=Mnemonic[ Rutas[Nr,2] ]+'-'+Mnemonic[ Rutas[Nr,3] ];
end;
posición:=posición-(length(res) div 2);
if posición < 1 then posición:=1;
for j:=1 to length(Res) do
  Ll[j+posición-1]:=Res[j];
end;

```

```

PROCEDURE Imprimir_1_hoja;
var T1,T2,T3,T4,T5:STRING;
    Cuenta:integer;
    Tráfico_Total:single;

```

```

EGIN
Líneas_Impresas:=00;
Print_Line(Tipo(Título)+Centrar('Diagrama de vías'));
Print_Line(tipo(TítuloItalic)+Centrar(' CENTRAL: '+
    Nombre[Central_a_imprimir]+'.'));

```

```

if TipoCentral[Central_a_imprimir]='T' then T1:='Tránsito,'
    else T1:='Local,';

```

```

if tecnología[Central_a_imprimir]='D' then T2:='Digital,'
    else T2:='Analógica,';

```

```

T3:=señalización[Central_a_imprimir];
if señalización[Central_a_imprimir] = '2' then T3:=' R2';
if señalización[Central_a_imprimir] = '7' then T3:=' Nro. 7';

```

```

Print_Line(Tipo(info)+'Central: '+T1+' Tecnología: '+T2+' Fabricante: '
    +Fabricante[Central_a_imprimir]+' Señalización:'+T3);
Print_Line(' Ubicación: '+ubicación[Central_a_imprimir]+' área: '+área[Centr
Print_Line(' ');

```

```

Print_Line(llenar(17,' ')+'tráfico CIRCUITOS'+llenar(37,' ')+'tráfico

```

```

Print_Line(centrar(#218+llenar(4,#196)+#191));
Print_Line(centrar(#179+llenar(4,' ')+#179));
I:=0;

```

```

Repeat
  inc(conteo);
  if conteo<>central_a_imprimir then
  begin

```

```

    Línea:=centrar(#179+llenar(4,' ')+#179);

```

```

    Línea:=Línea+llenar(130-length(Línea),' ');

```

```

    Insertar_vía(conteo,central_a_imprimir,30,Línea);
    Insertar_vía(central_a_imprimir,conteo,95,Línea);
    Print_Line(Línea);
    if funciona[ conteo ] = 'S' then T1:=''
        else T1:=' (NF)';

```

```

Línea:='{'+Mnemonic[ conteo ]+'}' +T1;

Línea:=tipo(info)+Línea +tipo(Gráfica)+ llenar(62-length(Línea),#196)+
#180+llenar(4,' ')+#195+
llenar(60-length(Línea),#196)+tipo(info)+Línea+tipo(Gráfica);

Print_Line(Línea);
end;
inc(i);
until (i >= 20) or (conteo >= tope);
Print_Line(centrar(#179+llenar(4,' ')+#179));
Print_Line(centrar(#179+llenar(4,' ')+#179));
Print_Line(centrar(#192+llenar(4,#196)+#217));
Print_Line(' ');

{ imprimir tráfico interno }
Str(tráfico_Interno[Central_a_Imprimir]:6:2,T1);
Print_Line(tipo(info)+' tráfico Interno...: '+tipo(Gráfica)+T1);

{ calcular el tráfico total }
tráfico_Total:=00;
for cuenta :=1 to tope do
tráfico_Total:=tráfico_Total + Datos[ Central_a_Imprimir , cuenta ]
+ Datos[ cuenta , Central_a_Imprimir ];
Str(tráfico_Total:6:2,T1);
Print_Line(tipo(info)+' tráfico Total.....: '+tipo(Gráfica)+T1);

END;

PROCEDURE IMPRIMIR_CIRCUITOS;

BEGIN
writeln('Presione una tecla para imprimir');
while keypressed do ch:=readkey;
ch:=readkey;
assign(t,'PRN');
rewrite(t);
Print_Line(chr(27)+chr(64));
Print_Line(chr(27)+chr(116)+chr(01));
Central_a_imprimir:=00;
Repeat
inc(Central_a_imprimir);
conteo:=00;
repeat
imprimir_1_hoja;

For j:= Líneas_impresas to 65 do print_line(' ');

until (conteo >= Tope);
Until (Central_a_imprimir=tope);
Líneas_impresas:=00;
close(t);

END;

```

```

var
  código:char;

BEGIN
                                     { * * P r i n c i p a l * * }

  CLRSCR;

  {Línea:='áéíóúñÑ';
  for i:= 1 to length( Línea) do
  begin
  código:=Línea[i];
  writeln(' letra :',Línea[i],' código : ',ord(código));
  end;
  ch:=readkey; }

  Quiere_el_usuario:=true;
  Name_Arch:='MATRIZ.DAT';
  Leer_Archivo_y_Obtener_Datos;

  Name_Arch:='BASE.DAT';
  Leer_Archivo_Base_Datos;

  Convertir_mnemonico_a_número;

  {Desplegar_info;
  DESPLEGAR_MATRIZ;}

  Criterio_señalización;

  Criterio_Contingencia;

  for i:=1 to maxrutas do
  for j:=1 to 4 do
    Rutas[i,j]:=0;

  Cálculo_de_rutas;
  writeln('***** RUTAS *****');
  Desplegar_rutas;

  writeln('***** MATRIZ DESPUES DE señalización *****');
  {desplegar_matriz;}

  Rearreglo_de_Matriz;
  writeln('***** MATRIZ DESPUES DE RERREGLAR MATRIZ *****');

  desplegar_matriz;

  Criterio_señalización;

  writeln('***** MATRIZ DESPUES DE señalización 2 *****');

  desplegar_matriz;

```

Cálculo\_Matriz\_Circuitos;

Criterio\_Proveedores;

writeln('\*\*\*\*\* MATRIZ DE CIRCUITOS \*\*\*\*\*');  
desplegar\_matriz2;

IMPRIMIR\_CIRCUITOS;

writeln(' fin del programa ');

END.