

18
2ej



Universidad Nacional Autónoma
de México

E.N.E.P. ARAGON

ESC. INGENIERIA

“ DIMENSIONAMIENTO DE REDES DE
CONMUTACION PARA CENTRALES
TELEFONICAS DIGITALES ”

T E S I S

Que para obtener el Título de:
INGENIERO EN COMPUTACION

P r e s e n t a n:

RAUL LIMON SANCHEZ

ADRIAN PEREZ ROMERO



Estado de México

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

OBJETIVO	I
INTRODUCCION	II
CAPITULO 1 CONMUTACION TELEFONICA	1
1.1. Fundamentos de conmutación telefónica	2
1.2. Organización y jerarquía de una red telefónica	5
1.3. Organización técnica de la red telefónica	14
1.4. Central telefónica	15
1.5. Funciones de un conmutador	20
CAPITULO 2 ELEMENTOS DE DIGITALIZACION	24
2.1. Fundamentos de digitalización	25
2.2. Sistema MCP	28
2.3. El MCP en la telefonía	35
2.4. Métodos para la máxima transferencia de información	38
2.5. Múltiplex digital	43
2.5.1. Múltiplex de primer orden	43
2.5.2. Composición de tramas de primer orden	47
2.5.3. Múltiplex de alto orden	50
2.6. Códigos de transmisión	52
2.6.1. El código AMI	53
2.6.2. El código HDB3	55
2.6.3. El código BNZS	56
2.6.4. El código CMI	57
2.6.5. Los códigos 1B/2B y 5B/6B	57
CAPITULO 3 REDES DE CONMUTACION DIGITAL	59
3.1. Estructura general de conmutación digital	60
3.2. Conmutación por distribución de espacio (CDE)	65
3.3. Conmutación por distribución de tiempo (CDT)	71
3.4. Conmutación temporal	77
3.5. Conmutación de dos dimensiones Espacio-Tiempo	81
3.6. Conmutación E-T-E	84
3.7. Conmutación T-E-T	86

CAPITULO 4 DIMENSIONAMIENTO DE REDES DIGITALES	89
4.1. Base para el diseño de una red de conmutación digital	90
4.1.1. Bloqueo de una red de dos etapas	93
4.1.2. Bloqueo de una red de tres etapas	94
4.1.3. Ejemplo de cálculo No. 1	98
4.2. Estructura de redes	100
4.2.1. Redes de varias etapas	100
4.2.2. Regla de eslabonamiento	102
4.2.3. Parámetros fundamentales de las redes	103
4.2.4. Redes sin bloqueo	104
4.2.5. Ejemplo de cálculo No. 2	107
4.2.6. Ejemplo de cálculo No. 3	109
4.3. Configuración de redes	110
4.3.1. Ejemplo de cálculo No. 4	110
4.4. Diseño de redes de 5 etapas	115
4.4.1. Ejemplo de cálculo No. 5	118
4.5. Cálculo de redes digitales	127
4.6. Complejidad de construcción	129
4.7. Cálculo de la red Temporal-Espacial	131
4.7.1. Ejemplo de cálculo No. 6	131
4.8. Redes de tres etapas de dos dimensiones	137
4.8.1. Redes E-T-E	138
4.8.2. Complejidad de construcción de las redes E-T-E	143
4.8.2.1. Ejemplo de cálculo No. 7	144
4.8.3. Redes T-E-T	146
4.8.4. Complejidad de construcción de las redes T-E-T	151
4.8.4.1. Ejemplo de cálculo No. 8	152
4.9. Redes de cinco etapas TEEET	154
4.9.1. Complejidad de construcción de la red TEEET	158
4.9.1.1. Ejemplo de cálculo No. 9	159
CAPITULO 5 PROGRAMA DE CALCULO	163
Diagrama a Bloques del Sistema Tesis	164
Codificación de los Programas del Sistema Tesis	173
CONCLUSIONES	204
ANEXO	208
BIBLIOGRAFIA	218

OBJETIVO

Realizar el estudio sobre el planteamiento de las redes de conmutación para centrales telefónicas digitales incluyendo la elaboración de un programa computacional para el cálculo y configuración de dichas redes.

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La comunicación es una parte esencial del hombre, sin ésta no podría expresar lo que piensa, siente, o lo que desea transmitir a los demás. La comunicación ha evolucionado desde el tiempo en que se efectuó a través de señas, hasta los sistemas de comunicación más sofisticados que se tienen en la actualidad; por ejemplo: transmisión vía satélite, vía fibras ópticas y a través de rayos laser.

En los últimos años los sistemas de comunicación han avanzado a grandes pasos, algunos de los principales acontecimientos que han surgido ha sido la fusión de las telecomunicaciones con la informática, además de la repercusión de las nuevas tecnologías en los elementos empleados por los usuarios, que ha logrado satisfacer la necesidad de transmitir mayor cantidad de información entre puntos cada vez más distantes y con velocidades también mayores.

El empleo acrecentado y cada vez más diversificado de las telecomunicaciones en todos los sectores de la actividad, ha hecho de ellas un servicio importante para la economía y la sociedad.

que necesitan información. Sin una comunicación rápida y segura habrían de esperar varios días o tendrían que desplazarse distancias considerables para obtener la información necesaria, resultando a menudo demasiado tarde su obtención.

Las telecomunicaciones aumentan la eficacia de los servicios públicos, del comercio y de las demás actividades económicas. Las comunicaciones desempeñan una función vital en las situaciones de urgencia y de los servicios médicos. Pueden reducir la necesidad de viajar y permiten un aprovechamiento más completo de los medios de transporte existentes y ponen casi instantáneamente a disposición del público la información que la radiodifusión y la televisión aportan a los auditores y espectadores. Por lo tanto, las telecomunicaciones, como instrumento para la transmisión son muy provechosas para toda la sociedad.

Una de las ramas más importantes de las telecomunicaciones ha sido la telefonía, la cual se ha beneficiado con los avances del hombre. Así, se observa que sólo en unas décadas se ha logrado saltar en forma espectacular del teléfono alámbrico de Bell a las comunicaciones mediante sistemas de conmutación electrónica y satélites artificiales, unos diminutos puntos en el espacio circundante de nuestro planeta que sirven como puentes

enormes para la transmisión de información entre hombres y máquinas.

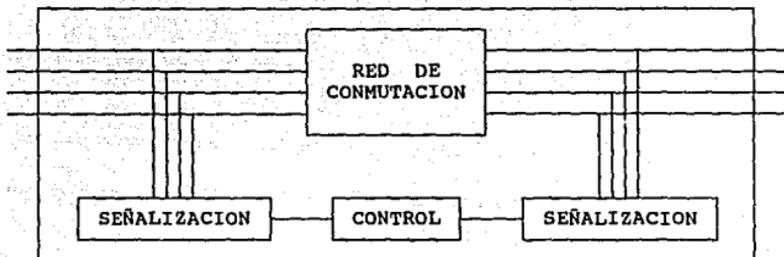
La telefonía se encarga de suministrar el servicio de comunicación de voz entre cualesquiera dos usuarios que se encuentran distantes en cualquier parte del mundo.

El alma de la telefonía la constituyen las centrales telefónicas. Estas, se consideran como nodos de la red telefónica que enlazados entre si mediante "troncales" conforman dicha red sobre la que se pueden establecer gran cantidad de comunicaciones telefónicas. Es en cada uno de estos nodos en donde se realiza el proceso de conmutación, es decir, el establecimiento de conexiones para interconectar las diferentes trayectorias de comunicación.

La conmutación es lo que define el tipo de central telefónica que se utiliza (central local, central tandem, central internacional, etc.). La conmutación se realiza dentro de la central en lo que se conoce como la "Red de Conmutación".

En la siguiente figura se ilustra la estructura general a bloques de una central telefónica:

Central Telefónica



En la figura se distinguen tres partes generales:

- a) La parte de señalización, que se encarga de generar y manejar toda la información que se utiliza para establecer las conexiones.
- b) La parte de conmutación (Red de Conmutación) se encarga del establecimiento, propiamente dicho, de las conexiones; es decir, es la parte sobre la que físicamente se realizan las conexiones que se requieren para las diferentes comunicaciones entre abonados.
- c) El control se encarga de gobernar la operación de todo el sistema incluyendo las funciones de señalización y conmutación.

El tema de esta tesis está exclusivamente relacionado con la parte de conmutación de las centrales; es decir, con la red de conmutación.

En un principio, la red de conmutación estaba formada por equipo electromecánico rudimentario a base de selectores electromecánicos y relés, la información que se procesaba era de tipo analógico; es decir, la voz tal y como la genera el microteléfono. En la actualidad dicha red está constituida a base de tarjetas electrónicas digitales y en consecuencia las señales que se conmutan deben estar en forma digital.

La red de conmutación digital, tal como se ha expresado da origen a las centrales digitales; es decir, centrales que van a operar con señales digitales, o sea señales que se han muestreado, cuantificado y codificado (por ejemplo, señales MCP). Las entradas a las centrales digitales son por lo tanto vías digitales de comunicación. Esto implica que las señales de voz generadas por los aparatos telefónicos se tienen que convertir a digitales antes de la conmutación.

La parte esencial de la conmutación digital la constituye la red de conmutación que por supuesto es digital. Esta parte es la que se encarga de realizar las conexiones que se necesitan para el establecimiento de comunicaciones telefónicas y su enrutamiento.

Este trabajo se dedica al planteamiento de la red de conmutación de una central digital con el objeto de definir las diferentes configuraciones que se pueden emplear para construir esta parte de las centrales digitales, así como definir su procedimiento de cálculo para satisfacer diferentes necesidades de conmutación telefónica.

Como este trabajo está directamente enfocado al estudio de redes digitales es de suponerse la importancia que tienen los principios de digitalización. Por este motivo se incluye en este trabajo los aspectos principales de estos principios.

En el capítulo 1, se presenta un panorama general de la conmutación telefónica, con la idea de establecer las bases sobre las que se sustenta el proceso de conmutación.

En el capítulo 2, se presentan los aspectos esenciales de la digitalización de las señales analógicas y los principios de operación de los sistemas MCP (Modulación por Codificación de Pulsos), que constituyen el equipo principal para la transmisión en forma digital de dichas señales.

El capítulo 3, se inicia con la descripción general de las centrales digitales, haciendo resaltar sus principales subsistemas y la función que desempeñan, continuando con el estudio de la red digital de conmutación de una central digital. Se abordan los conceptos generales implicados, las

funciones de estas redes, sus configuraciones, características, etc.

En el capítulo 4, se aborda el aspecto del diseño de las redes digitales con el fin de dimensionarlas y definir sus características de construcción.

En el capítulo 5, se diseña un programa computacional con el propósito de facilitar, mediante la herramienta de la computadora, el cálculo de estas redes así como su estudio y explicación.

El trabajo finaliza con unas conclusiones en las que se destacan los principales aspectos de esta tesis.

Se desea resaltar el objetivo de esta tesis el cual es "Presentar un estudio sobre las redes digitales de conmutación y definir el procedimiento de cálculo y configuración de dichas redes para satisfacer diferentes necesidades de conmutación digital telefónica".

CAPITULO 1

CONMUTACION TELEFONICA

1.1 FUNDAMENTOS DE CONMUTACION TELEFONICA

La telefonía permite la comunicación entre dos personas distantes mediante el establecimiento de una conexión como la que se muestra en la figura 1.1.

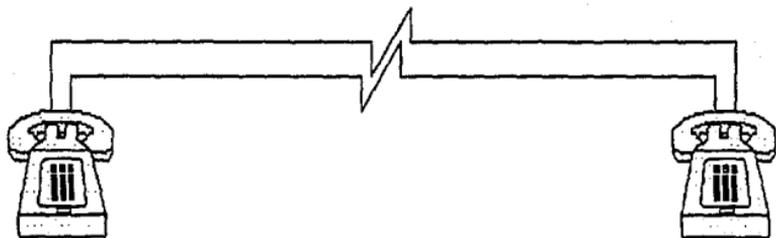


FIGURA 1.1 Conexión telefonica básica

El establecimiento de la conexión que se ilustra en la figura 1.1 tiene dos características esenciales que son:

- a) Cada terminal debe estar en condiciones de poder seleccionar a su corresponsal.
- b) Las trayectorias de conexión deben ser de uso compartido y en consecuencia sólo se emplearan durante la conversación.

La solución óptima a estos problemas se consiguió con la conmutación telefónica centralizada. Es decir, el empleo de una central telefónica donde se lleve a cabo la función de conmutación, como se muestra en la figura 1.2.

La conmutación es entonces la esencia de la telefonía, y es el proceso mediante el cual se logra el establecimiento transitorio de trayectorias de conexión entre pares específicos de terminales de la manera más eficiente.

En la figura 1.2 se muestra una central telefónica la cual se encarga de establecer trayectorias de conexión específicas mediante dispositivos de conmutación que se liberan al terminar la llamada y se pueden utilizar después para establecer otras conexiones.

El objetivo de toda red telefónica es enlazar dos abonados, para esto, la red debe desempeñar tres funciones básicas:

- 1) Conmutación.- Consiste en la identificación y conexión de abonados a una trayectoria de conmutación adecuada.
- 2) Señalización.- Es el proceso de generación, transmisión e interpretación de señales que se necesita realizar en una red telefónica.

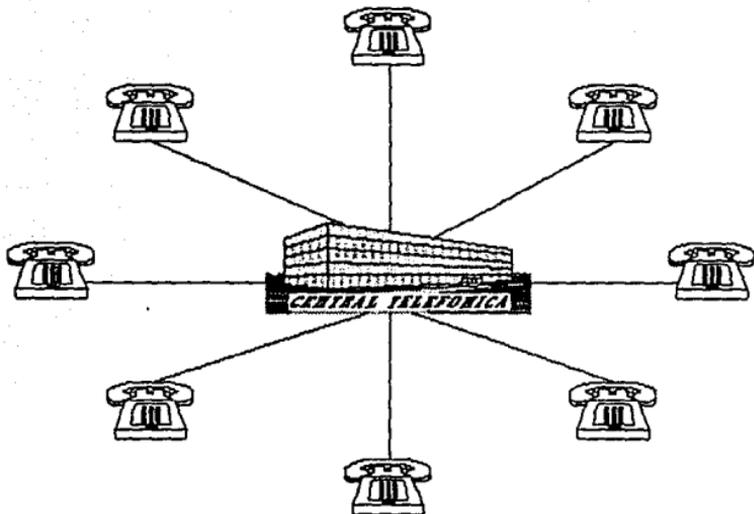


FIGURA 1.2 Conmutación centralizada

3) Control.- Consiste en el comando de los elementos de la red de conmutación para conformar los canales de comunicación para las llamadas.

Esto implica que todo centro de conmutación debe contener los sistemas de señalización, control y conexión. La figura 1.3 ilustra la configuración general de una central telefónica.

1.2 ORGANIZACION Y JERARQUIA DE UNA RED TELEFONICA.

Los sistemas de conmutación constituyen los nodos de la red telefónica; estos nodos se encuentran interconectados y mediante el proceso de la "conmutación telefónica", permiten la conexión de un teléfono con cualquier otro.

Esta conmutación se presenta en varias categorías o servicios:

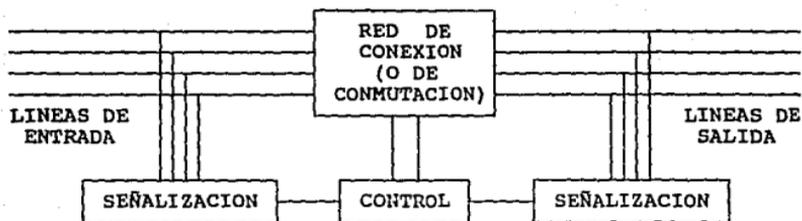


FIGURA 1.3 Configuración general de una central telefónica

- a) Conmutación urbana
- b) Conmutación interurbana
- c) Conmutación rural

d) Conmutación internacional

Conmutación urbana.- Es aquella que se realiza en las redes urbanas las cuales pueden estar constituidas por dos o más centrales dentro de una área, como se ilustra en la figura 1.4.

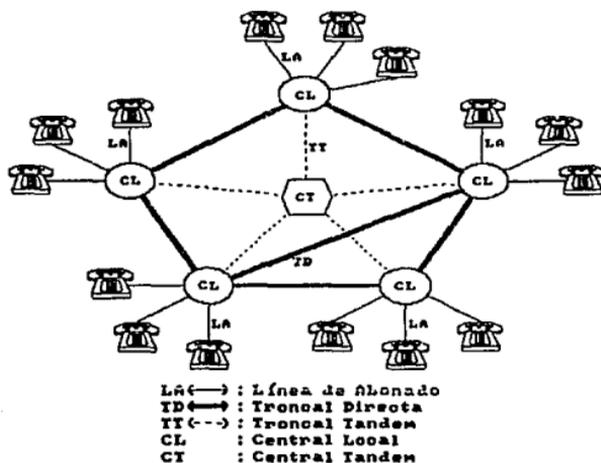


FIGURA 1.4 Conmutación urbana

Conmutación interurbana.- Es aquella que se realiza entre diferentes ciudades para establecer comunicaciones de larga distancia como se ilustra en la figura 1.5.

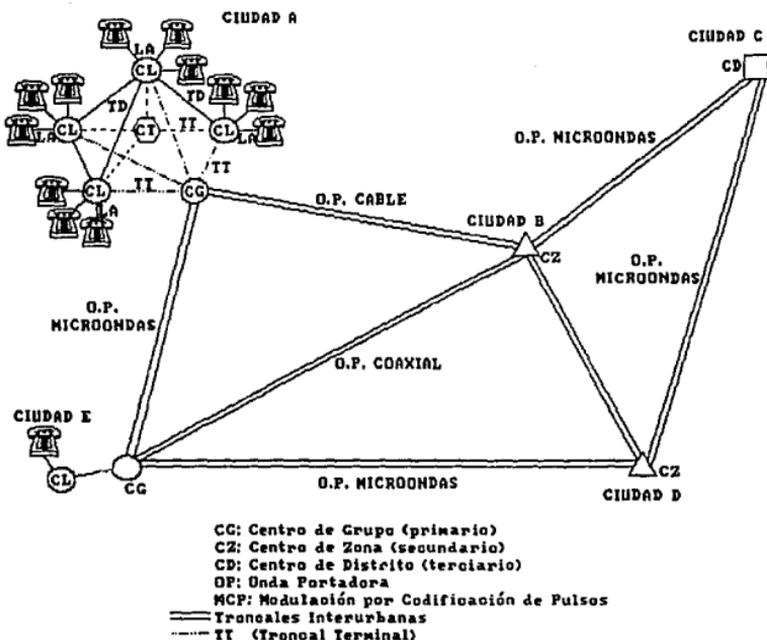


FIGURA 1.5 Conmutación Interurbana

Commutación rural.- Esta conmutación se relaciona con la introducción del equipo telefónico en zonas apartadas con características muy particulares por ejemplo ríos, montañas, lagos o poblaciones muy separadas entre sí. La figura 1.6 ilustra una posible configuración de red rural.

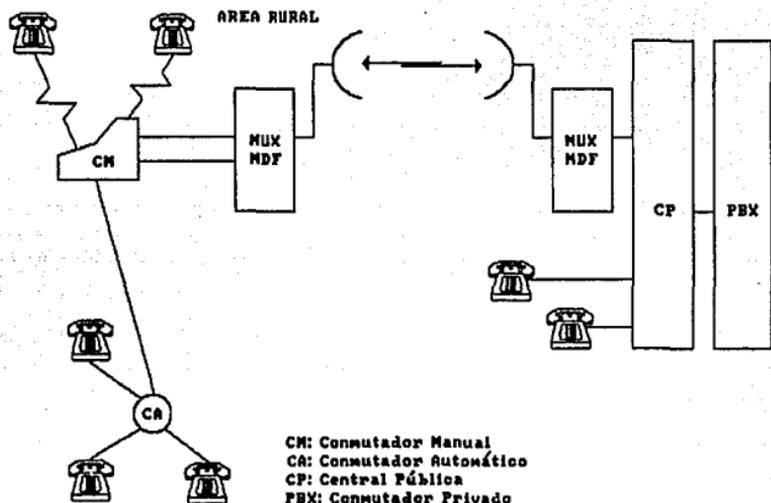


FIGURA 1.6 Red de Conmutación Rural

Conmutación internacional.- Las redes telefónicas de los diferentes países se pueden interconectar, ya sea por medios alámbricos o inalámbricos, para establecer comunicaciones entre abonados de diferentes países. La comunicación puede ser continental e intercontinental. La conmutación internacional permite entonces las comunicaciones entre abonados de diferentes países. En la actualidad la comunicación internacional se lleva a cabo vía satélite como se ilustra en la figura 1.7.

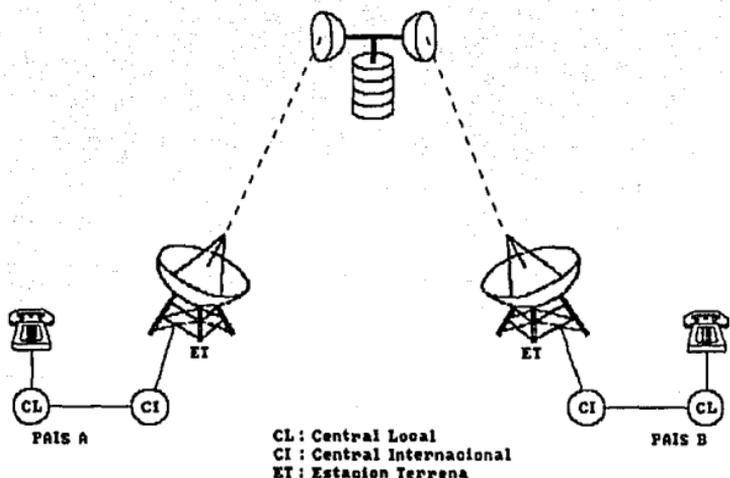


FIGURA 1.7 Enlace satélite entre dos países

La creación de una red de larga distancia debe ser precedida por una planificación cuidadosa. Se debe tomar en cuenta el tamaño del país y la distribución humana dentro del mismo, ya que estos factores son de importancia para los planes de numeración, transmisión y conmutación. A continuación se presentan los principales aspectos de estos planes:

A) Plan de numeración.- El objetivo de éste plan es asignar un número único nacional a cada abonado en el país. El número total de dígitos debe ser tan pequeño como sea

posible y la marcación debe ser lo más simple que se pueda.

El país se divide en áreas, cada una comprendiendo cierto número de abonados con un alto grado de interés en comunicarse entre sí. A cada área se le asigna un código de área específico y los abonados dentro del área tienen números de directorio únicos.

Cuando un abonado quiere hacer una llamada dentro de su propia área, simplemente marca el número de directorio del abonado que se desea.

Para una llamada nacional fuera de su propia área, tiene que marcar un número formado por el código de área de donde se encuentra el abonado deseado, más el número de directorio del mismo.

Para llamadas internacionales se pueden requerir diferentes códigos de acceso precediendo al código de área y al número de directorio del abonado deseado.

- B) Plan de conmutación.- El propósito de este plan es el de distribuir el tráfico entre y dentro de las áreas numeradas. Con el fin de manejar el servicio telefónico, el país se divide en regiones subdivididas a su vez en las áreas que se han mencionado, y éstas en zonas. Esta

estructura recibe el nombre de "arquitectura jerárquica" en la cual cada región, área o zona está atendida por un centro de conmutación de la jerarquía correspondiente, como se muestra en la figura 1.8.

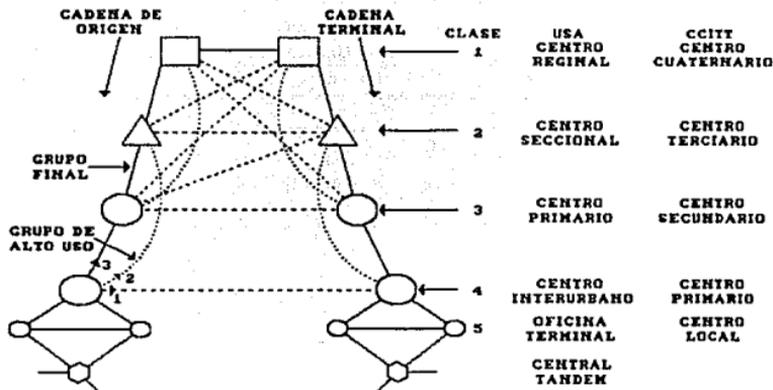


FIGURA 1.8 Estructura jerárquico de la red

Esta arquitectura incluye lo que se conoce como disciplinas de "conectividad" (recolección de tráfico) y "enrutamiento" (varias alternativas). La conectividad establece la interconexión en forma jerárquica de los centros de conmutación. El enrutamiento establece enlaces directos entre centros de conmutación que constituyen así

las primeras alternativas para la trayectoria de la conexión.

Como ejemplo del enrutamiento entre dos abonados, vía satélite, se presenta en la figura 1.9, el código de selección internacional que permite la comunicación de un abonado que radica en los Reyes La Paz Estado de México y un abonado que se encuentra en París Francia con el número telefónico 523-44-6.

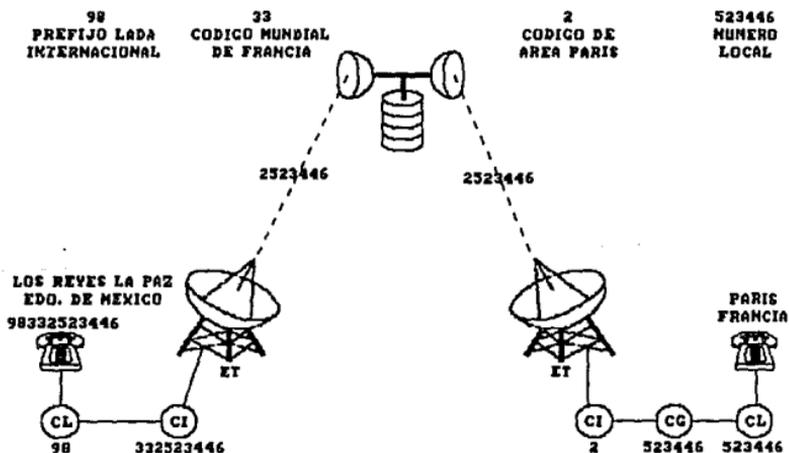


FIGURA 1.9 Enrutamiento de una llamada internacional vía satélite

C) Plan de Transmisión.- El objetivo de este plan de transmisión es asegurar que los suscriptores se puedan comunicar unos con otros con un grado aceptable de claridad, facilidad y calidad mínima en la reproducción de la voz. Además se encarga de identificar y repartir cada uno de los distintos parámetros que degradan la comunicación (tales como equivalentes de referencia, ruido, etc.), a fin de obtener la calidad de servicio satisfactoria. Esto implica determinar el grado de deterioro de la transmisión en una conexión telefónica y distribuir este deterioro entre las diferentes secciones de la red.

De acuerdo con el CCITT, se pueden considerar dos extremos en lo que respecta a la transmisión.

- 1) La manera más económica consiste en determinar el máximo deterioro de la transmisión tolerable por los suscriptores y en diseñar la red para que ninguna conexión sea innecesariamente mejor que este patrón.
- 2) En el caso de que se requiera nitidez y facilidad en la conversación telefónica la manera ideal sería determinar el rango de calidad de transmisión que fuera satisfactorio para la mayoría de los suscriptores telefónicos y luego diseñar la red para que la calidad de transmisión de todas las conexiones esté dentro de este rango.

1.3 ORGANIZACION TECNICA DE LA RED TELEFONICA

La organización técnica es la imagen del camino que sigue la conexión para enlazar dos aparatos telefónicos y de los equipos que se utilizan para la conexión como se muestra en la figura 1.10.

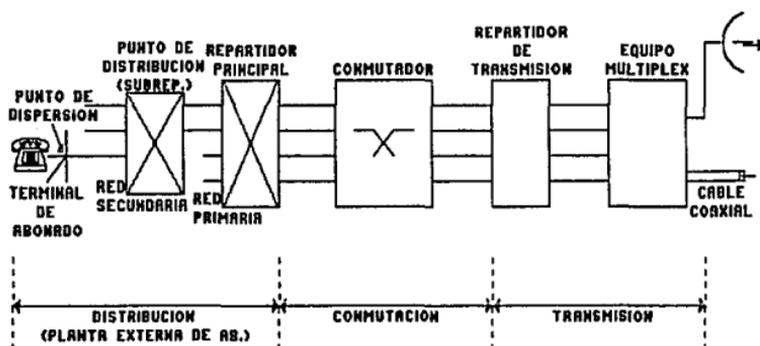


FIGURA 1.10 Red telefónica

Esta organización da origen a tres partes las cuales son:

- a) **Distribución:** Está constituida por la red que se encuentra entre los aparatos telefónicos y su central de enlace. La función es permitir la conexión de los aparatos telefónicos a la central telefónica de manera práctica, flexible y económica.
- b) **Conmutación:** Permite conectar de forma transitoria la línea del abonado que se llama con la del abonado llamado, o si éste pertenece a otro conmutador, con un circuito que llegue al conmutador más cercano al abonado solicitado.
- c) **Transmisión:** Su función es la de permitir enlazar los conmutadores entre sí, desde el punto de vista de envío y de recepción de las señales que se deben intercambiar.

1.4 CENTRAL TELEFONICA

El alma de la telefonía la constituyen las centrales telefónicas (o conmutadores). Estas se consideran como los nodos de la red telefónica automática. Dependiendo de su categoría, la central realiza una o varias conexiones que pueden ser las siguientes:

- Conexión entre dos líneas de abonado de una misma central (comunicación local).

- Conexión entre una línea de abonado y una troncal de salida (comunicación urbana o interurbana de salida).
- Conexión entre una troncal de entrada y una línea de abonado (comunicación urbana o interurbana de entrada).
- Conexión entre dos troncales de dos conmutadores distintos (comunicación de tránsito).

En relación a las conexiones anteriores, se puede mencionar los siguientes puntos:

- 1) Cuando el conmutador realiza los tres primeros tipos de conexiones se dice que es un conmutador para abonados.
- 2) Cuando sólo realiza el cuarto tipo de conexión se dice que es un conmutador de tránsito.
- 3) Cuando realiza los cuatro tipos de conexiones se dice que es un conmutador universal.
- 4) Se dice que un conmutador presenta "autonomía de encaminamiento" cuando se tiene que hacer uso de la información de destino para seleccionar la troncal de salida, es decir, para enrutar la llamada.

Debido a la naturaleza distinta de la línea de abonado y la troncal, un conmutador de abonados maneja mucho más líneas de abonados que troncales hacia otros conmutadores. El conmutador realiza entonces la "concentración de tráfico" desde las líneas de abonado hasta las troncales. El conmutador de tránsito no necesita concentrar el tráfico, se encarga únicamente de su distribución hacia las diferentes troncales de salida.

Los cuatro tipos de conexiones anteriores se ilustran en la figura 1.11, que corresponden a cuatro tipos de llamadas, que los abonados telefónicos pueden realizar a través de su conmutador, estas llamadas son las siguientes:

- 1) Llamada local.
- 2) Llamada entrante.
- 3) Llamada saliente.
- 4) Llamada de tránsito.

El conjunto de troncales hacia un mismo conmutador constituye un grupo (vía o ruta) de troncales. Si estas troncales sólo se usan para llamadas de salida constituyen un grupo de troncales de salida. Si sólo se utilizan para

llamadas de entrada es un grupo de troncales de entrada (un grupo de troncales debe provenir de un mismo conmutador).

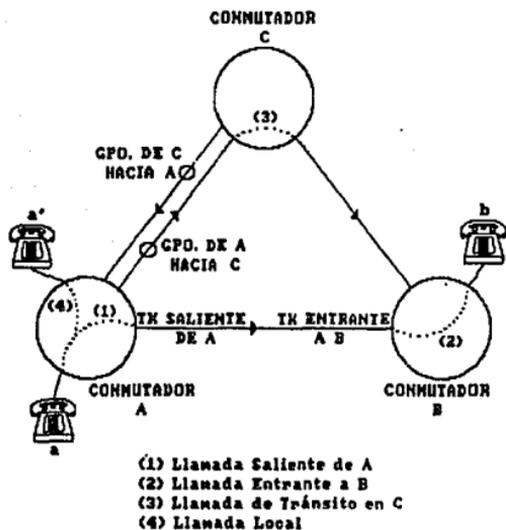
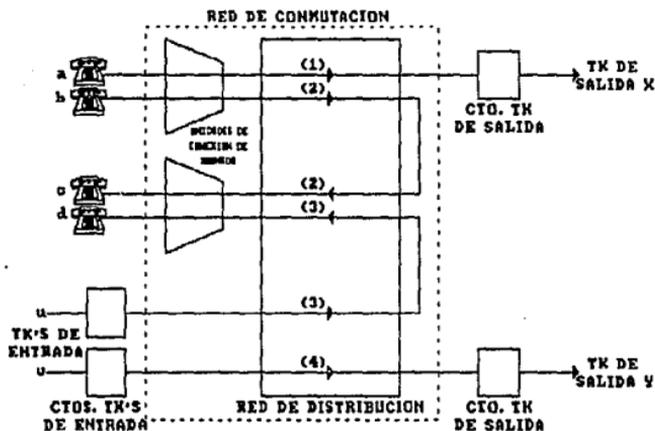


FIGURA 1.11 Tipos de llamadas

Se dice que una troncal es bidireccional si se emplea para cursar llamadas tanto de entrada como de salida.

La figura 1.12 ilustra de manera más detallada las diferentes conexiones que se realizan en un conmutador que, a

su vez, dependen del tipo de llamada que se realiza. Para la llamada de tránsito, la red de distribución (o red de selección de grupo) maneja el mismo número de entradas que de salidas.



- (1) Llamada de salida del abonado "a" hacia la troncal "X"
 (2) Llamada local del abonado "b" con el abonado "c"
 (3) Llamada de entrada troncal "u" hacia abonado "d"
 (4) Llamada de tránsito troncal "u" hacia troncal "Y"

FIGURA 1.12. Diferentes llamadas a través de una central local.

Para las llamadas de entrada, los dispositivos de conexión que se utilizan deben poseer estructura de expansión, son las, "unidades de conexión de abonados" (o de

selección de línea) que atienden, cada una, a un subgrupo de abonados. Para tener acceso a todas estas unidades, la llamada entrante pasa primero por la red de distribución, que la dirige hacia la unidad de conexión apropiada. La llamada de salida requiere la estructura de concentración, se emplea la misma unidad de conexión de abonados implementada en sentido inverso.

Esencialmente, la llamada local se puede considerar como llamada de salida seguida de una llamada de entrada, por lo tanto pasará a través de la red de concentración, la red de distribución y después por la red de expansión, como se muestra en la figura 1.12.

1.5 FUNCIONES DE UN CONMUTADOR

Independientemente de la técnica de conmutación, el conmutador debe realizar tareas tales como:

- a) Interpretación de señales de abonado (tono de invitación a marcar, tono de ocupado, etc).
- b) Recibir y registrar los dígitos de la información de destino y, en base a esta información, realizar la

selección y establecimiento de trayectorias internas hacia el abonado llamado o hacia la troncal de salida.

- c) Transmitir hacia el conmutador distante la solicitud de llamada así como los dígitos que se necesitan para su establecimiento (enrutamiento), etc.

Para que el conmutador lleve a cabo estas tareas necesita desarrollar las siguientes funciones:

- Función de conmutación: Se encarga del establecimiento de las conexiones.
- Función de señalización: Es el intercambio de información.
- Función de control: Gobierna las funciones de conmutación y señalización.
- Función de tasación: Se encarga de realizar el cobro de las llamadas.
- Función de operación y mantenimiento: Se encarga de conseguir el funcionamiento óptimo del sistema, así como su administración apropiada.

Se hará énfasis en la función de conmutación debido a que es muy importante para la realización de conexiones

"transitorias" entre líneas de abonado, entre línea de abonado y troncales, etc., y debido que la parte que realiza esta función es el objetivo principal de esta tesis. Los dispositivos que realizan la función de conmutación, constituyen la RED DE CONMUTACION de la Central Telefónica.

Características de una red de conmutación.- Sobre esta parte del equipo de conmutación se llevan a cabo las conexiones entre los abonados que llaman y los llamados y, a través de estas conexiones se transmiten las señales de voz. En consecuencia, dichas conexiones deben mantenerse durante el tiempo que dure la conversación e interrumpirse cuando se termina.

El arreglo básico para la construcción de la red de conmutación de una central es la matriz de conmutación. En la figura 1.13 se ilustra dicho concepto, en el que cualquiera de P entradas puede conectarse con cualquiera de N salidas (accesibilidad completa).

Si $N < P$, la matriz permite el establecimiento de N conexiones con un total de $N \times P$ puntos de conexión (pc). Esta sería una matriz de concentración. En la matriz de expansión $P < N$ y en la matriz cuadrada o de distribución $P = N$.

Las redes de gran capacidad se construyen mediante la combinación de gran número de los tres tipos de matrices

anteriores. En la figura 1.14 se ilustra el concepto anterior para la construcción de una red de tres etapas $N \times P$ entradas y $N \times P$ salidas.

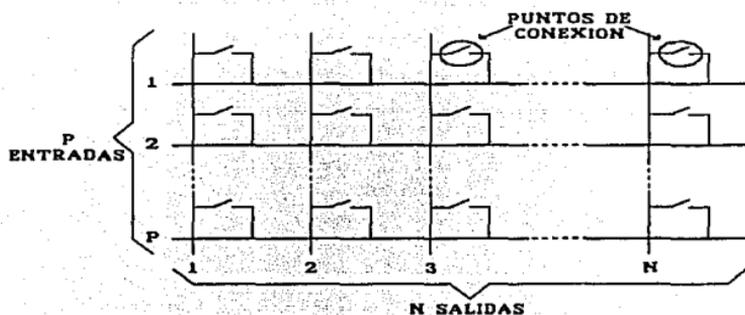


FIGURA 1.13 Matriz de conmutación.

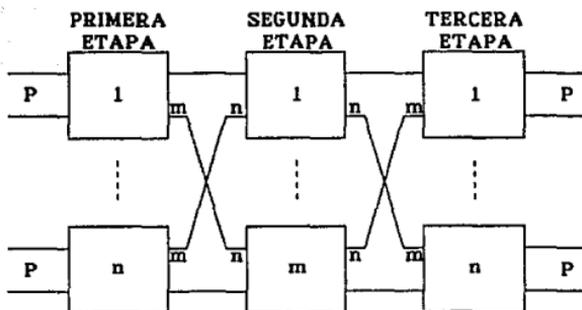


FIGURA 1.14 Red en malla de tres etapas (red de eslabones)

CAPITULO 2

ELEMENTOS DE DIGITALIZACION

2.1 FUNDAMENTOS DE DIGITALIZACION

El rápido desarrollo de las computadoras en las últimas décadas, ha fomentado la introducción de estas máquinas en casi todos los campos de actividad. En lo que se refiere al campo de la telefonía. El primer paso en esta dirección fue la introducción, hace unos 20 años de centrales controladas por computadora con selectores analógicos.

El paso siguiente era evidente, es decir, digitalizar todo el proceso de conmutación en las centrales. Pronto se comprobó que tales centrales podrían hacerse muy competitivas, tanto económica como técnicamente, en comparación con las centrales analógicas. El requisito previo para usar centrales digitales es que las señales de voz se conviertan a la forma digital. Este proceso de conversión se consigue mediante la MCP (MODULACION POR CODIFICACION DE PULSOS): La MCP es entonces una técnica para digitalizar las señales analógicas sobre la que se sustentan los sistemas de transmisión digital para el transporte de información.

Por otro lado, la MCP también constituye el principio de operación de las centrales digitales. En otras palabras la conmutación telefónica moderna (digital) se efectúa sobre señales digitales o previamente digitalizadas.

El creciente tráfico telefónico ha aumentado la necesidad de circuitos entre centrales. Los cables telefónicos tendidos varias décadas atrás, por lo general no pueden satisfacer esta necesidad.

Puesto que el tender nuevos cables en redes urbanas normalmente es antieconómico y a veces impráctico, es muy importante disponer de un sistema de transmisión multicanal que pueda usar como medio de transmisión los pares de cables ya existentes. La MCP es el sistema que llena este requisito. Es cierto que los sistemas MDF también sirven para este propósito, pero en la mayoría de los casos MCP es el método más económico.

Resumiendo, el enorme y rápido éxito de la MCP se puede explicar por el hecho de que el sistema resuelve problemas reales al mismo tiempo que constituye una inversión orientada al futuro.

Las ventajas de la comunicación digital no son puramente económicas, presenta otras ventajas con respecto a la comunicación analógica, entre las cuales se pueden mencionar:

- La calidad de la voz es independiente de la distancia de transmisión, esto facilita la planeación y operación de la red.

- La comunicación digital es fuerte en el sentido que es más inmune al ruido y a la distorsión de canal.

- Los repetidores regenerativos a lo largo de la ruta de transmisión pueden detectar una señal digital y retransmitirla "limpia", es decir libre de ruido como una nueva señal. Estos repetidores evitan acumulación de ruido a lo largo de la ruta. Esto no es posible en la comunicación analógica.

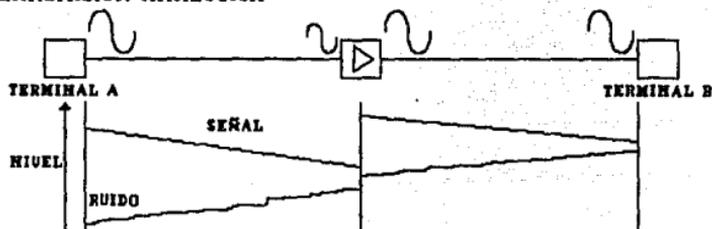
- La implementación del hardware digital es flexible y permite el uso de microprocesadores, minipprocesadores, conmutación digital y circuitos integrados a gran escala.

- Las señales digitales se pueden codificar para obtener tasas de error extremadamente bajas y alta fidelidad, así como privacidad.

- La conmutación digital es por naturaleza, más eficiente que la analógica en el intercambio de la relación señal a ruido con el ancho de banda, como se muestra en la figura 2.1.

La entrada a un sistema digital se encuentra en la forma de sucesión de dígitos; podría ser la salida de un conjunto de datos, de una computadora, o una señal de voz digitalizada (MCP).

TRANSMISION ANALOGICA



TRANSMISION DIGITAL

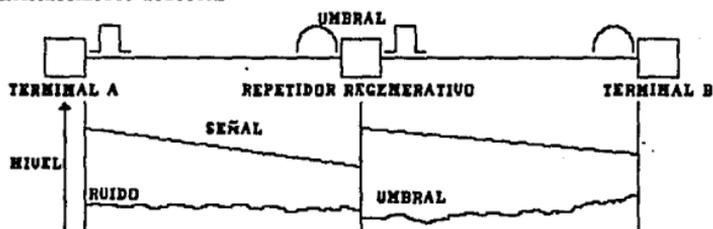


FIGURA 2.1 Relación señal a ruido

2.2 SISTEMA MCP (MODULACION POR CODIFICACION DE PULSOS)

MCP es un método de modulación mediante el cual la señal analógica de información se convierte a la forma digital como se muestra en la figura 2.2. El método se caracteriza por tres procesos:

a) Muestreo

b) Cuantificación

c) Codificación

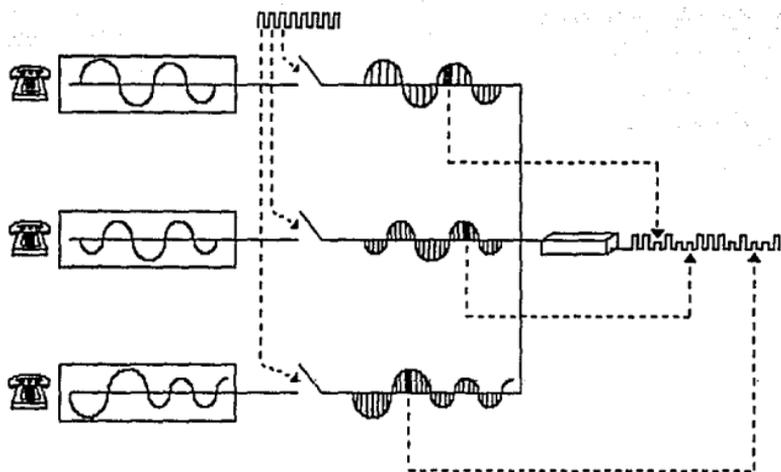


FIGURA 2.2 Principio de la modulación por codificación de pulsos (MCP)

La cuantificación y codificación forman el concepto de "conversión analógica / digital".

a) Muestreo.- Significa que se toman muestras de las señales analógicas a intervalos regulares, muestras muy breves,

como se ilustra en la figura 2.3. La duración es tan corta que el valor de la señal puede considerarse como instantáneo y se convierte a digital, proceso que toma cierto tiempo. No se puede tratar una nueva muestra hasta que el proceso del anterior esté terminado.

El teorema de muestreo establece lo siguiente: Una señal limitada en banda y muestreada contiene la información completa e inequívoca de la señal de información, a condición de que la frecuencia de muestreo, f_m , sea por lo menos el doble de la frecuencia más alta de la señal analógica. Como la señal analógica en telefonía tiene una banda limitada de 300 a 3400 Hertz; la frecuencia de muestreo de 8000 Hz. ($F_M = 2f_m = 2 (3400 \text{ Hz.}) \approx 8000 \text{ Hz.}$) es suficiente. Como se muestra en la figura 2.3.



FIGURA 2.3 Muestreo de una señal analógica

MAP (Modulación por amplitud de pulsos). Es el resultado directo del muestreo de la señal de voz y son pulsos que portan en su altura la amplitud instantánea de la señal (se dice que las muestras que se transmiten son analógicas).

- b) Cuantificación.- Al estudiar una muestra aislada, se encuentra que puede tomar un número infinito de valores dentro del rango de amplitud de la señal analógica. En consecuencia, para representar su valor exactamente se debe de tener acceso a una palabra digital de longitud infinita, lo que exigiría un medio de transmisión con ancho de banda infinito. Puesto que en la práctica no se dispone de tal medio se hace necesario limitar la longitud de la palabra y al determinar los valores de la muestra en forma digital se obtendrán valores aproximados, lo cual nos introduce un ruido llamado "ruido de cuantificación". Por lo anterior cada valor instantáneo de señal obtenido durante el muestreo, tiene que ser forzado a tomar un cierto valor para que pueda ser codificado; a estos valores se les llama intervalos de cuantificación como se muestra en la figura 2.4.

Una señal cuantificada puede tomar un número finito de valores, lo contrario de una señal analógica que puede tomar un número infinito de valores.

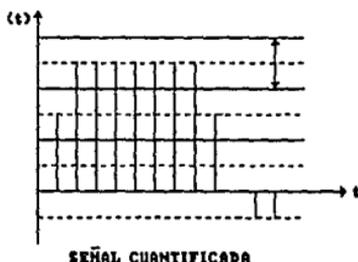


FIGURA 2.4 Cuantificación de una señal

- c) Codificación.- A la cuantificación sigue la codificación. En MCP, los niveles de cuantificación se designan, o mejor dicho se enumeran, en forma binaria, como se muestra en la figura 2.5.

Ahora se presenta el diagrama de flujo de la secuencia que lleva el principio de MCP, como se ilustra en la figura 2.6.

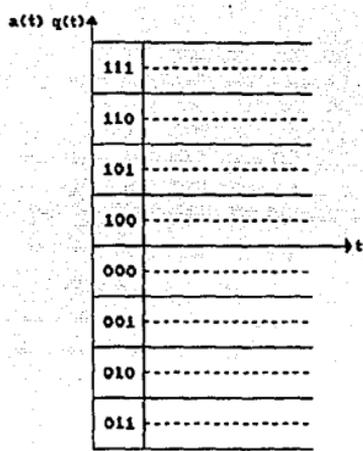


FIGURA 2.5 Codificación de señales

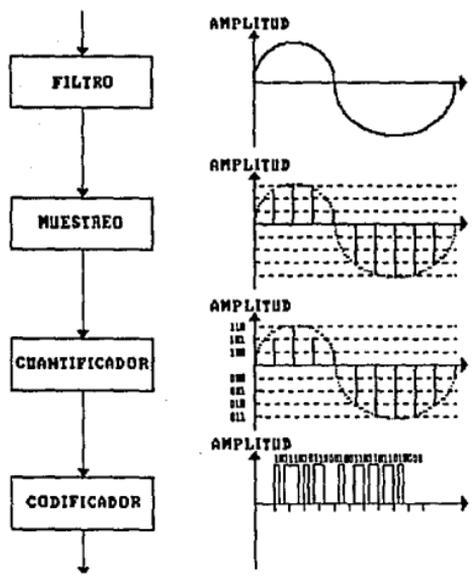


FIGURA 2.6 Diagrama de flujo del principio del MCP

La señal de información se ha convertido ahora a la forma digital. La señal digital se convierte después en un tren de pulsos que se emiten, por un canal de transmisión, hacia el receptor.

El receptor tiene un decodificador que puede interpretar las palabras digitales y volver a crear la señal cuantificada, que finalmente se transforma de modo que se parezca lo más posible a la señal original como se muestra en la figura 2.7.

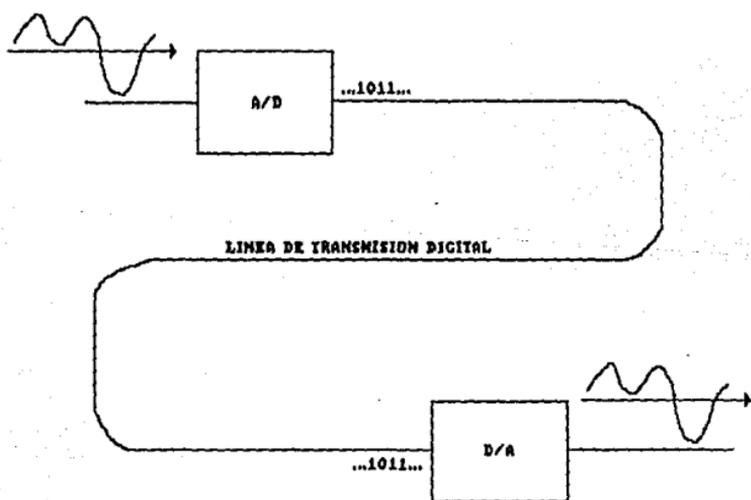


FIGURA 2.7 Ejemplo de una transmisión MCP

2.3 EL MCP EN LA TELEFONIA

En el punto 2.2 se describió el proceso de conversión de analógico a digital (conversión A/D). Este punto describirá la manera como el sistema MCP está diseñado para usarse en telefonía. Esta descripción incluye estructura de trama, señalización y sincronía en el sistema MCP.

Dos diferentes sistemas de transmisión MCP están actualmente en uso.

El primero en introducirse fue el sistema de 24 canales desarrollado por los laboratorios Bell, el cual se usa en E.U.A., Japón y otros países. El otro es el sistema Europeo el cual se utiliza en México.

El principio de los dos sistemas son similares, sin embargo los métodos utilizados para la sincronía, codificación, etc. difieren. La siguiente descripción se basa en el sistema Europeo.

Sistema de 30 canales. Este sistema pueda soportar 30 canales telefónicos en una línea, pero además necesita de un canal para sincronía y otro para señalización, por lo cual el sistema está formado por un total de 32 canales (intervalos de tiempo o ranuras de tiempo). Cada palabra (muestra

codificada) está formada por 8 bits y cada muestra se toma con la frecuencia de 8000 Hz. por lo que la velocidad de transmisión de un canal es de 64 Kbits/seg. Como en total se transmiten 32 intervalos de tiempo, el sistema tiene la velocidad de 2048 Kbits/seg. La estructura de trama se describe en la figura 2.8.

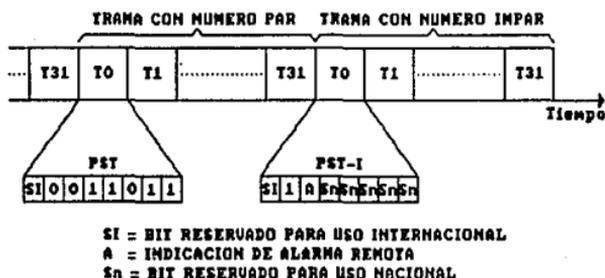


FIGURA 2.8 La estructura de trama

Los 30 canales de voz están situados en los intervalos de tiempo 1-15 y 17-31 (esos intervalos de tiempo se conocen como canales de voz del 1-30). Como se mencionó anteriormente cada canal telefónico está formado por 8 bits desde la conversión analógica a digital.

El canal de sincronía está localizado en el intervalo de tiempo 0. En el intervalo de tiempo 0 en las tramas pares se

inserta una palabra de sincronía de trama (PST). Las alarmas, etc. se pueden transmitir en el intervalo de tiempo 0 en las tramas impares (PST-I). La palabra de sincronía de trama tiene el patrón X0011011 (donde X se reserva para otros usos). La otra palabra en el intervalo de tiempo 0 deberá tener un 1 en el segundo bit para evitar que se confunda con la palabra de sincronía como se ilustra en la figura 2.9.

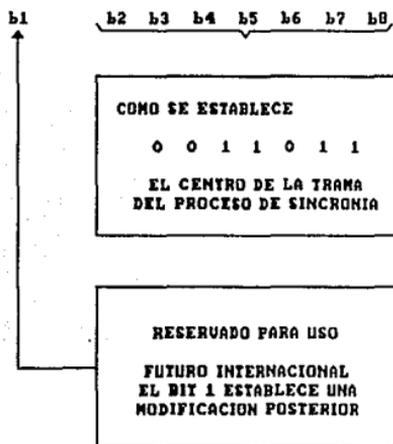


FIGURA 2.9 Palabra de sincronía de trama PST

Canales de señalización/estructura de multitrama. Además de los canales de voz el sistema deberá transmitir información de señalización para controlar y supervisar los

canales telefónicos. El intervalo de tiempo 16 se emplea para este propósito. La señalización se transmite con 4 bits. Estos indicarán si el canal de voz está ocupado, en diálogo o libre. La multitrama se usa para poder señalizar a los 30 canales de voz, ya que solamente dos canales pueden ser señalizados por trama.

Una multitrama está formada por 16 tramas, por lo que es necesario una palabra de alineamiento de multitrama (PSTM). Esta palabra se transmite en el intervalo de tiempo 16 en la trama 0.

Los bits de señalización de los canales de voz 1 y 16 se transmiten en el intervalo de tiempo 16 de la trama 1, esto se repite con los bits de señalización de los canales de voz 2 y 17 en el intervalo de tiempo 16 de la trama 2 y todos los demás como se muestra en la figura 2.10.

2.4 METODOS PARA LA MAXIMA TRANSFERENCIA DE INFORMACION

Un aspecto secundario, pero igualmente importante, es que las señales codificadas se diseñan para llevar el máximo de información considerando que todos los pasos de cuantificación (significados o caracteres) tienen igual posibilidad de ocurrencia (es decir, se supone que el nivel

de amplitud de la señal obedece a una distribución de probabilidad uniforme entre 0 y + el voltaje máximo de canal). Para resolver el problema de la no equidad en la probabilidad del nivel de la señal en las señales de voz, (específicamente la probabilidad de las señales de niveles bajos es mayor que el de las señales de niveles altos), se usan grandes pasos de cuantificación para la porción de la señal con mayor amplitud y pasos más finos para las señales con menor amplitud, este método se le denomina cuantificación no uniforme durante el proceso de codificación. Por lo tanto existen dos métodos para reducir la cantidad total de pasos de cuantificación los cuales son:

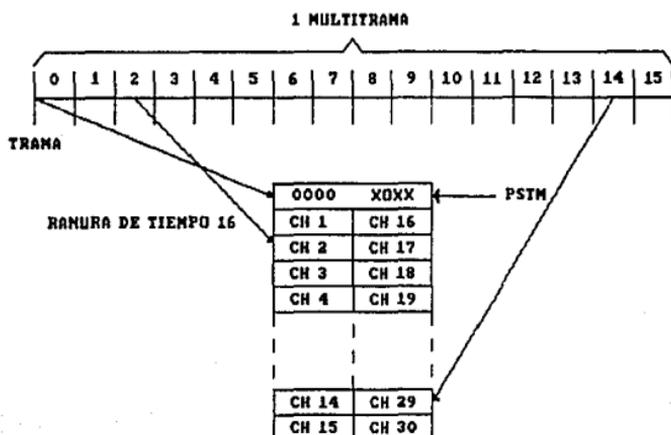


FIGURA 2.10 Estructura de multitrama

- a) Compresión de la señal antes de que entre el codificador, el cual realiza entonces una cuantificación uniforme sobre la señal que resulta, antes de hacer la codificación. En el extremo receptor la expansión se hace después de la decodificación.
- b) Cuantificación no uniforme durante el proceso de codificación. Este se usa para tener un granulo más fino (más pasos) para las señales de amplitud más pequeña. La función de compresión y la posterior de expansión siguen una de las dos leyes, la ley A o la ley "mu" (μ). Estas son llamadas códigos logarítmicos MCP. EL CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía) ha recomendado las dos leyes antes mencionadas para la compre-expansión analógica y digital.

En los sistemas MCP reales, la circuitería que hace la compresión no proporciona una replica exacta de la curva logarítmica que se muestra. La circuitería produce una curva de segmentos equivalentes, la cual se aproxima más a la curva logarítmica real que se desea entre mayor sea la cantidad de segmentos.

El proceso de codificación está en estrecha relación con la cuantificación. En los sistemas prácticos, bien sea que se use la ley A, o la ley "mu", para la cuantificación se usan las curvas de segmentos equivalentes a la curva de compresión

como se muestra en las figuras 2.11 y 2.13. Las curvas de segmentos son una buena ayuda para codificar. Considérese el sistema MCP Europeo de 32 canales el cual emplea una aproximación de 13 segmentos a la curva de la ley A (figura 2.11); la fig 2.12 ilustra un ejemplo de tal codificación con su correspondiente amplificación (212). El primer elemento del código indica si el paso de cuantificación está en la mitad positiva o negativa de la curva. Por ejemplo, si el primer elemento del código fuera 1 indicaría que el valor es positivo, los 3 siguientes dígitos del código se usan para indicar el número de segmentos y los 4 dígitos restantes de los 8 del código se usan para dividir cada segmento en 16 partes iguales para identificar con mayor exactitud el paso de cuantificación.

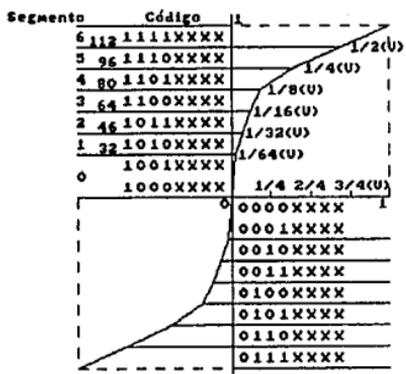


FIGURA 2.11 Cuantificación y codificación que se usan en el sistema MCP de 32 canales

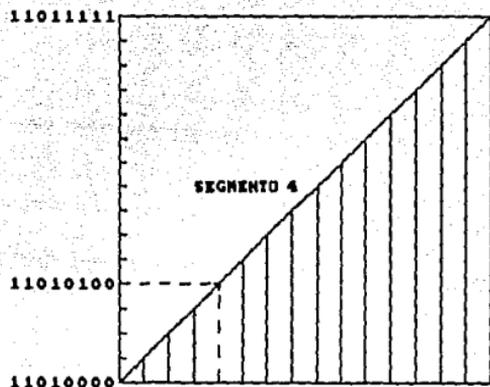


FIGURA 2.12 Codificación del segmento 4 (positivo) del sistema MCP de 32 canales

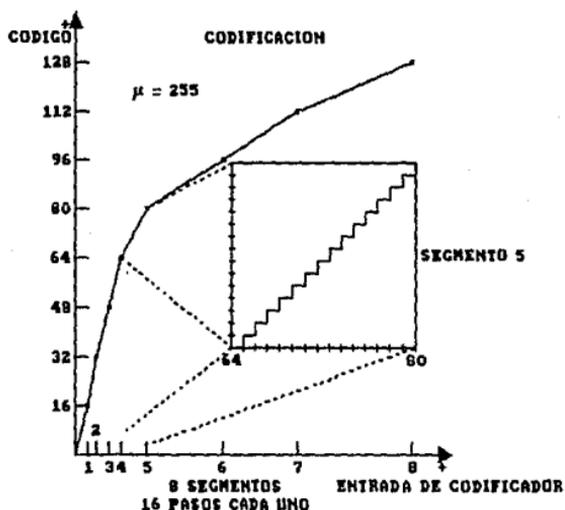


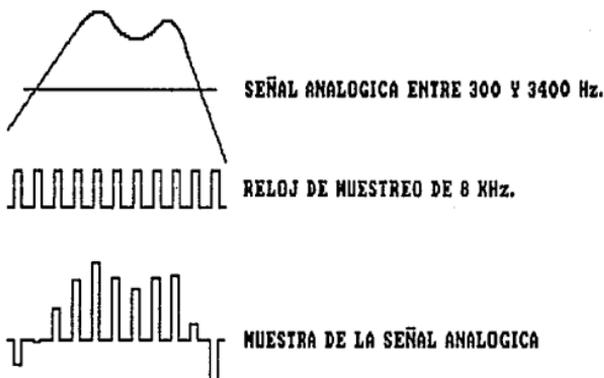
FIGURA 2.13 Porción positiva de la aproximación por segmentos de la curva de cuantificación de la ley μ que se usan en el equipo de canalización MCP norteamericano.

2.5 MULTIPLEX DIGITAL

2.5.1 MULTIPLEX DE PRIMER ORDEN

En México y Europa el múltiplex de primer orden MCP (PCM=MODULATION = MIC: Modulación por Impulsos Codificados) se utilizan las recomendaciones de CCITT para el Múltiplex de 30 canales telefónicos a una señal digital de 2048 kbps.

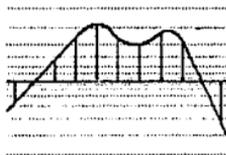
Cada canal telefónico analógico se convierte en una señal digital de 64 kbps, mediante un muestreo a 8KHz y una codificación de cada muestra en 8 bits.



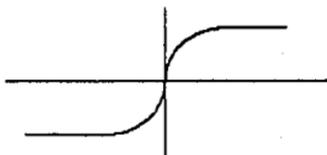
El muestreo consiste en cortar partes de la señal, dejándola pasar a través de un conmutador (FET) controlado por el reloj de 8 KHz.

Cada muestra se codifica en un numero de -127 hasta +127, según su altura. El numero es expresado en ocho bits.

La codificación no es lineal sino según una ley de compresión, donde hay mas pasos (números) en el área de bajo nivel que en el área de alto nivel.



CODIFICACION



LEY DE COMPRESION: A

La compresión de la señal es normalizada según una ley A (EEUU es la ley u) para disminuir el llamado ruido de cuantización para bajos niveles de señal.

Este ruido se origina en la diferencia que hay entre la altura real de la muestra y el nivel mas cercano que se puede

asignar numéricamente a esta altura. (hay un error máximo de 1/2 paso).

En resumen:

En cada canal telefónico se codifican 8000 muestras por segundo en 8 bits, dando una señal digital de $8000 \times 8 = 64$ kbps.

Cada canal tiene aparte de su señal de voz, también una señalización. Para transmitir la señalización en la misma manera (digitalmente) se multiplexa las señales de señalización de 30 canales telefónicos en una señal digital de 64 kbps.

Ahora hay que multiplexar las 30 señales de 64 kbps, correspondiendo con los 30 canales telefónicos y la señal de 64 kbps que corresponde con la señalización de estos 30 canales.

Se necesita para esto una temporización para que en el lado distante se puede demultiplexar la señal de nuevo sin equivocarse entre diferentes canales. La única función de esta temporización es indicar donde está el primer canal, así que también se sabe donde están los demás canales, teniendo un reloj bastante exacto.

El proceso de multiplexar consiste en poner todos los bits que hay que transmitir en una secuencia normalizada.

Para esto se divide la señal en 32 intervalos de 8 bits cada uno y se numeran estos intervalos de 0 (cero) a 31:

- 30 intervalos para las 30 muestras codificadas (uno por canal de voz).
- 1 intervalo para la señalización.
- 1 intervalo para la sincronización.

Así se obtienen $32 \text{ intervalos} \times 8 \text{ bits} = 256 \text{ bits}$.

Se denomina al conjunto de 32 intervalos como una trama, así que cada trama contiene una muestra de cada canal.

Se necesita transmitir 8000 muestras de cada canal por segundo, entonces $8000 \text{ tramas de } 256 \text{ bits por segundo} = 2048 \text{ kbps}$.

2.5.2 COMPOSICION DE TRAMAS DE PRIMER ORDEN

El primer intervalo (TSo) es una palabra de 8 bits llamada la palabra de alineación (sincronización) de trama e indica el inicio de la trama.

Al recibir la terminal distante esta palabra, inicia su conteo de intervalos (timeslots) en cero, contando los demás intervalos con su reloj interno.

Del segundo intervalo hasta el intervalo 15 (TSi hasta TS15) contienen las palabras con los códigos de alturas de las muestras de los canales 1 hasta 15.

El intervalo 16 contiene 8 bits de datos acerca de la señalización.

Los intervalos 17 hasta 31 contienen los datos de las muestras de los canales 16 hasta 30.

Las tramas pares (trama 0, 2, 4, ...) tienen en TSo la palabra de alineación de trama como ya se mencionó.

Las demás tramas (1, 3, 5, ...) tienen en TSo una palabra de transmisión de alarmas. El bit 3 de esta palabra

es para indicar a la terminal distante que nuestra terminal tiene falla.

Para transmitir la información de señalización de los 30 canales se tienen solamente 8 bits por trama (TS16), los cuales no son suficientes para los 30 canales. Por esto se divide la información de señalización sobre 16 tramas.

Se numeran las tramas de 0 hasta 15 y se le llama al conjunto de 16 tramas una multitrama.

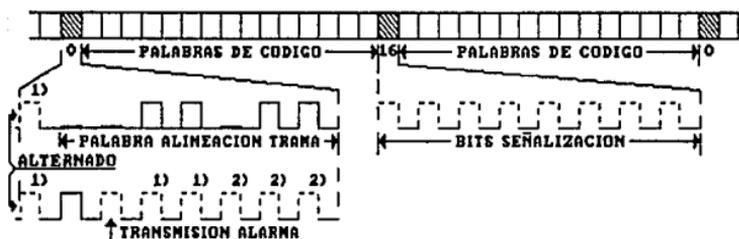
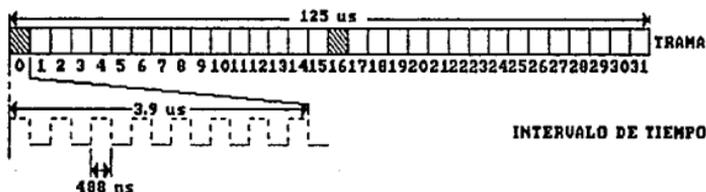
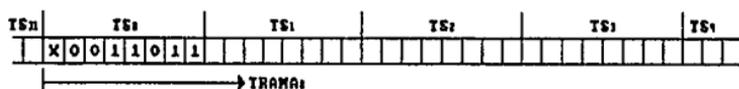
El TS16 de trama cero se inicia con una palabra de alineación de multitrama, indicando que es la trama cero. El bit 6 de esta palabra no es fijo, sino se le utiliza para indicar una falla en la señalización.

En TS16 de trama uno se usan 4 bits para la señalización de canal 1 y 4 bits para la de canal 16, en trama 2 va la señalización de canal 2 y 17, en trama 3 la de canal 3 y 18, etc.

De los cuatro bits disponibles para cada canal telefónico se utiliza normalmente uno o dos bits, dependiente del tipo de señalización.

De esta manera se envía la señalización de los 30 canales telefónicos 500 veces por segundo (8000 tramas /seg. entre 16 tramas = 500 multitramas/seg.).

La misma terminal de múltiplex, también es un demultiplex, donde todo lo anterior ocurre al revés. Se extrae de la señal de 2048 Kbps recibida, los treinta canales de voz junto con su señalización.



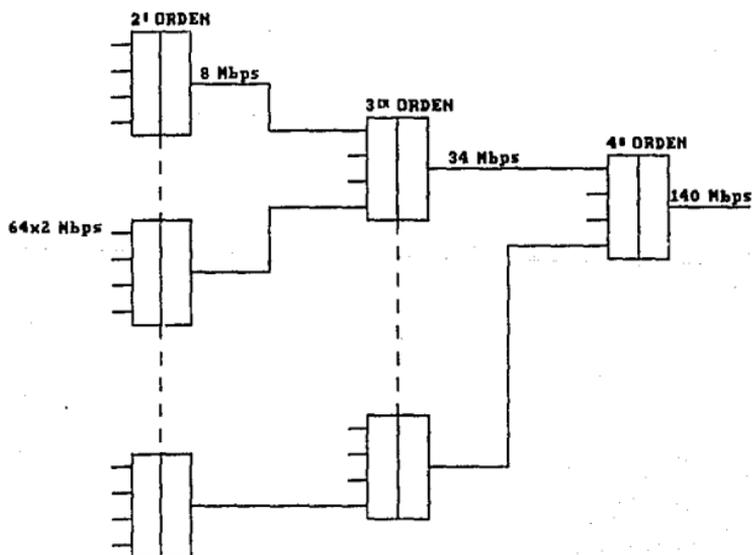
- 1) "0" o "1" A OPCION
- 2) EL BIT ES "1"

Estructura del multiplex por división del tiempo

2.5.3 MULTIPLEX DE ALTO ORDEN

Las señales de 2048 Kbps provenientes de los Múltiplex de primer orden, de una central digital o cualquier otra fuente, se puede multiplexar a un orden superior.

Cuatro señales de 2 Mbps a una señal de 8 Mbps, cuatro señales de 8 Mbps a una señal de 34 Mbps, cuatro señales de 34 Mbps a una señal de 140 Mbps.



El funcionamiento de los diferentes órdenes es básicamente igual entre sí. Solamente cambian las frecuencias.

Las señales digitales a multiplexar se denominan tributarios. Cada Múltiplex tiene 4 tributarios.

La frecuencia de los cuatro tributarios no son exactamente iguales, así que se usa una justificación positiva, insertando una cantidad de bits sin información.

Para esto se escriben los datos de un tributario en una memoria elástica bajo el control del reloj de este tributario y se lee esta memoria con una velocidad ligeramente más alta, llenando los espacios con bits sin información (bits sin justificación).

Se multiplexan las cuatro señales así obtenidas y se insertan bits de sincronización, bits que indican cuantos bits de justificación se usó y unos bits para transmitir alarmas.

Se forman así las tramas como las ilustradas en las siguientes figuras:

SUBTRAMAS DE SEGUNDO/TERCER ORDEN

SUBTRAMA I	1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 S S	212/384
SUBTRAMA II	C C C C	212/384
SUBTRAMA III	C C C C	212/384
SUBTRAMA IV	C C C C J J J J	212/384

SUBTRAMAS DE CUARTO ORDEN

SUBTRAMA I	1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 S S S S	488
SUBTRAMA II	C C C C	488
SUBTRAMA III	C C C C	488
SUBTRAMA IV	C C C C	488
SUBTRAMA V	C C C C	488
SUBTRAMA VI	C C C C J J J J	488

2.6 CODIGOS DE TRANSMISION

Para transmitir una señal a través de una línea de transmisión, esta señal debe de ser condicionada a la línea.

Para poder detectar el nivel momentáneo de un pulso (o no pulso), se debe de conocer un nivel de referencia, normalmente cero volts, así que no se puede permitir una tensión de cd en la línea.

En un punto cualquiera se debe de poder extraer la señal de reloj, así que se necesitan suficientes pulsos para no perder este reloj.

Se requiere un mínimo de redundancia para reducir el ancho banda de frecuencias, mientras la posibilidad de errores introducidas en la señal es mínima.

Además es útil de poder medir si ocurrieron en la señal recibida.

A continuación se describen unos códigos desarrollados para la transmisión digital.

2.6.1 EL CODIGO AMI

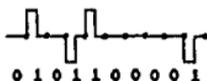
El código AMI (Alternate Mark Inversion = Inversión Alternativa de Signo), es muy usado para la transmisión digital sobre líneas multipar para señales MCP.

Es un código sencillo y da una indicación de los errores que se introducen en la señal.

Los bits "1" se representan mediante pulsos con la polaridad alternativamente invertida, mientras los bits "0" se representan por la falta de un pulso.

Nótese que el nivel de cd promedio es siempre cero, ya que por cada pulso positivo hay un pulso negativo.

Los errores son fácilmente detectables, ya que al faltar un pulso o al agregar un pulso habrán cuando menos dos pulsos seguidos con la misma polaridad, o sea una violación al código AMI.



En la transmisión de señales MCP no hay mucha posibilidad de que ocurran gran cantidad de bits "0" seguidos, así que difícilmente se pierde al sincronización del reloj. Sin embargo, cuando se usa la línea para la transmisión de datos no originarios de un sistema MCP (datos por computadores por ejemplo), si existe una cierta posibilidad de encontrarse con una gran cantidad de ceros (falta de pulso) seguidos y se podía perder la sincronía del

reloj. Para evitar un exceso de ceros en la señal AMI, se desarrolló el código HDB3.

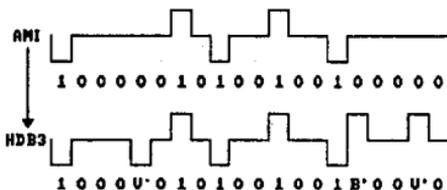
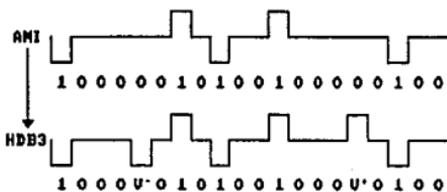
2.6.2 EL CODIGO HDB3

El código HDB3 (High Density Bipolar 3 = Bipolar de Alta Densidad 3) no admite una secuencia de más de 3 ceros seguidos.

La sustitución de cuatro ceros seguidos obedecen a 2 reglas sencillas:

1. El cuarto cero debe ser un pulso con la misma polaridad que el pulso inmediatamente anterior, violando así el código AMI (introducción de una violación bipolar).
2. La violación bipolar insertada en lugar del cuarto cero, debe ser de la polaridad opuesta a la de la violación anterior.

A veces se debe de cambiar el primero de los cuatro ceros en un "1" para satisfacer ambas condiciones mencionadas.



2.6.3 EL CODIGO BNZS

En EEUU y Canadá son muy comunes los códigos BNZS (Bipolar N-Zeros Substitution = Substitución de N-Ceros Bipolar), donde N es un número de ceros consecutivos que se va a substituir.

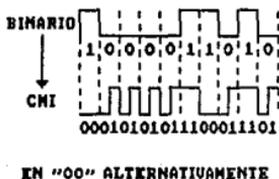
Los más comunes son los códigos B3ZS y B6ZS.

El código B3ZS es similar al HDB3 con la única diferencia que las violaciones bipolares se introducen en el tercer cero, así que "10000" se convierte en "100V0".

En el código B6ZS, simplemente se sustituye 6 ceros consecutivos por un patrón fijo: "000000" --> "0V10V1".

2.6.4 EL CODIGO CMI

Para velocidades de transmisión arriba de 50 Mbps, se usa el código CMI donde un cero se convierte en "01" y un uno se convierte en "11" o en "00" alternativamente.



2.6.5 LOS CODIGOS 1B/2B Y 5B/6B

Para la transmisión digital en fibras ópticas se utilizan el código 1B/2B para sistemas de 2 y 8 Mbps y el código 5B/6B para velocidades más altas.

El código 1B/2B traduce directamente los pulsos del código HDB3 en dos símbolos binarios.

HDB3:	+1	= 1B2B (MCM1):	11
	0		01
	-1		00

Este código 1B/2B duplica la velocidad de símbolos en la línea, pero la fibra óptica tiene un ancho de banda muy grande que permite esta redundancia.

Para velocidades más altas hay que reducir la redundancia y se usa el código 5B/6B que traduce cada secuencia de 5 bits en una secuencia de 6 bits.

CAPITULO 3
REDES DE CONMUTACION
DIGITAL

3.1 ESTRUCTURA GENERAL DE CONMUTACION DIGITAL.

Un acontecimiento de gran relevancia en la historia de la conmutación se registró en los Estados Unidos en 1965 con la introducción de los "Sistemas de control por programa almacenado" en su red telefónica pública. En estos sistemas se emplean computadores para el control de las funciones de la central. Los sistemas más modernos de este tipo se constituyen con redes de conmutación a base de dispositivos electrónicos por lo que son sistemas completamente electrónicos. Sin embargo, estos sistemas no son necesariamente digitales existiendo la mayoría de ellos en versiones analógicas.

Las primeras centrales digitales se diseñaron para operar en las redes terminales (centrales locales) proporcionando sólo los servicios que prestaron los primeros sistemas de programa almacenado. La central digital queda necesariamente instalada dentro de un ámbito de transmisión analógica, sin embargo, para la red de líneas de abonado es transparente, es decir el funcionamiento de la red es independiente del tipo de sistema de conmutación que se utilice, analógico o digital.

La introducción de centrales digitales interesa primordialmente a las compañías telefónicas prestadoras del servicio ya que pueden obtener grandes beneficios que se derivan de los siguientes aspectos:

- Menores costos de mantenimiento.
- Menores costos de espacio.
- Menores costos de ampliación.
- Menores costos de interfaz.
- Menores costos de fabricación con el tiempo.

En contraste con la red pública las redes de voz privadas están transformándose con el empleo exclusivo de la transmisión y la conmutación digitales. En algunos conmutadores privados (PBX) la digitalización se lleva a cabo desde el propio teléfono. Estos sistemas se pueden emplear para comunicaciones eficientes de voz y de datos. La motivación principal para digitalizar la voz en el teléfono se deriva necesariamente del deseo de proporcionar un eslabón digital para transmisión de datos.

En forma general, la estructura de un sistema de conmutación digital se puede representar con la figura 3.1, en la cual se indican los diferentes tipos de circuitos que se pueden conectar a la central. Dichos circuitos son los siguientes:

- I) Líneas de abonado tradicionales.- Son aquellas que están conectadas a un suscriptor específico, dichas líneas son analógicas y de banda base y constan de un par de hilos de cobre, bronce o hierro.
- II) Troncales analógicas (locales o interurbanas).- Son aquellas cuya conexión se comparten con diferentes centrales, y están constituidas de 2 o 4 hilos.
- III) Troncales digitales (locales o interurbanas).- Sobre enlaces de transmisión de 2, 8, o 34 Mbits/seg.

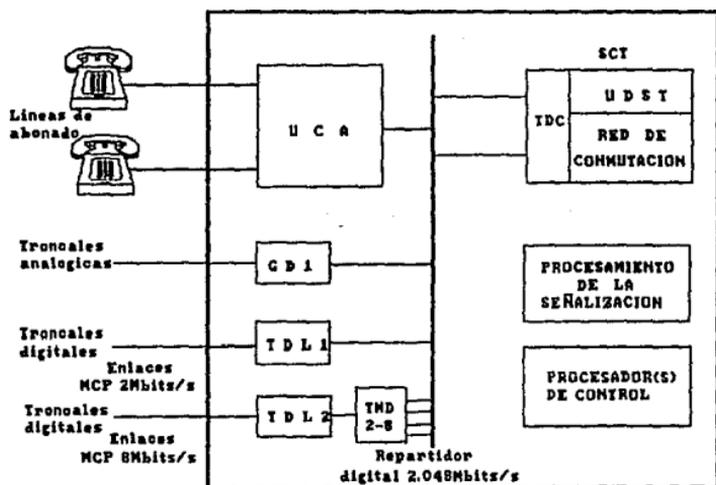


FIGURA 3.1 Configuración de un sistema de conmutación digital

Como se ve en la figura 3.1, los principales subsistemas que conforman a la central son:

I) La unidad de conexión de líneas de abonado (UCA).- Sus funciones principales son:

- Concentrar el tráfico de N líneas hacia el número menor de canales internos del sistema.

- Convertir a la forma digital las señales analógicas de voz y viceversa.

- Adaptar las señales que se intercambian entre abonados y la central. Eventualmente, la UCA también puede asumir algunas funciones de control.

II) El subsistema de conmutación temporal (SCT).- Se compone de 3 partes:

a) Terminales digitales de central (TDC).- Se encarga del acoplamiento eléctrico de las señales que se reciben desde los múltiples digitales externos.

b) Red de conmutación (RC).- Como se ha mencionado esta parte realiza las conexiones físicas entre abonados y troncales. En la conmutación digital (temporal) las conexiones siempre se llevan en base a 4 hilos, es

decir, las 2 direcciones de conversación se manejan sobre trayectorias de transmisión distintas.

c) Unidad de distribución de señales de tiempo o de reloj.- Esta unidad normalmente se centraliza y se encarga de suministrar la referencia de tiempo común a los diferentes subsistemas.

III) La interfaz de conexión de troncales analógicas, o grupo digital de orden 1 (GD1).- Esta parte se encarga de codificar en forma digital y multiplexar las troncales analógicas que deben ser conmutadas por el sistema. En algunos casos es necesario incluir acopladores para introducir en las ranuras de tiempo 16 y extraer de ellas la información de señalización asociada al canal. Se lleva en éstas la señalización junto con la información de la trama.

IV) Interfaz de conexión de troncales digitales, o terminal digital de línea (TDL).- Se encargan de acoplar a la central los enlaces intercentral digitales.

V) Terminal múltiplex digital (TMD).- Algunas centrales sólo permiten la conexión directa de enlaces de 2 y 3 Mbits/seg., por lo que los enlaces de mayor capacidad se deben primero demultiplexar para su conexión (en la figura 3.1., se muestra el enlace de 8 Mbits/seg.).

El subsistema de señalización y de control constituyen otras partes vitales de la central que se encargan de realizar las funciones similares de señalización y control que se llevan a cabo en los sistemas espaciales. Sus conexiones con el resto del equipo de la central no se ilustra en la figura 3.1, ya que las configuraciones varían considerablemente de sistema a sistema.

3.2 CONMUTACION POR DISTRIBUCION DE ESPACIO (CDE).

Por el tipo de información que conmutan la CDE se puede clasificar en:

I) Conmutación espacial analógica.

II) Conmutación espacial digital.

Conmutación por distribución de espacio analógica o simplemente espacial (CDEA).- Consiste en establecer físicamente una trayectoria continua de conexión entre la líneas de entrada y la de salida como se ilustra en la figura 3.2 . Esta trayectoria normalmente se construye conectando en serie varios "eslabones" mediante "puntos de conexión"

electrónicos que se caracterizan por ser dispositivos biestables.

La trayectoria en CDEA se caracteriza por dos cuestiones:

- i) La trayectoria establecida se asigna a una sola comunicación por todo el tiempo que esta dura.
- ii) Cierta número de comunicaciones simultáneas requiere de un número equivalente de trayectorias, todas ellas separadas en el espacio y una para cada comunicación. El promedio de trayectorias conectadas por unidad de tiempo es el tráfico en Erlangs que cursa la red.

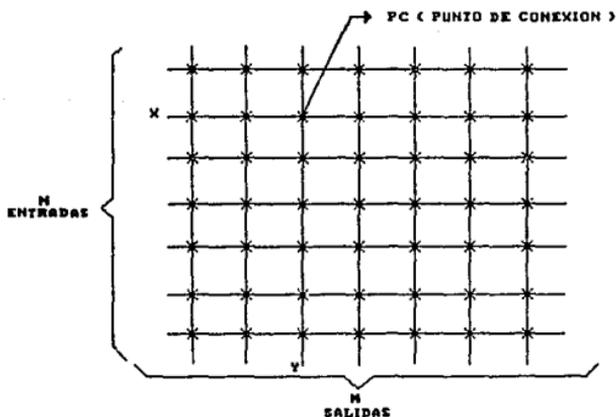


FIGURA 3.2 Conmutación por distribución de espacio

La determinación de los puntos de conexión que se deban operar para establecer la trayectoria específica se realiza mediante la "búsqueda de trayectorias". Con esta función se identifican los eslabones que entran y salen de los puntos de conexión y se detecta cuales eslabones están ocupados y cuales libres. Esta última tarea se realiza en dos formas:

- a) Mediante la prueba directa de ocupación de cada eslabón.
- b) Verificando en una memoria el valor del bit que indica el estado del eslabón con el cual está asociado (prueba sobre la imagen en memoria de la red)

En CDEA los puntos de conexión se arreglan en forma de matriz de salida operando el punto de conexión que corresponde a la intersección de ambas. Las diversas matrices se colocan en etapas sucesivas (de 4 a 8), interconectando las matrices contiguas mediante eslabones cuya distribución obedece a reglas precisas que tienden a lograr la mayor accesibilidad posible.

Un buen diseño de red de conexión se caracteriza por el gran número de trayectorias posibles que presenta para conectar dos terminales específicas de manera que, aún cuando se ocupen gran cantidad de puntos de conexión, la posibilidad de no encontrar trayectoria utilizable alguna (probabilidad de bloqueo) sea tan pequeña como sea posible.

En conmutación electrónica espacial la búsqueda de trayectorias se basa en el principio de "búsqueda de extremo a extremo". La red de conexión para CDEA incluye muchos puntos de conexión que cambian de estado relativamente con baja frecuencia (cuando se establece la conexión y cuando se libera) y también incluye mucho cableado.

Las centrales con CDEA siempre conmutan señales de voz analógicas, razón por la cual se dice que son centrales analógicas o de conmutación analógica.

Conmutación espacial digital (CDED).- Este tipo de conmutación se caracteriza por conmutar señales de tipo digital debido a que en la matriz de conmutación se utilizan compuertas digitales y estas únicamente manejan información de tipo digital con lo cual es imposible conmutar señales analógicas. En la figura 3.3 se ilustra una matriz de conmutación espacial apropiada para emplearse con señales digitales. La matriz está constituida de N entradas y M salidas con puntos de conexión digitales, la conexión entre una entrada y una salida se lleva a cabo con el simple hecho de habilitar la compuerta que conecta a las dos líneas. Tal operación requiere únicamente del voltaje de habilitación sobre la terminal de selección de la compuerta apropiada. En una columna sólo una compuerta se habilita a la vez; el comportamiento de las compuertas es tal que la compuerta que no se habilita no tiene efecto sobre su línea de salida, este tipo de compuertas lógicas no se puede

utilizar con trayectorias bidireccionales por lo tanto se deben establecer dos trayectorias sobre la matriz digital para permitir la conmutación en ambos sentidos.

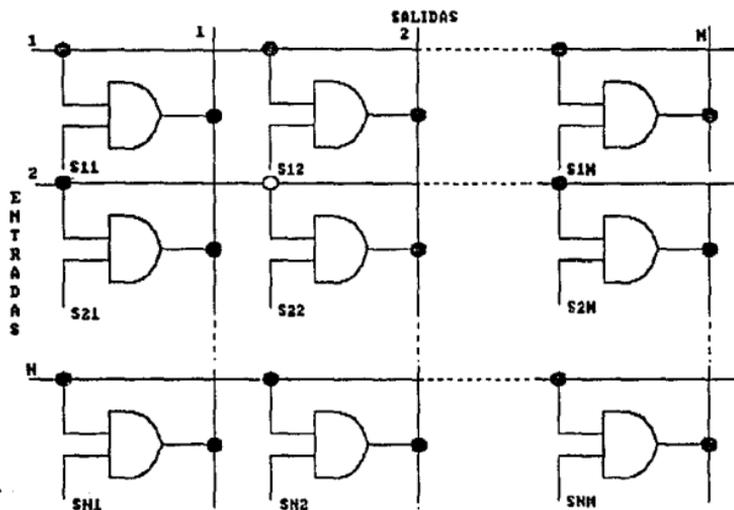


FIGURA 3.3 Matriz espacial para señales digitales

Utilizando como etapa de conmutación la matriz espacial digital de la figura 3.3, se estructurará un sistema de conmutación espacial para señales digitales como el de la figura 3.4. Como se observa cada vía de entrada cuenta con un multiplexor de T intervalos y cada vía de salida con su

demultiplexor de T intervalos. Cuando los multiplexores se conectan con el intervalo K, los demultiplexores se conectan con su intervalo K. La memoria de control (o de selección de compuerta) se constituye de T localidades que equivalen al número de intervalos. El contador de intervalos proporciona la dirección para leer la memoria y se incrementa a la velocidad de intervalos. El contenido de la palabra leída de la memoria es la información de las compuertas de la matriz espacial que se deben habilitar durante el intervalo correspondiente. El traductor decodifica la palabra y suministra la activación de habilitación de las compuertas. Solamente en cada columna de la matriz una compuerta se habilitará al mismo tiempo. Por ejemplo, en el intervalo de tiempo 1 la entrada 1 se conecte con la salida 7, la entrada 2 con la salida 9, etc. Durante el intervalo 2, puede ser que la entrada 1 se conecte con la salida 4, la entrada 2 con la salida 5, etc. Como se observa, este sistema no permite el intercambio de intervalos de tiempo; simplemente pasa el contenido del intervalo K de una entrada hacia el intervalo K de cualquier salida disponible. En este sistema se pueden establecer NT conexiones simultáneas, el sistema es equivalente a la matriz de $(NT)^2$.

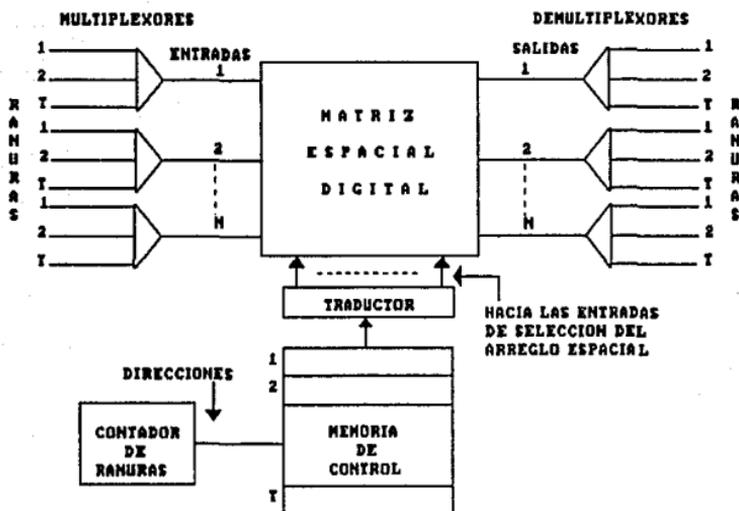


FIGURA 3.4 Sistema de conmutación espacial digital

3.3 CONMUTACION POR DISTRIBUCION DE TIEMPO (CDT).

En un conmutador CDT, todos los accesos están constituidos por canales multiplexados en el tiempo (vía). Es decir las líneas de entrada y de salida ya no son líneas individuales como en CDE, sino "líneas múltiplex" comunes a cierto número de canales (24 ó 32) en donde cada uno de los canales ocupa determinada posición en el tiempo ("ranuras o intervalos de tiempo" de 3.9 microsegundos) dentro de la trama múltiplex

periódica de 125 microsegundos. Estos canales pueden trasportar muestras analógicas (MAP) o digitales (MCP). En el primer caso, se trata de la CDT analógica lo cual significa que las muestras no se codifican digitalmente sino que sólo se muestrean (muestras MAP) y en el segundo, de la CDT digital en las que las muestras se codifican en binario. Por lo tanto se pueden clasificar en dos tipos:

- 1) Conmutación por distribución de tiempo analógica (CDTA).
- 2) Conmutación por distribución de tiempo digital (CDTD).

Conmutación por distribución de tiempo analógica (CDTA).- Este principio emplea un canal de comunicación para establecer diferentes conexiones mediante el cierre, por pares, de las compuertas para permitir, en un intervalo de tiempo el paso de una muestra MAP desde la interfaz de entrada hasta la interfaz de salida correspondiente. Las muestras MAP de las diferentes conexiones se transmiten en forma secuencial a través del canal de conmutación como se ilustra en la figura 3.5. Las líneas de abonado (1, 2, ..., N) se conectan a un canal común a través de compuertas analógicas que actúan como simples interruptores que se abren o cierran bajo el control del traductor. Bajo estas condiciones, si se desea establecer la comunicación del abonado j con el abonado k, se debe realizar el muestreo de la señal proveniente de j y enviar todas estas muestras hacia la línea del abonado k, se deben abrir las compuertas al mismo tiempo,

la de j y la de k durante el tiempo t que se necesite para que pase la muestra. Este tiempo t se determina por el número N de abonados que comparte el canal.

Por ejemplo si $N=50$, se podrán establecer por lo tanto $N/2=50/2=25$ conexiones como máximo (cada conexión implica dos abonados) y el tiempo $t=125 \text{ microsegundos}/25=5 \text{ microsegundos}$; siendo 125 microsegundos el intervalo de muestreo de Nyquist.

La memoria de escritura/lectura (RAM memoria de acceso aleatorio) de la figura 3.5 tiene la capacidad de $N/2$ palabras. Cada palabra es una instrucción codificada que indica las compuertas analógicas que se deben abrir para la transmisión de las muestras. Así, como se ilustra, la palabra 1 contiene la instrucción de que el abonado j se va a conectar con el abonado k. Cuando esta palabra se saca (al leer) de la memoria se aplica al traductor que entonces la decodifica y coloca sus "líneas de control de compuerta" de salida en el estado apropiado para que sólo las compuertas j y k se abran para la transmisión. La dirección que especifica la palabra que se va a leer se suministra desde un contador de módulo $N/2$.

El contador recorre sus estados mediante un reloj cuya velocidad asegura que dicho contador entregue todas las direcciones desde 1 hasta $N/2$ cada 125 microsegundos. Así, la frecuencia del reloj deberá de ser de $8000*(N/2)=40000N$, o sea de 200 khz. si $N=50$. Por supuesto, cuando algunas líneas de

abonado están desocupadas, correspondientemente existirán localidades de palabra en la memoria cuya información específica que ninguna compuerta se debe abrir. Cuando una llamada se inicia o se termina es necesario cambiar la palabra correspondiente. En consecuencia, la memoria se provee con facilidades tanto para leerla como para escribir sobre ella nuevas palabras. La figura 3.5 ilustra el dato de entrada de la nueva conexión. Por supuesto, dependiendo de las conexiones la instrucción de "conectar a j con k" se pueden almacenar en cualquiera de las localidades de la memoria. Es decir, no existe reservación de localidades de memoria para pares particulares de abonados.

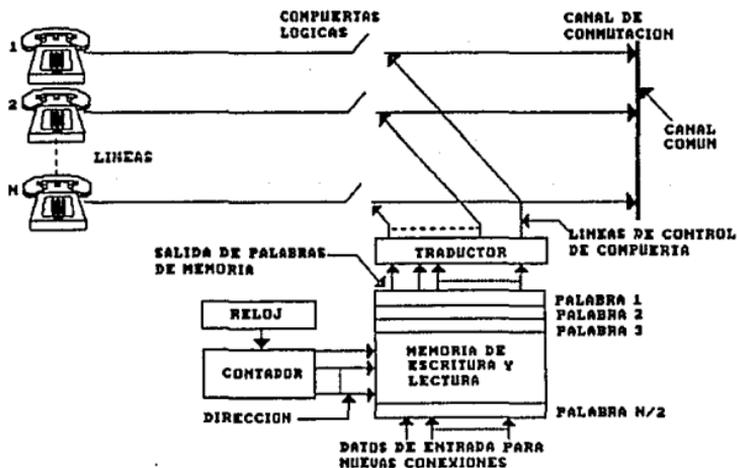


FIGURA 3.5 Conmutación por distribución de tiempo analógica

Commutación por distribución de tiempo digital (CDTD).- En este tipo de conmutación las muestras MAP se cuantifican y luego se codifican en binario para construir el formato MDT, en el que 32 ranuras de tiempo de 8 bits cada una se incorporan a un "marco" o "trama".

La característica principal de la conmutación digital consiste en que requiere no solo de la transmisión de información de una línea física a otra (conmutación espacial) sino también de una ranura de tiempo a otra. Este nuevo modo de conmutación representa una nueva dimensión de conmutación y se conoce como "conmutación temporal".

La figura 3.6 ilustra la operación básica de un sistema CDT digital. En la figura se representa la conexión del canal 5 de la primera vía MDT de entrada con el canal 15 de la última vía MDT de salida. Es decir, esta conexión implica que la información que viene en la ranura de tiempo 5 de la primera vía de entrada se transfiere a la ranura de tiempo 15 de la última vía de salida.

Como el proceso de digitalización de la voz inherentemente implica la operación de 4 hilos, se requiere forzosamente la conexión de retorno que se realiza transfiriendo información desde la ranura de tiempo 15 de la última vía de entrada hacia la ranura de tiempo 5 de la primera vía de salida. Así, cada

conexión requiere dos transferencias de información: Una espacial digital y otra temporal.

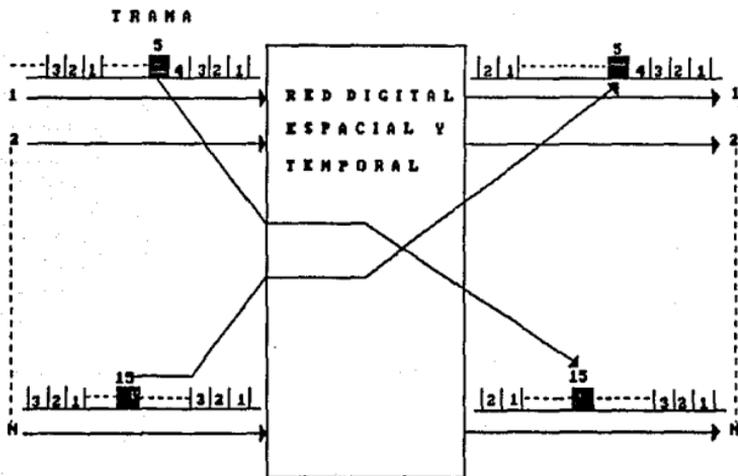


FIGURA 3.6 Operación básica de la CDT digital

La función básica del sistema de CDT de la figura 3.6 se puede llevar a cabo con diferentes arreglos de conmutación pero todos requieren inherentemente cuando menos dos etapas de conmutación una espacial y una temporal.

Antes de iniciar el estudio de conmutación de dos dimensiones conviene conocer las características y posibilidades de la conmutación temporal sola.

3.4 CONMUTACION TEMPORAL.

Como se ha establecido, la función básica de una matriz temporal es pasar la información de una ranura de tiempo de entrada a una ranura de tiempo de salida distinta; es decir, a una ranura de tiempo de salida que no corresponde al tiempo en que aparece la ranura de entrada. Esencialmente, esto constituye un intercambio de ranuras de tiempo, por lo que a una etapa de conmutación temporal se le conoce también como IRT, intercambiador de ranuras de tiempo. El elemento básico de un IRT es la memoria digital sobre la que se inscriben y leen datos.

La figura 3.7 ilustra la operación básica de la matriz temporal. Como se observa, multiplexando y demultiplexando de manera fija circuitos individuales de mensajes digitales se establece una vía MDT única para cada sentido de transmisión.

Estas funciones de multiplexaje y demultiplexaje pueden estar integradas a la propia matriz de conmutación o pueden implementarse en terminales de transmisión remotas. En el

primer caso, el multiplexor y demultiplexor se pueden conectar en paralelo directamente a la memoria y en el otro caso se debe emplear un conversor serie-paralelo para acumular la información de una ranura de tiempo e inscribirla después en la memoria de datos.

Para el intercambio de ranuras de tiempo, se cuenta con la "memoria de datos" sobre la que se almacena el contenido de cada ranura. Esta memoria contiene N localidades de palabra, es decir tantas como ranuras existen y cada localidad puede acomodar todos los bits de una ranura. El contador de ranuras de tiempo avanza a la velocidad de ellas, es decir, incrementa su cuenta en uno al final de cada ranura. Este contador suministra la dirección con la cual la palabra de entrada se inscribe en la memoria de datos. Así, se puede hacer que el almacenamiento del contenido de ranuras de tiempo sea secuencial y en correspondencia numérica, es decir, el contenido de la ranura 1 se inscribe en la localidad 1, el contenido de la ranura 2 en la localidad 2 y así sucesivamente. Se cuenta además con otra memoria, la memoria de control que almacena la información para el intercambio de ranuras. Es decir, esta memoria no almacena el contenido de las ranuras sino las direcciones con las cuales se leen las palabras en la memoria de datos. La memoria de control también cuenta con N localidades de palabra y cada palabra debe acomodar tantos bits como sea necesario para inscribir el, número N . El contador de ranuras de tiempo que proporciona las direcciones de escritura

sobre la memoria de datos también suministra las direcciones de lectura para la memoria de control. Así, en la figura 3.7, sobre la localidad 1 de la memoria de control se ha inscrito la dirección 7. En consecuencia, durante la ranura de tiempo 1 de la trama de entrada, el contenido de esta ranura se inscribe en la memoria de datos (localidad 1) pero también, dentro de esta misma ranura 1 se leerá la palabra de la localidad 7 de la misma memoria insertándose en la ranura 1 hacia el receptor. Esta palabra es el contenido de la ranura 7 que pasa entonces a la ranura 1. El resultado práctico es que el abonado transmisor 7 ha sido conmutado hacia el abonado receptor 1. Correspondientemente, de acuerdo a las direcciones que se han inscrito en las demás localidades de memoria IRT, se ha conectado N con 2, 18 con 3, y 6 con N. Los intercambios también se indican con el número de las ranuras de las tramas de entrada y salida. Debe notarse, en este esquema, que a cada abonado de ambos extremos se le asigna una ranura de tiempo fija y que la conmutación no se realiza cambiando la ranura asignada sino más bien transfiriendo el contenido de una ranura a otra. Nótese además que el canal de la figura 3.7 suministra solamente la comunicación en un sentido. Se requiere entonces un canal similar para la comunicación completa. Este segundo canal se implementa transfiriendo el contenido de la ranura 3 hacia la ranura 17, por ejemplo, si es que el canal complementario se ha establecido transfiriendo el contenido de la ranura 17 hacia la ranura 3. Cuando se inicia una nueva llamada, las conexiones correspondientes que se deben efectuar

(función de conmutación) se realizan cambiando los datos de dirección en la memoria de control.

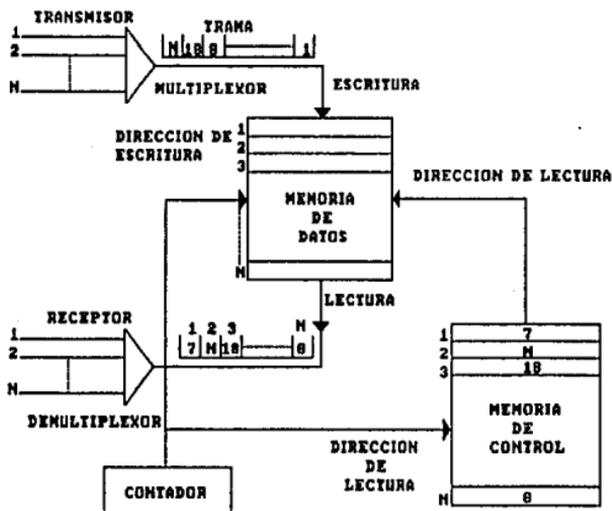


FIGURA 3.7 Principio del IRT

En el arreglo de la figura 3.7, la escritura sobre la memoria de datos es secuencial y la lectura es aleatoria, se dice que es un esquema de "IRT de salida". El esquema alterno de lectura secuencial y escritura aleatoria, es decir "IRT de entrada" también es factible.

3.5 CONMUTACION DE DOS DIMENSIONES ESPACIO-TIEMPO (ET).

Para la operación de redes de mayor capacidad se requiere de la conmutación de dos dimensiones. Este tipo de conmutación emplea, en la misma red, tanto la conmutación espacial como temporal. En la actualidad se cuenta con diversas configuraciones de redes para satisfacer este requisito. Se iniciará por la estructura tiempo-espacio (TE) de la figura 3.8 como se puede observar es una estructura de sólo dos etapas.

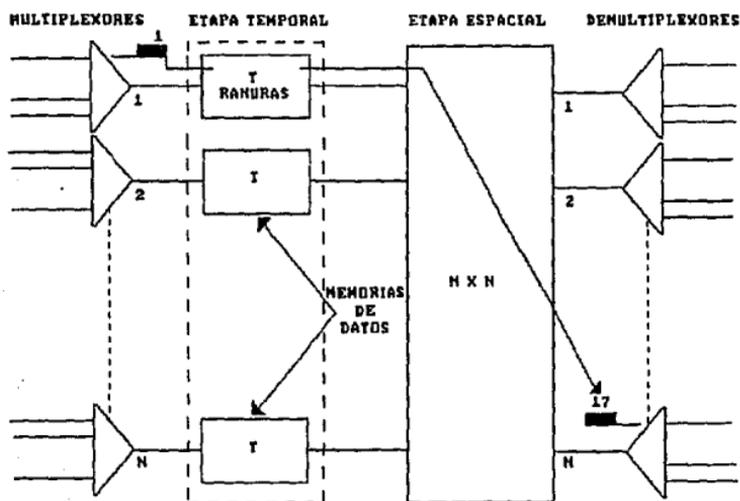


FIGURA 3.8 Red Tiempo-Espacio (TE)

La función básica de la etapa temporal es retardar el contenido de la ranura de tiempo de entrada hasta que ocurra la ranura de tiempo de salida deseada. En este momento la información retardada se transfiere, a través de la etapa espacial, hacia la vía de salida apropiada. En el arreglo de la figura 3.8, el contenido de la ranura 1 de la vía 1 de entrada se retarda en la etapa temporal hasta que toca el turno de la ranura 17 de salida.

La trayectoria de retorno requiere que el contenido de la ranura 17 de entrada de la ranura N se retarde hasta la ranura 1 de la siguiente trama de salida. Así, se nota que la etapa temporal debe proporcionar retardos que van desde una ranura de tiempo hasta toda una trama.

Como ya se ha hecho notar, la transmisión de señales a través del sistema es unidireccional desde la entrada del multiplexor hasta la salida del demultiplexor. En consecuencia, si dos abonados van a establecer comunicación se necesita que ambos tengan acceso tanto a la entrada como a la salida del sistema. En cada estación de abonado se necesitará un arreglo híbrido para separar las dos direcciones de transmisión. A cada abonado se le asigna una ranura de tiempo que es la misma para la transmisión y para recepción y también se le asigna una línea de arreglo espacial, el mismo número de línea tanto a la entrada como a la salida. Así, la comunicación entre el abonado A a quien se le ha asignado la ranura 1 y la línea 1 (figura

3.8) con el abonado B a quien se le ha asignado la ranura 17 y la línea N requiere que la señal generada por A pase de la ranura 1 a la ranura 17 en la etapa temporal y que se transfiera de la línea de entrada 1 a la línea de salida N en la etapa espacial. De igual manera, la señal que genera B se cambia de la ranura 17 a la ranura 1 y de la línea N a la línea 1. Como ya se sabe la memoria de control de la etapa espacial contiene la información que se necesita para especificar la configuración de esta etapa para cada ranura de tiempo de una trama. Esta información de control se accesa en forma cíclica en la misma manera que la información de control en la red por distribución de tiempo analógico. Por ejemplo, durante la ranura 1, la información de control se accesa y especifica que el enlace interetapa número 1 se debe conectar con la vía de salida N. Durante otras ranuras de tiempo la red espacial modifica su configuración para establecer otras conexiones. El almacenamiento de control se puede representar convenientemente mediante un registro de corrimiento cuya anchura es igual al número de bits necesario para especificar toda la configuración de la red espacial durante una sola ranura de tiempo y cuya longitud concuerda con el número de ranuras de tiempo de una trama. Desde luego que se necesitan los recursos necesarios para cambiar la información de la memoria de control para que se puedan establecer las nuevas conexiones. En la práctica, las memorias de control son memorias de acceso aleatorio con contadores para generar en forma cíclica las direcciones.

3.6 CONMUTACION E-T-E (ESPACIAL-TEMPORAL-ESPACIAL)

La forma de conseguir la reducción en el costo de un conmutador por distribución de tiempo, es multiplexar el mayor número de canales como práctico sea y realizar la mayor cantidad posible de conmutación sobre las etapas temporales.

La conmutación temporal generalmente es más barata que la espacial fundamentalmente porque la memoria digital es mucho menos costosa que los puntos de conexión digitales (compuertas lógicas). Sin embargo, cuando los límites prácticos con respecto al número de canales que se pueden multiplexar en un enlace MDT común para conmutación temporal se sobrepasan, las reducciones adicionales en los costos de implementación se pueden conseguir sólo a base de emplear mayor número de etapas en la red. Así, un siguiente paso en las estructuras de conmutación de dos dimensiones lo constituyen las redes E-T-E y T-E-T.

El diagrama funcional de la red E-T-E se ilustra en la figura 3.9. En este arreglo la etapa temporal, está constituida por una red de solo una etapa.

En este sistema, el establecimiento de una trayectoria a través de la red requiere encontrar una memoria de la etapa temporal con un acceso de escritura disponible durante la

ranura de tiempo de entrada y un acceso de lectura disponible durante la ranura de salida deseada.

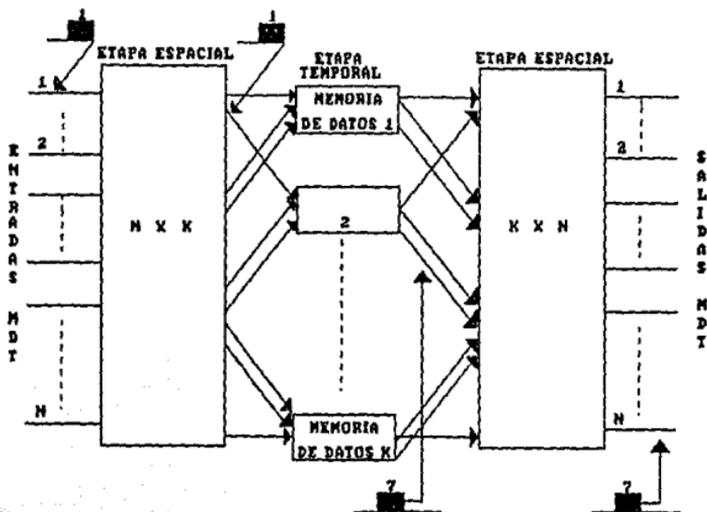


FIGURA 3.9 Estructura E-T-E

En el sistema de la figura 3.9, el contenido de la ranura 1 de la vía de entrada 1 se envía, a través de la primera etapa espacial, hacia la memoria seleccionada. La información se retiene en esta memoria hasta que aparece la ranura de tiempo 7 que es cuando se saca de la memoria y, mediante la segunda etapa espacial se transfiere hacia la vía de salida N. Se ha

conseguido así la transferencia de la muestra 1 de la vía 1 a la ranura 7 de la vía N.

3.7 CONMUTACION T-E-T (TEMPORAL-ESPACIAL-TEMPORAL)

El diagrama funcional de la red T-E-T se ilustra en la figura 3.10. Este arreglo permite más trayectorias alternativas y en consecuencia, aunque el bloqueo es todavía posible, su probabilidad de ocurrencia es menor. La conmutación se lleva a cabo de la siguiente manera: el contenido de la ranura de entrada sobre una vía MDT de entrada se retarda en la primera etapa temporal hasta que se dispone de una trayectoria apropiada sobre la etapa espacial. En este momento, la información se transfiere, a través de la etapa espacial, hacia la etapa temporal de salida almacenándose en la memoria de salida apropiada hasta que aparece la ranura de tiempo (RT) de salida deseada. Bajo la suposición de que las etapas temporales proporcionan accesibilidad completa (todos los canales de entrada se pueden conectar con todos los canales de salida) cualquier RT de la etapa espacial se puede emplear para establecer la conexión. En el sentido funcional, la etapa espacial se repite una vez por cada RT interna.

Si la etapa espacial es sin bloqueo, el bloqueo en la red T-E-T ocurre solamente si no existe RT interna en la etapa

espacial durante la cual el enlace proveniente de la etapa temporal de entrada y el enlace hacia la etapa temporal de salida estén ambos libres. Para aclarar esto, se considera el arreglo de la figura 3.10 omitiendo la etapa temporal de entrada, de modo que nos queda el arreglo E-T. Supóngase ahora que en este arreglo E-T ya está establecida la conexión entre la RT 5 sobre la línea de entrada 7 y la RT 13 sobre la línea de salida 9. Entonces, esto significa que, "durante la RT 5, la línea de entrada 7 se conecta con la línea de salida 9". Durante la RT 5 el contenido de la ranura 5 se transfiere desde la entrada 7 hasta la salida 9. El intercambiador de la salida 9 pasará el contenido de la RT 5 a la RT 13. Ahora, supóngase además que mientras esta conexión se está llevando a cabo, aparece la necesidad de conectar la RT 5 de la línea de entrada 8 con la RT 14 de salida 9. La cuestión es que hay necesidad de transferir dos RT 5, de diferentes entradas, hacia diferentes ranuras de la misma salida. Es claro que ocurrirá bloqueo para la segunda conexión propuesta debido a que durante la RT 5 la línea de salida está ocupada. Sin embargo, si se cuenta con intercambiadores en el lado de entrada del arreglo espacial de la figura 3.10, entonces la conexión en el arreglo espacial no se necesita hacer en la RT 5. En vez de esto, el intercambiador de entrada puede pasar el contenido de la RT 5 a alguna otra ranura, por ejemplo, la RT 6 y si la línea de salida no está ocupada la transferencia desde la entrada hasta la salida se puede realizar en esa RT. El intercambiador de salida se requerirá ahora para pasar la RT 6 a la RT 14. Así el

intercambio de RT de 5 a 14 se realizará en dos etapas, de 5 a 6 y de 6 a 14.

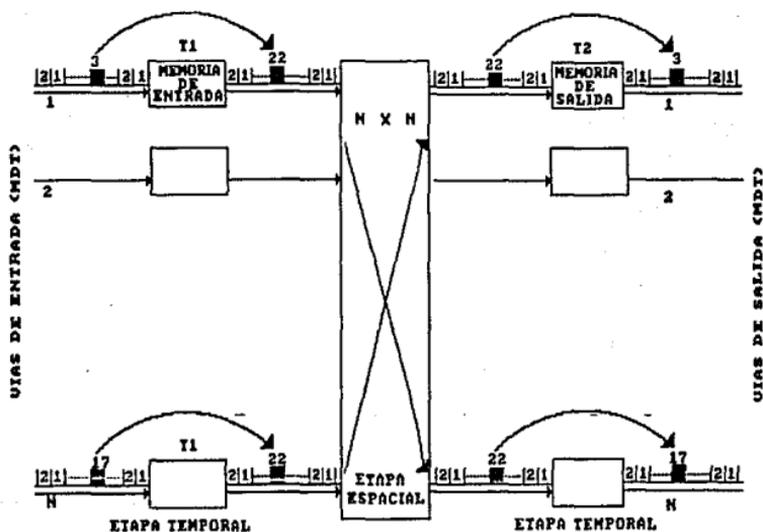


FIGURA 3.10 Estructura de conmutación T-E-T

CAPITULO 4
DIMENSIONAMIENTO DE REDES
DIGITALES

4.1 BASE PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE CONMUTACION DIGITAL

Este capítulo se dedicará al cálculo de las redes digitales de conmutación. Este cálculo tiene que ver con dos aspectos de las redes, uno de ellos se refiere a la configuración de la red la cual depende, fundamentalmente, del tráfico ofrecido y de la calidad de servicio (bloqueo) de la red. El otro se relaciona con el costo de la red que depende, esencialmente de la cantidad de material utilizado para su construcción.

Para cubrir el primer aspecto mencionado, en esta tesis se hará uso del "método de Lee". Este método permite definir el comportamiento de una red de conmutación partiendo de los dos parámetros básicos, a saber: el tráfico por entrada (p) de la red y el bloqueo (B) de dicha red. El tráfico por entrada establece lo que se llama la carga (p) del eslabón de entrada y es también la probabilidad de ocupación de dicha entrada, depende de la cantidad de llamadas por entrada. Las compañías telefónicas prestadoras del servicio, de acuerdo a sus estadísticas de tráfico, determinan dicha carga por entrada. Valores típicos de p se encuentran entre $p=0.1$ y $p=0.7$. El bloqueo de la red (B) es la probabilidad de que una conexión solicitada no se pueda realizar a través de la red debido a que, en ese momento, no cuenta con cuando menos una trayectoria apropiada libre. Las compañías telefónicas

establecen que de 1000 conexiones que se desean establecer únicamente dos llamadas no encontrarán conexión libre, esto equivale a la calidad de servicio $B=0.002$. Esta cifra puede variar dependiendo de las necesidades de las compañías telefónicas. El método de Lee relaciona estos dos parámetros con la estructura de la red e involucra a otros factores como son: el factor de relación (β) y el número de matrices que se emplean. El método se basa en la "gráfica de probabilidad" de la red en base a la cual se determina la ecuación para el bloqueo B en función de los demás parámetros. La gráfica expresa las diferentes alternativas de conexión que la red le presenta a una llamada específica. Con base en la carga por eslabón, la probabilidad de bloqueo de la red se determina partiendo de los siguientes conceptos:

- Sea " p " la carga de un eslabón (probabilidad de ocupación del eslabón) y " q " su complemento. Es decir $p = 1 - q$.
- Cuando cualquiera de n eslabones en paralelo (fig. 4.1) se puede utilizar para completar la conexión, la probabilidad de bloqueo compuesta B es la probabilidad de que todos los eslabones estén ocupados (ec. 4.1).

$$B = p^n = \text{Bloqueo} \quad (4.1)$$

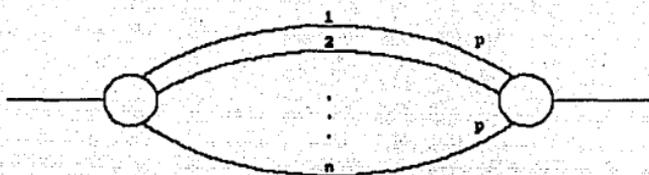


FIGURA 4.1 Eslabones en paralelo

- Cuando n eslabones en serie (fig. 4.2) se necesitan para completar la conexión, la probabilidad de bloqueo compuesta B se determina como uno menos la probabilidad de que todos los eslabones estén libres (ec. 4.2).

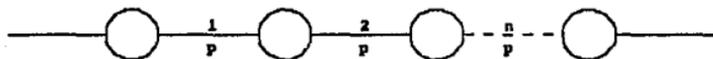


FIGURA 4.2 Eslabones en serie

$$B = 1 - q^n \quad (4.2)$$

4.1.1 BLOQUEO EN UNA RED DE DOS ETAPAS

En la figura 4.3 se ilustra la configuración de una red de dos etapas.

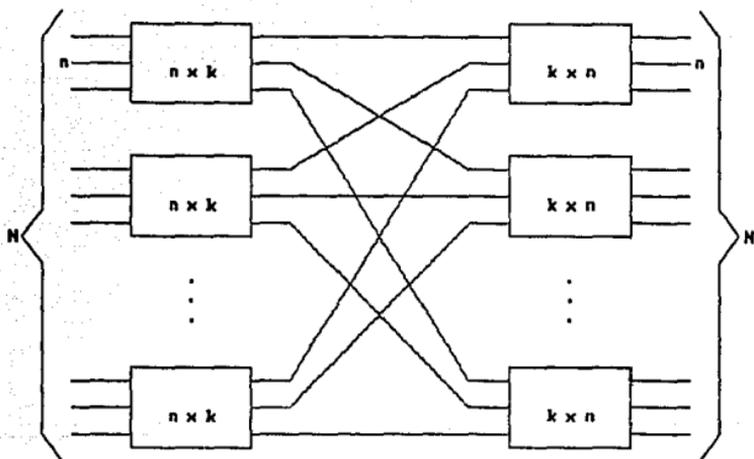


FIGURA 4.3 Red de dos etapas

La gráfica de probabilidad de esta red se ilustra en la figura 4.4.

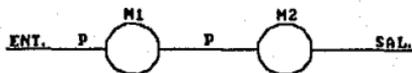


FIGURA 4.4 Gráfica de probabilidad de la red de dos etapas

El bloqueo de la red se presenta cuando el eslabón correspondiente está ocupado en el momento de la solicitud, es decir:

$$B = p = 1 - q$$

Esta expresión también se obtiene de la ecuación 4.1 haciendo $n = 1$.

4.1.2 BLOQUEO EN UNA RED DE TRES ETAPAS

La figura 4.5 ilustra la configuración de una red de tres etapas.

La gráfica de probabilidad se ilustra en la figura 4.6.

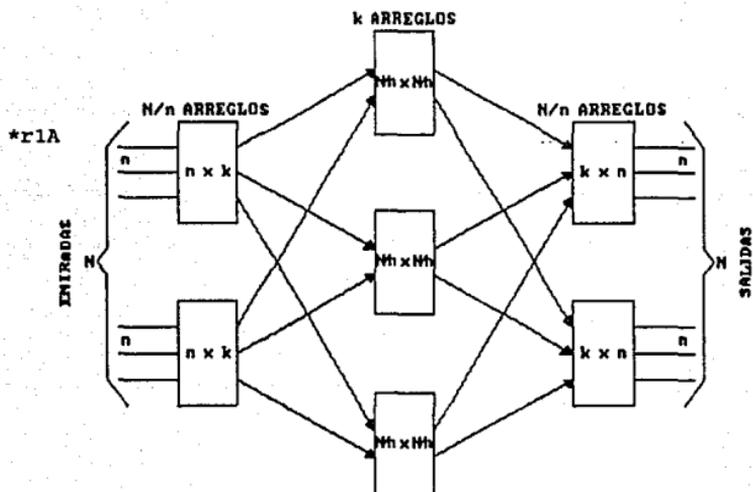


FIGURA 4.5 Red espacial de tres etapas

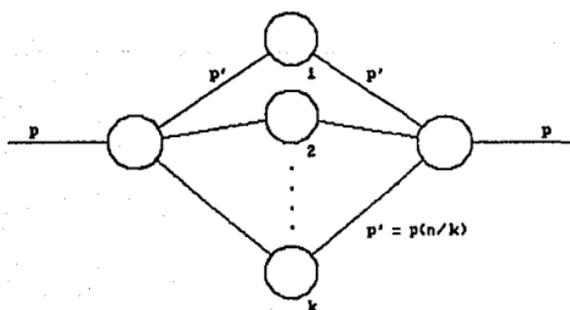


FIGURA 4.6 Gráfica de probabilidad de la red de tres etapas

De la figura 4.6 se observa que cualquier conexión se puede establecer por k diferentes trayectorias, una por cada matriz intermedia. Nótese que la carga de un eslabón interetapa es ahora p' y p la carga de la entrada. En general $p \neq p'$ pero pueden ser iguales (por ejemplo cuando $k = n$).

La red presentará bloqueo total cuando todas las trayectorias estén ocupadas. Es decir:

$$B = (P_i)^k$$

en donde P_i es la probabilidad de que cualquiera de las trayectorias esté ocupada y k es el número de las trayectorias equivalentes (o número de matrices intermedias).

P_i se obtiene, de la ecuación 4.2 como:

$$P_i = 1 - (q')^2$$

Por lo tanto:

$$B = (1 - q'^2)^k \quad (4.3)$$

en donde $q' = 1 - p'$ = probabilidad de que un eslabón interetapa esté libre.

Nótese que $1 - (q')^2$ es la probabilidad de que cuando menos uno de los dos eslabones de una trayectoria esté ocupado.

Se introduce ahora el concepto β (factor de relación) como:

$$\beta = k / n \quad (4.4)$$

en donde k es el número de salidas por matriz de la primera etapa y n es el número de entradas por matriz de la primera entrada.

Nótese que β puede ser mayor o menor que uno.

Si $k > n$, $\beta > 1$ y constituye un factor de expansión.

Si $k < n$, $\beta < 1$ y constituye un factor de concentración.

Si $k = n$, $\beta = 1$ y es un factor de distribución.

En función de β , la carga de cada eslabón intermedio queda entonces expresada como:

$$p' = p / \beta \quad (4.5)$$

De esta manera, la expresión para el bloqueo de la red, en función de la carga de entrada es:

$$B = (1 - (1 - p / \beta)^2)^k \quad (4.6)$$

Para el caso de que $\beta = 1$ ($k = n$):

$$B = (1 - (1 - p)^2)^k \quad (4.7)$$

4.1.3 EJEMPLO DE CALCULO No. 1.

Determinar el bloqueo de la red de tres etapas que se ilustra en la figura 4.7, considerando que presenta un tráfico de .1 Erlangs por entrada.

SOLUCION:

Se observa que la red dada es una red simétrica de 64 entradas por 64 salidas. Las matrices que se emplean en la red de tres etapas son también simétricas de 8×8 . Se emplean también 8 matrices en cada una de las etapas ($k = 8$). como las matrices son simétricas :

$$k = n \quad , \quad \beta = 1$$

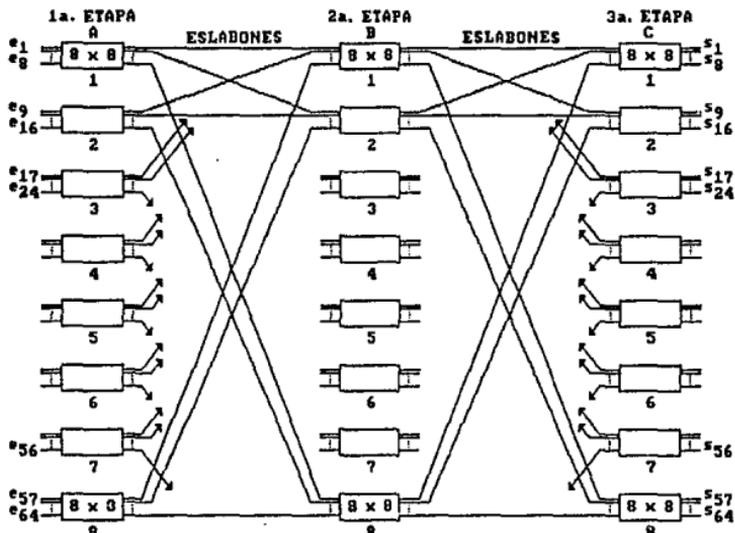


FIGURA 4.7 Red de tres etapas.

Por lo tanto de la ecuación 4.6 y considerando que .1 Erlang equivale a una $p = .1$

$$B = [1 - (1 - (.1 / 1)^2)]^8$$

$$B = 0.0000016 \approx 0$$

Como se ve, el bloqueo de esta red es sumamente pequeño. Nótese que esta situación se puede aprovechar para conseguir

una red mas económica. En efecto, considerese por ejemplo que se emplean cinco matrices intermedias en lugar de ocho. Bajo estas condiciones el bloqueo esta dado por :

$$B = [1 - (1 - 0.1 / 0.625)^2]^5$$

en donde los valores de β y k ahora cambian a:

$$k = 5 \text{ y } \beta = \frac{k}{n} = \frac{5}{8} = 0.625$$

Por lo tanto

$$B = 0.0022 \text{ ó } (0.2\%)$$

Nótese que este valor de bloqueo representa una calidad de servicio excelente. De esta manera se ha optimizado la red manteniendo la economía y la eficiencia. A continuación se verifica esta situación.

4.2 ESTRUCTURA DE REDES

4.2.1 REDES DE VARIAS ETAPAS

Las estructuras de conmutación a base de una sola matriz son muy ineficientes y costosas. Además presentan una

confiabilidad muy pobre debido a que, como se requiere un punto de conexión específico para cada conexión particular, si ese punto de conexión falla no se puede establecer la conexión asociada. Estos problemas se resuelven de manera efectiva mediante el empleo de la conmutación de varias etapas.

La conmutación de varias etapas se realiza con la técnica de las "redes de eslabones" que implican el empleo de matrices de conmutación pequeñas distribuidas en diferentes etapas con un procedimiento de interconexión (eslabonamiento) preciso. La figura 4.5 constituye una red típica de eslabones en la que las entradas y las salidas se distribuyen en subgrupos de n entradas y n salidas cada uno. Las entradas de cada subgrupo se atienden con una matriz rectangular de puntos de conexión (PC). Las matrices de entrada (primera etapa) son de $n \times k$ terminales en donde cada una de las k salidas se conecta a una de las k matrices de la etapa central. Las conexiones entre etapas se conocen como eslabones. La tercera etapa consiste de matrices rectangulares de $k \times n$ terminales que permiten las conexiones desde cada matriz intermedia hacia los grupos de n salidas. Todas las matrices de la etapa central son $N / n \times N / n$ terminales que permiten la conexión desde cualquier matriz de la primera etapa hasta cualquier matriz de la tercer etapa. Nótese que si todas las matrices son de accesibilidad completa, se cuenta con k posibles trayectorias a través de

la red para cualquier conexión particular entre entradas y salidas: cada una de las k trayectorias utiliza una matriz intermedia distinta. Así, la estructura de varias etapas permite trayectorias alternas a través de la red para evadir el bloqueo y las fallas.

El número total de puntos de conexión de la red de tres etapas de la figura 4.7 esta dada por:

$$PC = 2Nk + k (N / n)^2 \quad (4.8)$$

Donde:

N es el número de entradas o salidas de la red.

Como se demostrará más adelante, el número de PC de la ecuación 4.8 se puede reducir considerablemente con respecto al número de PC que se necesitan en las redes de una sola etapa.

4.2.2 REGLA DE ESLABONAMIENTO

En base a la figura 4.5, la regla que se sigue para establecer los eslabones interetapa de una red de tres etapas es la siguiente:

El número de salida de matriz de primera etapa indica el número de la matriz intermedia a la que dicha salida debe llegar y el número de la matriz de primera etapa indica el número de entrada de matriz intermedia a la que se debe llegar.

Esta regla se aplica para establecer los eslabones tanto entre la primera y segunda etapas como entre la segunda la tercera etapas.

4.2.3 PARAMETROS FUNDAMENTALES DE LA REDES

- I) La capacidad (C) de la red es el número de conexiones posibles simultaneas que se pueden establecer a través de ella.
- II) Si en una red unidireccional el número N de entradas es mayor que el numero M de salidas, se trata de una red de concentración. En este caso $C < M$.
- III) si una red unidireccional $N < M$ se obtiene la red de expansión, en donde $C < N$.

Si en la red unidireccional $N = M$ se trata de una red de distribución en la que $C = N = M$. Se conocen también como redes cuadradas.

IV) Bloqueo interno. Una red presenta bloqueo interno cuando no permite la interconexión entrada/salida a pesar de que esta salida se encuentre disponible. El bloqueo interno se presenta en las redes de accesibilidad limitada por el hecho de que ya no todas y cada una de las entradas tiene acceso a todas y cada una de las salidas.

4.2.4 REDES SIN BLOQUEO

La característica sobresaliente de una sola matriz consiste en que no presenta bloqueo interno. Si la terminal solicitada está desocupada, la conexión deseada siempre se puede establecer seleccionando el PC particular al par entrada/salida específico. Sin embargo, cuando los puntos de conexión se comparten surge la posibilidad del bloqueo. El investigador Charles Clos, de los laboratorios Bell determinó el número de matrices que deben constituir a la etapa central de una red de tres etapas para lograr la operación estrictamente sin bloqueo interno. Este número está dado por $k = 2n - 1$ siempre que cada una de estas matrices sea sin bloqueo.

La condición para la operación sin bloqueo se deduce observando primero que la conexión a través de la red de tres

etapas requiere localizar una matriz de etapa central que cuente con un eslabón desocupado hacia la matriz apropiada de la tercera etapa. Como las matrices individuales son sin bloqueo, la trayectoria deseada se podrá establecer siempre que se disponga de la matriz central con los eslabones libres apropiados. La clave para la deducción consiste en observar que, como cada matriz de entrada tiene n entradas, la nueva solicitud de conexión cuando mucho puede encontrar $n - 1$ entradas ocupadas en sus matriz respectiva. Si $k > n - 1$, se deduce que cuando mucho $n - 1$ eslabones hacia las matrices intermedias estarán ocupados. De igual manera, cuando mucho $n - 1$ eslabones hacia la matriz deseada de la tercera etapa podrán estar ocupados si la salida de conexión solicitada está libre. La peor situación que propicia la aparición de bloqueo sucede cuando los $n - 1$ eslabones ocupados provenientes de la matriz de la primera etapa llegan a un grupo de matrices intermedias distinto al grupo de matrices intermedias del que parten los $n - 1$ eslabones ocupados hacia la matriz solicitada de la tercera etapa, como se ilustra en la figura 4.8, bajo estas condiciones estos dos grupos de matrices intermedias ya no están disponibles para la conexión que se desea. Sin embargo, si se dispone de una matriz intermedia adicional, su entrada y salida correspondiente estarán libres, pudiendose entonces emplear esa matriz adicional para establecer la conexión. En consecuencia si $k = (n - 1) + (n - 1) + 1 = 2n - 1$, la red será estrictamente sin bloqueo. Sustituyendo este valor de k en la ecuación 4.8 se

encuentra que para la operación estrictamente sin bloqueo de una red de tres etapas:

$$PC = 2N(2n - 1) + (2n - 1)(N/n)^2 \quad (4.9)$$

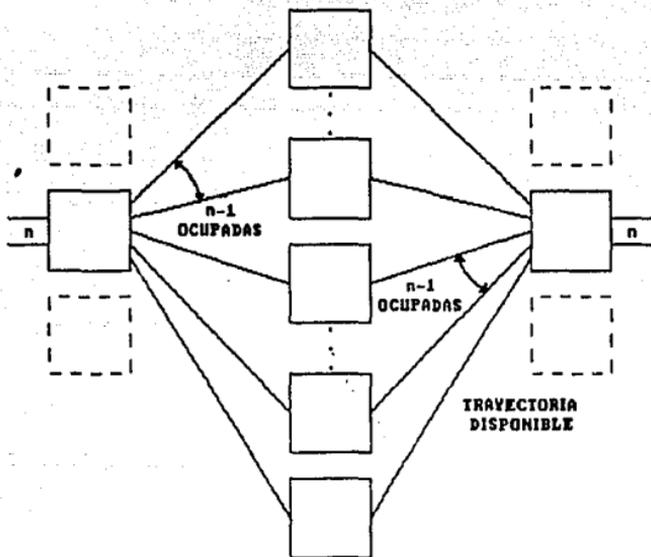


FIGURA 4.8 Red de conmutación sin bloqueo de tres etapas

Como se expresa en la ecuación 4.9, el número de PC de la red de tres etapas sin bloqueo, depende de como las entradas y salidas de la red se distribuyen en subgrupos de

tamaño n . Diferenciando la ecuación 4.9 con respecto a " n " e igualando a cero la expresión resultante para determinar el mínimo, se encuentra que (para N grande) el valor óptimo de " n " es:

$$n = \sqrt{(N / 2)} \quad (4.10)$$

Sustituyendo este valor de n en la ecuación 4.9 se obtiene la expresión para el número mínimo de PC de la red de tres etapas sin bloqueo:

$$PC_{\min} = 4N (\sqrt{2N} - 1) \quad (4.11)$$

4.2.5 EJEMPLO DE CALCULO No. 2.

Calcular el número de PC de una red de tres etapas sin bloqueo de 128 líneas "bidireccional". Comparar este número con el de la matriz bidireccional única de la misma capacidad.

SOLUCION:

De la ecuación 4.10

$$n = \sqrt{(128 / 2)} = 8$$

De la ecuación 4.11

$$PC = 4 (128) (\sqrt{2 (128)} - 1) = 7,680$$

La matriz bidireccional única tendrá:

$$(128 \times 128) - 128 = 16,256 \text{ PC.}$$

Nótese la considerable diferencia en el número de PC de ambas redes.

Las redes de conmutación de tres etapas permiten la reducción considerable de PC particularmente en las redes grandes. Sin embargo, el número de PC que se emplea en las redes grandes aún es excesivamente elevado. Por esta razón, las redes de alta capacidad se estructuran con mas de tres etapas pues de esta manera se consiguen mayores reducciones en el número de total de PC. Sin embargo, la forma mas efectiva de reducir el número de PC de la red es permitiendo cierta cantidad aceptable de bloqueo en la red.

4.2.6 EJEMPLO DE CALCULO No. 3. (PC CON BLOQUEO)

Calcular el número de PC de la red anterior de 128 líneas si la ocupación por entrada es de 0.1. Se emplean ahora 5 matrices en la etapa central para conseguir la probabilidad de bloqueo de $B = 0.002$. Compárese el resultado con el de la red anterior sin bloqueo.

SOLUCION:

De la ecuación 4.10

$$n = \sqrt{(128 / 2)} = 8$$

De la ecuación 4.8

$$PC = 2 \times 128 \times 5 + 5 (128 / 8)^2$$

$$PC = 2,560$$

El ejemplo de la red sin bloqueo arrojó 7,680 PC para la misma capacidad de red. Nótese que se ahorran $7,680 - 5,560 = 2,120$ PC.

4.3 CONFIGURACION DE REDES

En las secciones anteriores se ha abordado el problema de calcular el número de PC o el bloqueo de redes específicas. Es decir, definida una red en su configuración y capacidad de ha determinado el bloqueo. Ahora se invertirá el procedimiento, esto es, partiendo de un bloqueo determinado se procederá a definir la configuración total de la red. Esto implica encontrar específicamente el número de matrices en cada etapa, su tamaño, su eslabonamiento y su número de PC para satisfacer la calidad de servicio preestablecida.

4.3.1 EJEMPLO DE CALCULO No. 4.

Diseñar una red de 3 etapas de 128 entradas y 128 salidas con la probabilidad de bloqueo de $B = 0.002$ y la carga por entrada de $p = 0.1$.

SOLUCION:

De la ecuación 4.10

$$n = \sqrt{(128 / 2)} = 8$$

Se sabe que $2n - 1 = 2(8) - 1 = 15$ es el número de matrices intermedias para $B = 0$. Por el método de prueba y error el valor requerido para k es 5. En efecto, para este valor de k

$$\beta = k / n = 5 / 8$$

$$\beta = 0.625$$

Por lo tanto de la ecuación 4.6

$$B = [1 - (1 - 0.1 / 0.625)^2]^5$$

$$B = 0.0022$$

Que es la cifra preestablecida para el bloqueo.

La configuración de la red queda entonces como sigue:

- 1a. etapa $N / n = 128 / 8 = 16$ matrices de $n \times k = 8 \times 5$.
- 2a. etapa cinco matrices de $N / n \times N / n = 16 \times 16$.
- 3a. etapa $N / n = 128 / 8 = 16$ matrices de $n \times k = 8 \times 5$.

La gráfica de esta red se ilustra en la figura 4.9.

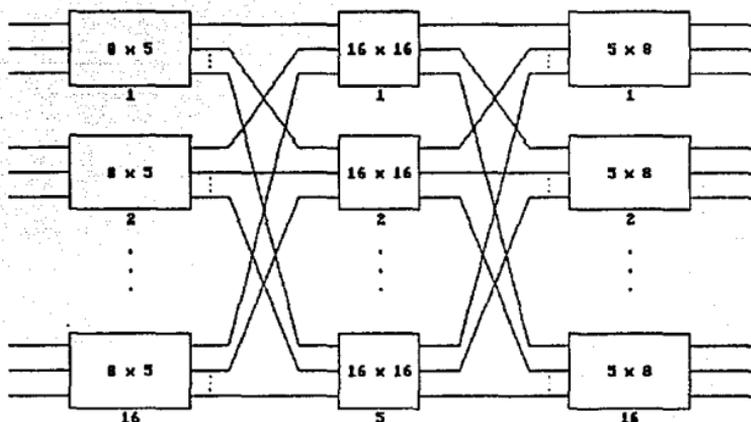


FIGURA 4.9

El número de punto de conexión es

$$N_x = 2Nk + k(N/n)^2$$

$$N_x = 2(128)5 + 5(128/8)^2$$

$$N_x = 2560$$

Comparando esta cantidad de puntos de conexión con la cifra correspondiente al diseño de la red sin bloqueo que es:

$$N_x = 2(128)15 + 15(128/8)^2 = 7,680$$

Nótese que el diseño con bloqueo permite un gran ahorro en el número de puntos de conexión. Por esta razón las redes con bloqueo son mas económicas.

se hace notar que el diseño de esta red se ha basado en las cifras $B = 0.002$ y $p = 0.1$. El valor $p = 0.1$ representa una carga por entrada de 0.1, es decir una probabilidad de ocupación por entrada de 10%. Si el trafico por entrada es mayor, la configuración de la red y su dimensionamiento deberán cambiar apropiadamente para mantener la misma probabilidad de bloqueo.

La tabla 4.1 resume el diseño de varias redes de tres etapas de diferente capacidad.

TAMAÑO N DE LA RED	n	k	(β)	No. DE PC	No DE PC PARA EL DISEÑO SIN BLOQUEO
128	8	5	0.625	2,256	7,680 (k = 15)
512	16	7	0.438	14,336	63,468 (k = 31)
2,048	32	10	0.313	81,920	516,096 (k = 63)
8,192	64	15	0.234	491,520	4,200,000 (k = 127)
32,768	128	24	0.188	3,100,000	33,000,000 (k = 255)
131,072	256	41	0.160	21,500,000	268,000,000 (k = 511)

TABLA 4.1 Redes de tres etapas diseñadas para la probabilidad de bloqueo de 0.002 y carga por entrada de 0.1

Los diseños de la red de la tabla 4.1 supone que las entradas tienen la ocupación del solo 10%, Como podría ser el caso para una central terminal o un conmutador privado. Los grandes ahorros de puntos de conexión (PC) para las redes de alta capacidad se consiguen con la introducción de factores de concentración ($1 / \beta$) considerables dentro de la etapa intermedia. Cuando la carga por entrada es mas alta (típico de los sistemas de tránsito), los factores de concentración altos no son posibles, y por lo tanto la necesidad de PC es mayor. La tabla 4.2 enlista los correspondientes requisitos de PC y los parámetros de construcción para la carga de entrada de 70%.

TAMAÑO N DE LA RED	n	k	(β)	No. DE PC	No DE PC PARA EL DISEÑO SIN BLOQUEO
128	8	14	1.75	7,168	7,680 (k = 15)
512	16	22	1.38	45,056	63,468 (k = 31)
2,048	32	37	1.16	303,104	516,096 (k = 63)
8,192	64	64	1.00	2,100,000	4,200,000 (k = 127)
32,768	128	116	0.91	15,200,000	33,000,000 (k = 255)
131,072	256	213	0.84	113,000,000	268,000,000 (k = 511)

TABLA 4.2 Redes de tres etapas diseñadas para la probabilidad de bloqueo de 0.002 y carga por entrada de 0.7

4.4 DISEÑO DE REDES DE 5 ETAPAS

Los resultados de la tabla 4.1 y 4.2 indican que las redes muy grandes todavía necesitan un número prohibitivo de PC, aún cuando el bloqueo se permite. Como se mencionó anteriormente, las redes muy grandes utilizan más de tres etapas para conseguir mayores reducciones en el número de PC. La figura 4.10 muestra el diagrama a bloques de una red de 5 etapas que se obtiene mediante la sustitución de cada matriz intermedia, por un arreglo de tres etapas.

Si las tres etapas intermedias de la red de cinco etapas de la figura 4.10 son estrictamente sin bloqueo ($k_2 = 2n_2 - 1$), el diseño permite el ahorro de 8,704 pc en cada matriz de etapa central de las redes de tres etapas de 32,768 líneas presentadas anteriormente. Por lo tanto un poco de más de un millón de PC se ahorran en la red de tránsito de 32,768 de la tabla 4.2. Ya que las etapas intermedias no producen bloqueo el funcionamiento de esta red de 5 etapas es idéntico al funcionamiento del diseño de tres etapas. Naturalmente un diseño más económico se podría obtener permitiendo cantidades pequeñas de bloqueo en las etapas intermedias. La gráfica de probabilidad de la red de 5 etapas se muestra en la figura 4.11. De esta gráfica, la probabilidad de bloque se determina como:

$$B = (1 - (q_1)^2 [1 - (1 - (q_2)^2)^{k_2}])^{k_1} \quad (4.12)$$

donde:

$$q_1 = 1 - p_1 \text{ y } q_2 = 1 - p_2$$

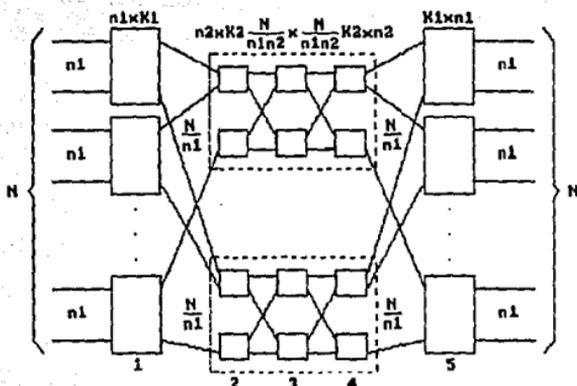


FIGURA 4.10 Redes de conmutación de 5 etapas

Por supuesto, mayores reducciones en el número de PC se pueden conseguir con el empleo de mas etapas reemplazando las matrices, de por si grandes, de la primera y tercera etapa.

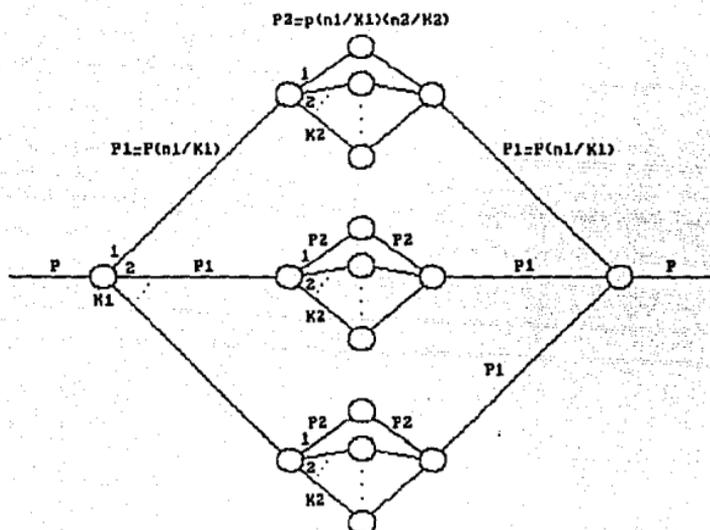


FIGURA 4.11 Gráfica de probabilidad de una red de 5 etapas

Con el siguiente razonamiento se deduce la expresión para el bloqueo de la red de 5 etapas (ecuación 4.12).

q_2^2 = Probabilidad de desocupación de los dos eslabones centrales superiores.

$1 - q_2^2$ = Probabilidad de ocupación de ese mismo par de eslabones.

$(1 - q_2^2)^{k_2}$ = Probabilidad de ocupación del primer grupo superior de eslabones intermedios.

$1 - (1 - q_2^2)^{k_2}$ = Probabilidad de desocupación de ese mismo grupo.

q_1^2 = Probabilidad de desocupación de los eslabones laterales del primer grupo.

$q_1^2 [1 - (1 - q_2^2)^{k_2}]$ = Probabilidad de desocupación de la primera trayectoria.

$\{1 - q_1^2 [1 - (1 - q_2^2)^{k_2}]\}^{k_1}$ = Bloqueo de toda la red.
= Probabilidad de que toda la red este desocupada.

4.4.1 EJEMPLO DE CALCULO No. 5

Diseñar una red de 5 etapas con la capacidad de 32,768 líneas y sin bloqueo.

SOLUCION:

Para el diseño de esta red se tomara como referencia la red genérica de 5 etapas de la figura 4.10.

Primera etapa.

Cálculo de n_1

$$N = 32\ 768 \text{ líneas}$$

El valor óptimo de n_1 es:

$$\begin{aligned}n_1 &= (N/2)^{1/2} \\ &= (32\ 768/2)^{1/2} \\ &= 128\end{aligned}$$

Cálculo de M_1

M_1 = número de matrices en la primera etapa

$$M_1 = N/n_1$$

$$\begin{aligned}M_1 &= 32\ 768/128 \\ &= 256\end{aligned}$$

Calculo de k_1

k_1 = número de bloques intermedios

Para una red sin bloqueo.

$$k_1 = 2n_1 - 1$$

$$= (2 \times 128) - 1$$

$$= 255$$

Las matrices de la primera etapa son de $n_1 \times k_1 = 128 \times 255$.

Resumen de equipo de la primera etapa.

Se requieren 256 matrices de 128×255 . El número total de salidas de la primera etapa es $k_1 \times M_1 = 255 \times 256 = 65,280$.

Segunda Etapa

Cálculo de n_2

El valor óptimo de n_2 es:

n_2 = número de entradas por matriz de segunda etapa

$$n_2 = \{(N/n_1)/2\}^{1/2}$$

$$= (256/2)^{1/2}$$

$$= 11.31$$

Aproximando el valor de n_2 al número binario más cercano, se tiene que:

$$n_2 = 8$$

Cálculo de k_2

k_2 = número de salidas por matriz de segunda etapa

k_2 = número de matrices de tercera etapa por bloque

Para una red sin bloqueo de tres etapas.

$$k_2 = 2n_2 - 1$$

$$= (2 \times 8) - 1$$

$$= 15$$

$$\beta = 15/8$$

$$= 1.87$$

Cálculo de m_2

m_2 = número de matrices de segunda etapa por bloque

$$m_2 = (N/n_1)/n_2$$

$$= 256/8$$

$$= 32$$

Cálculo de M_2

M_2 = número total de matrices en la segunda etapa

Como hay k_1 bloques intermedios

$$\begin{aligned}M_2 &= k_1 \times m_2 \\ &= 255 \times 32 \\ &= 8\ 160\end{aligned}$$

Cálculo de N_1

N_1 = total de entradas a la segunda etapa

$$\begin{aligned}N_1 &= M_2 \times n_2 \\ &= 8\ 160 \times 8 \\ &= 65\ 280\end{aligned}$$

Resumen de equipo de segunda etapa

Se requieren 8,160 matrices de 8 x 15 repartidas en 255 bloques intermedios con 32 matrices cada bloque. Hay 65,280 entradas a la segunda etapa con 256 entradas por bloque. Hay 122,400 salidas en total de la segunda etapa.

Tercera Etapa

$m_3 = k_2$ = número de matrices intermedias por bloque

$$m_3 = 15$$

El tamaño de cada matriz intermedia es

$$\begin{aligned} & N/(n_1 \times n_2) \times N/(n_1 \times n_2) \\ & = 32\ 768/(128 \times 8) \times 32\ 768/(128 \times 8) \\ & = 32 \times 32 \end{aligned}$$

Cálculo de M_3

M_3 = número total de matrices de la tercera etapa

$$\begin{aligned} M_3 & = m_3 \times k_1 \\ & = 15 \times 255 \\ & = 3\ 825 \end{aligned}$$

Resumen de equipo de tercera etapa

En la tercera etapa, se necesitan 3,825 matrices de 32 x 32 repartidas en 255 bloques de 15 matrices por bloques ($3\ 825/255 = 15$). Hay 122,400 entradas a la tercera etapa repartidas en 480 entradas a la tercera etapa por bloque.

Cuarta Etapa

Dada la simetría de la red de 5 etapas la configuración de matrices de esta etapa es idéntica a la configuración de

matrices de la segunda etapa. Se debe tomar en cuenta, sin embargo, que éstas matrices van invertidas. Por lo tanto, se requieren 8,160 matrices de 15 x 8 repartidas en 255 bloques con 32 matrices en cada bloque. El número de entradas corresponde al número de salidas de la segunda etapa (122,400) y viceversa, el número de salidas corresponde al número de entradas de la segunda etapa (65,280).

Quinta etapa

Por la misma razón anterior, la configuración de matrices en la quinta etapa es idéntica a la configuración de matrices de la primera etapa. De nuevo las matrices se invierten. Por lo tanto, se requieren 256 matrices de 255 x 128. El número total de entradas a la quinta etapa es 65,280 y el número de salidas es 32,768.

La figura 4.10 muestra la configuración general de la red de 5 etapas de 32,768 líneas con sus valores específicos de diseño. Recuerdese que se trata de una red sin bloqueo.

Las 256 salidas 1 de toda la primera etapa se acomodan en el primer bloque, o sea son las 256 entradas del bloque 1.

Las 256 salidas 2 de toda la primera etapa son las 256 entradas del bloque 2, etc.

Finalmente, las 256 salidas 255 de toda la primera etapa son las 256 entradas del bloque 255.

Cálculo del número de puntos de conexión

Configuración (figura 4.12) de uno de los bloques intermedios de la red de 5 etapas de la figura 4.10.

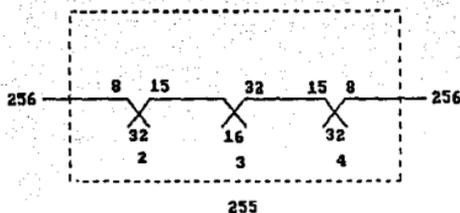


FIG. 4.12

Segunda etapa

$$PC = 8 \times 15 \times 32 \times 255$$

$$= 979\ 200$$

Tercera etapa

$$PC = 32 \times 32 \times 15 \times 255$$

$$= 3\ 916\ 800$$

Cuarta etapa.

$$PC = 979\ 200$$

Para el cálculo del número de PC en primera y quinta etapa se hace referencia a la fig 4.10.

Primera etapa.

$$PC = 128 \times 255 \times 256$$

$$= 8\ 355\ 840$$

Quinta etapa

$$PC = 8\ 355\ 840$$

Total de PC para la red de 5 etapas

$$PC = 2 \times 8\ 355\ 840 + 2 \times 979\ 200 + 3\ 916\ 800$$

$$= 22\ 586\ 880$$

Comparación con la red de tres etapas de 32,768 líneas.

Con referencia a la tabla 4.1, se ve que la red de tres etapas con la misma capacidad (32,768 líneas) que la red de 5 etapas calculada emplea la cantidad de 33 millones de PC. En consecuencia, la red de 5 etapas equivalente permite el ahorro de 10 413 120 PC. Esto comprueba que las redes con mayor número de etapas apropiadamente diseñadas permiten ahorros económicos importantes.

4.5 CALCULO DE REDES DIGITALES

Esta parte se dedicará al cálculo de las redes de conmutación digital. Como ya se sabe, estas redes pueden ser espaciales o temporales. Las redes digitales espaciales, utilizan puntos de conexión digitales (por ejemplo compuertas lógicas). Las redes digitales temporales se construyen a base de memorias. Ambas estructuras, en la actualidad se construyen a base de circuitos integrados (CI's), con un número relativamente grande de puntos de conexión internos o localidades de memoria.

El procedimiento de diseño de redes digitales que se acaba de estudiar se aplica tanto a redes espaciales como temporales. En efecto, existe una equivalencia muy precisa

entre las redes espaciales y temporales que se puede ejemplificar con la red de tres etapas. La red de tres etapas TET es estrictamente sin bloqueo si $L = 2c - 1$, en donde L es el número de IT. Recuerdese que para la red espacial de tres etapas la fórmula equivalente es $k = 2n - 1$; en consecuencia, L es equivalente a k y c es equivalente a n . Queda fuera del objetivo de este trabajo comprobar de manera rigurosa esta equivalencia entre redes espaciales y temporales y solo se empleará para el cálculo de las redes digitales.

En base a lo anterior, el parámetro más importante para el diseño de redes de conmutación de estado sólido es el número total de circuitos integrados que se utiliza. Si los diseños se construyen a partir de un grupo común de CI's, el número de ellos puede reflejar con precisión el número de puntos de conexión.

Otro parámetro importante para el costo, es el "número total de terminales de salida de los circuitos integrados" que se requieren en la construcción particular. Si bien que este parámetro está estrechamente relacionado con el número total de circuitos integrados, generalmente es más útil, ya que refleja con mayor precisión el costo de los (CI's) y los requerimientos en cuanto al tamaño de las tarjetas de circuitos. La "cantidad de terminales de salida" también constituye una indicación directa de la confiabilidad de la construcción, ya que las interconexiones externas son

generalmente menos confiables que las conexiones internas de un circuito integrado.

La característica típica de los circuitos integrados en mediana escala (IME) permite el equivalente de un punto de conexión (compuerta AND) por 1 1/2 terminales externas para acceder el punto de conexión. Así con el empleo de la tecnología IME, el número total de puntos de conexión es un indicador útil del número total de terminales, por lo tanto, se empleara el "número de puntos de conexión" como medida del costo de construcción bajo el conocimiento de que se emplea la IME en todos los diseños comparativos.

4.6 COMPLEJIDAD DE CONSTRUCCION.

El cálculo de las redes de conmutación implica definir lo que se conoce como "complejidad de construcción". Este concepto se relaciona con la determinación del costo total de la red en base al número de puntos de conexión que utiliza y el número de localidades de memoria que se emplean.

Las etapas espaciales de una red digital requieren, para su control, cantidades considerables de memoria que se deberán incluir en la estimación del costo total de la red. Por otro lado, las etapas temporales a base de matrices de

memoria también se controlan mediante almacenes de control a base de memorias.

La fabricación de puntos de conexión y localidades de memoria a base de circuitos integrados de mediana escala (IME), ha puesto de manifiesto una equivalencia en costo de fabricación entre cantidad de puntos de conexión y cantidad de memoria.

Esta equivalencia establece que "100 bits de memoria corresponden a un punto de conexión". En base a esta relación, la complejidad de construcción de una red implica encontrar el equivalente total en puntos de conexión de dicha red. Este equivalente se calcula sumando los puntos de conexión reales de toda la red y los puntos de conexión equivalentes de toda la memoria de la red, la cual debe incluir tanto las memorias de control como las memorias de conmutación. Así, en base al análisis anterior la complejidad de construcción de las redes se obtiene mediante la expresión:

$$\text{Complejidad} = N_x + \frac{N_B}{100} \quad (4.13)$$

Donde:

N_X = Número total de puntos de conexión de las etapas espaciales.

N_B = Número total de bits de memoria.

4.7 CALCULO DE LA RED TEMPORAL-ESPACIAL (TE)

Para tener un conocimiento más específico sobre la complejidad de construcción de una red TE (Temporal-Espacial) se realizará a continuación un ejemplo que ilustrará su construcción.

4.7.1 EJEMPLO DE CALCULO No. 6

Determinar la complejidad de construcción de la red TE que se ilustrara en la figura 4.13, en donde el número de vías de entrada es $N=80$. Supóngase que cada vía MDT de entrada contiene 24 canales. Además, supóngase que se emplea una sólo matriz para la etapa espacial.

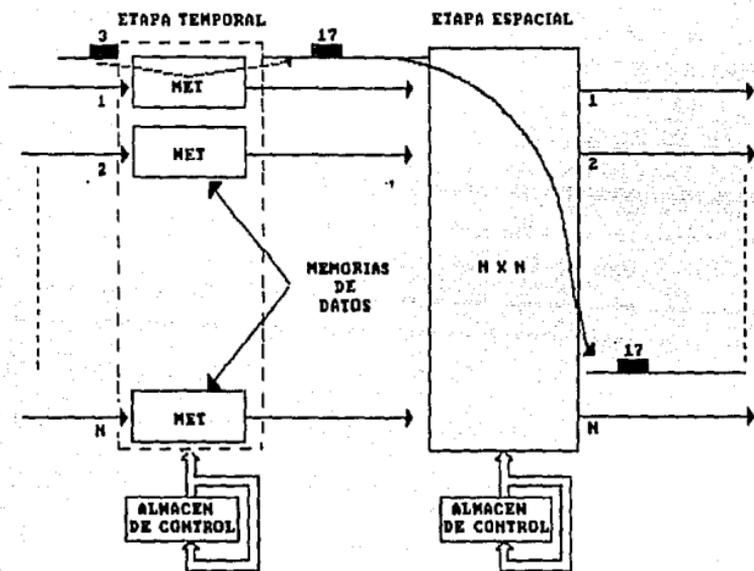


FIGURA 4.13

Procedimiento:

Se calcula primeramente el número de puntos de conexión (PC) que se emplea en la etapa espacial de la siguiente manera:

$$N_x = N^2 = 80^2$$

Por lo tanto:

$$N_x = 6,400 \text{ PC espaciales.}$$

A continuación se calcula el número de bits de memoria para el almacén de control de la etapa espacial con la siguiente expresión:

$$N_{Bx} = (N) * (c) * (B_c) \quad (4.14)$$

En donde:

c = Número de palabras de control/vía (o número de canales por vía).

B_c = Número de bits por palabra de control.

$2^{B_c} = N$ (número de combinaciones que se pueden tener con B_c bits), por lo tanto

$B_c = \log_2 (80-2) = 6.285$ bits valor que se aproxima a 7 bits

Sustituyendo los valores anteriores en (4.14) se obtendrá:

$N_{Bx} = 80 * 24 * 7 = 13,440$ bits de memoria para el almacén de control de la etapa espacial.

Ahora se calcula el número de bits de memoria en la etapa temporal (N_{Bt}), éste se obtiene con la suma del número de bits en la matriz de transferencia de información (MTI), el cual se designa como N_{Bi} más el número de bits del almacén de control de la MTI (N_{Bc}).

$$N_{Bt} = N_{Bi} + N_{Bc} \quad (4.15)$$

El cálculo de N_{Bi} se obtiene de la siguiente expresión.

$$N_{Bi} = (N) * (c) * (B_i) \quad (4.16)$$

En donde B_i es el número de bits por canal y equivale a 8.

Sustituyendo en (4.16) se obtiene lo siguiente:

$$N_{Bi} = (80) * (24) * (8) = 15,360 \text{ bits.}$$

Para el cálculo de N_{BC} se utiliza la siguiente expresión:

$$N_{BC} = (N) * (c) * (B_C) \quad (4.17)$$

B_C Es el número de bits por palabra de control para la etapa de control, en dicha etapa se controla la información de los 24 canales.

Por lo tanto $2^{B_C} = 24$. Así $B_C = \log_2 (24-2) = 4.45$ que se aproxima a 5.

Sustituyendo los valores anteriores en (4.17) nos queda:

$$N_{BC} = (80) * (24) * (5) = 9,600 \text{ bits.}$$

Sustituyendo el resultado de las ecuaciones (4.16) y (4.17) en (4.18) se obtiene:

$N_{Bt} = (15,360) + (9,600) = 24,960$ bits de memoria en la etapa temporal.

Con los resultados obtenidos anteriormente y sustituyendo en la ecuación de complejidad (4.13) se tendrá lo siguiente:

$$\text{Complejidad} = N_x + \frac{N_{Bx} + N_{Bt}}{100}$$

$$\text{Complejidad} = 6,400 + \frac{13,440 + 24,960}{100}$$

Complejidad = 6,784 puntos de conexión equivalentes.

Como se observa en este ejemplo, el número de puntos de conexión de la etapa espacial es notoriamente superior al número de puntos de conexión de la etapa temporal. La complejidad de construcción se puede reducir considerablemente y por consiguiente el costo, si los grupos de canales de las vías de entrada se combinan en señales múltiples de nivel más alto antes de que se conmuten. El costo de la sección receptora de los multiplexores es relativamente bajo si la mayoría de las señales individuales (número de canales por vía) ya vienen sincronizadas para la conmutación. De esta manera, la complejidad de construcción

de la etapa espacial se reduce considerablemente en tanto que la complejidad de construcción de la etapa temporal se incrementa ligeramente.

Los costos de construcción se reducen proporcionalmente hasta el punto en que las altas velocidades obligan al empleo de tecnologías avanzadas.

4.8 REDES DE TRES ETAPAS DE DOS DIMENSIONES

Como se observó anteriormente, la conmutación temporal es más económica que la conmutación espacial; primordialmente por que la memoria digital es mucho más económica que los puntos de conexión digitales (compuertas AND). Se hace notar una vez más que los puntos de conexión en si mismos no son tan caros, sino que es el costo de accesarlos y seleccionarlos desde las terminales externas lo que hace su empleo relativamente más costoso.

Naturalmente, existen límites prácticos en cuanto a la cantidad de canales que se pueden multiplexar en una vía común MDT para la conmutación temporal. Cuando se llega a estos límites, la reducción de la complejidad de construcción se logra únicamente con el empleo de varias etapas. Evidentemente se pueden conseguir ahorros en el costo,

reemplazando la matriz espacial única de la red TE o ET por un arreglo de varias etapas.

El método generalmente más efectivo implica contar con dos etapas espaciales separadas por una temporal o a la inversa, dos etapas temporales con una espacial intermedia.

4.8.1 REDES E.T.E (ESPACIAL-TEMPORAL-ESPACIAL).

En la figura 4.14 se muestra el diagrama funcional a bloques de la red ETE. Cada una de las etapas espaciales está constituida por una matriz de una sola etapa (sin bloqueo). Para redes de mayor capacidad, es conveniente llevar a cabo la conmutación espacial en varias etapas. Para el establecimiento de una trayectoria de comunicación a través de la red ETE es necesaria la búsqueda de una matriz de conmutación temporal con acceso de escritura disponible durante el intervalo de tiempo de entrada y con acceso de lectura disponible durante el intervalo de tiempo de salida deseado. Cuando cada etapa individual (ETE) es sin bloqueo, su operación es funcionalmente igual a la operación de la red espacial de tres etapas; por consiguiente la gráfica de probabilidad que se muestra en la figura 4.15 de la red ETE es idéntica a la gráfica de probabilidad de la red espacial

de tres etapas. Por lo tanto, la probabilidad de bloqueo de la red ETE es:

$$B = (1 - q'^2)^k \quad (4.18)$$

En donde :

$$q' = 1 - p' = 1 - p / \beta$$

β = Factor de relación ($\beta = k / n$)

Si $n < k$, β es un factor de expansión; es decir conmuta cierto número de líneas de entrada hacia un número mayor de líneas de salida.

Si $n > k$, β es un factor de concentración; es decir, conmuta cierto número de líneas de entrada hacia un número menor de líneas de salida.

k = Número de matrices de conmutación temporal en la etapa central.

B = Probabilidad de que todas las trayectorias estén ocupadas. (probabilidad de bloqueo).

p' = Probabilidad de que cualquier eslabón particular interetapa esté ocupado.

n = Número de entradas por matriz.

p = Es la probabilidad de que una entrada este ocupada.

q' = Es la probabilidad de que un eslabón interetapa este libre.

Notese que la ec. (4.18) da el bloqueo en función de k y B . Frecuentemente es útil la ecuación que expresa a k en función de B y B .

Esta expresión se puede obtener a partir de la ec. 4.18 como:

$$k = \frac{\text{Log } B}{\text{Log} [1 - (1 - p / B)^2]} \quad (4.19)$$

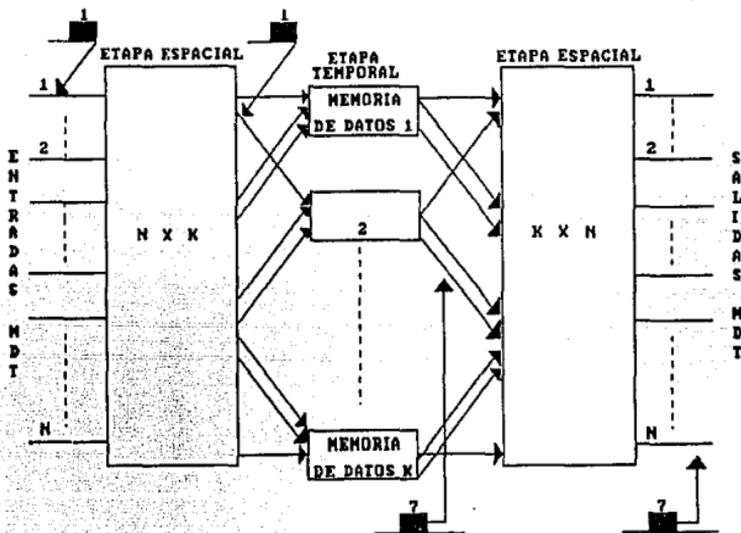


FIGURA 4.14 Estructura de conmutación. Espacio-tiempo-Espacio.

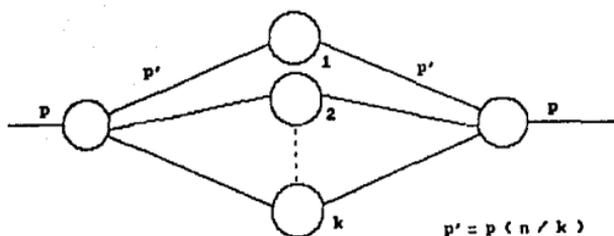


FIGURA 4.15 Gráfica de probabilidad de la red ETE con etapas sin bloqueo.

La tabla I obtenida apartir de la ecuación 4.19 proporciona los valores de k y n para diferentes valores de B. Se debe observar que esta tabla es valida únicamente para los valores específicos de $B=0.002$ y $p=0.10$. Si estos valores cambian se debe elaborar otra tabla similar a partir de la ecuación 4.19. La tabla I proporciona cualquiera de los tres parámetros B, k y n conocidos los otros dos. De la gráfica 4.16 realizada a partir de la tabla I que permite la misma función.

CALCULO PARA EL DISEÑO DE LA RED ETE

B	K	n = K/B
0.11	748.85	6,807.77
0.15	52.76	351.75
0.20	21.60	108.01
0.30	10.57	35.24
0.40	7.51	18.79
0.50	6.08	12.16
0.60	5.24	8.73
0.70	4.68	6.69
0.80	4.28	5.35
0.90	3.98	4.52
1.00	3.74	3.74
2.00	2.66	1.33
2.20	2.56	1.16
2.40	2.47	1.03

TABLA I. Se mantiene constante B y p y se propone B

($B = 0.002$, $p = 0.1$).

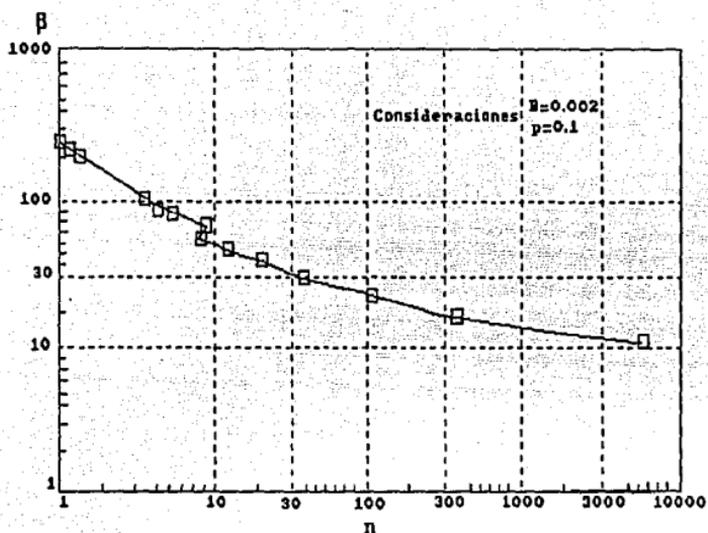


FIGURA 4.16 Gráfica correspondiente a la Tabla I. Escala: logarítmica.

4.8.2 COMPLEJIDAD DE CONSTRUCCION DE LAS REDES ETE

Suponiendo que las etapas espaciales son matrices de una sola etapa y que cada vía MDT (Multiplex por División de Tiempo) tiene c canales de comunicación (intervalos de tiempo se podrá determinar la complejidad de la red ETE, como:

Complejidad = (número de puntos de conexión en las etapas espaciales + [(número de bits de control de la etapa espacial) + (número de bits de memoria de la etapa temporal) + (número de bits de control de la etapa temporal)] / 100

Por lo anterior la ecuación que rige a las redes ETE es la siguiente:

$$\text{COMPLEJIDAD} = 2KN + \frac{2(kc) * (\text{Log}_2N) + (8kc) + (kc) * (\text{Log}_2c)}{100} \quad (4.20)$$

Esta deducción se hace bajo la suposición de emplear el control asociado a la salida en la primera etapa y el control asociado a la entrada en la tercera etapa.

4.8.2.1 EJEMPLO DE CALCULO No. 7

Determinar la complejidad de construcción de una red ETE con 2,048 canales conformados en 16 vías MDT con 128 canales cada una. La máxima probabilidad de bloqueo deseada es de 0.002 para una ocupación por canal de 0.1.

Procedimiento:

Notese que en la red del problema las etapas espaciales son de una s3la matriz. Esto significa que $n = N = 16$. Observando la gr3fica de la figura 4.16, con este valor en la ecuaci3n 4.19 se determina que el m3nimo n3mero de matrices temporales en la etapa central para proporcionar el grado de servicio deseado es:

$$k = \frac{\text{Log } 0.002}{[\log(1-(1-0.1 / 0.4389))]} = 7$$

Para el c3lculo de la complejidad se cuenta con los siguientes datos:

$$k = 7$$

$$c = 128 \text{ canales}$$

$$N = n = 16$$

Sustituyendo estos valores en la ecuaci3n 4.20:

$$\text{Complejidad} = 2*7*16 + \frac{(2*7*128*4)+(7*128*8)+(7*128*7)}{100}$$

Complejidad = 430 puntos de conexión equivalentes.

El diseño de una red espacial del mismo tamaño requerirá 14,336 puntos de conexión mientras que el diseño de la red ETE únicamente requiere 430 puntos de conexión equivalentes. El impresionante ahorro que se presenta se debe a que las señales de voz se han digitalizado y multiplexado (en un principio para propósitos de transmisión). Cuando la red ETE se introduce en un sistema analógico, el mayor costo de la red se presenta en la interfaz de línea. Los conmutadores digitales son similares a las modernas computadoras digitales donde el costo de la unidad de procesamiento central tiende a ser relativamente pequeño con respecto al costo de los dispositivos periféricos.

4.8.3 REDES T.E.T. (TEMPORAL-ESPACIAL-TEMPORAL).

La segunda forma de la conmutación de dos dimensiones de varias etapas se muestra en la figura 4.17. Esta red generalmente se conoce como red Tiempo-Espacio-Tiempo (TET). La información que llega por un canal de una vía MDT de

entrada se retiene en la etapa temporal de entrada hasta que la trayectoria apropiada a través de la etapa espacial está disponible. En este momento la información se transfiere vía la etapa espacial hacia la matriz temporal de salida apropiada donde esta información se retiene hasta que se presente el intervalo de tiempo deseado. Suponiendo que las etapas temporales proporcionan accesibilidad completa (todos los canales de entrada se pueden conectar con todos los canales de salida) cualquier intervalo de tiempo de la etapa espacial se puede emplear para la conexión.

Desde el punto de vista funcional, la etapa espacial se reconfigura una vez cada intervalo de tiempo interno. Este concepto se reafirma con la gráfica de probabilidad de la red T.E.T. que se muestra en la figura 4.18. El número L de intervalos de tiempo internos de la etapa espacial es independiente del número c de intervalos de tiempo MDT externos. Por lo tanto ambos números de intervalo de tiempo no necesariamente deben coincidir. Sin embargo, conviene hacer notar que la duración del intervalo de tiempo interno debe de ser igual a la duración del intervalo externo. La razón de esto se debe a que se pierde parte de la información o aparecen problemas de sinfonía si no se cumple esta condición.

La característica importante que se debe de observar en la red TET, es que la parte espacial opera en la modalidad de

tiempo compartido, entendiéndose por esto, el hecho de que en el mismo intervalo de tiempo interno, se lleven a cabo todas las conexiones posibles sobre la etapa espacial.

Si la etapa espacial es sin bloqueo, el bloqueo en la red TET se presenta sólo si no existe un intervalo de tiempo disponible en la etapa espacial. Evidentemente se reduce la probabilidad de bloqueo si se aumenta el número de intervalos de tiempo L en la etapa espacial. De hecho, se puede establecer la analogía directa con las redes espaciales de tres etapas. Es decir, la red TET será estrictamente sin bloqueo si se cumple que $L = 2c - 1$. La probabilidad de bloqueo para la red TET con etapas individuales sin bloqueo (T.E.T.) es:

$$B = (1 - q_1^2)^L \quad (4.21)$$

En donde:

$$q_1 = 1 - p_1 = 1 - p / \alpha$$

α = Expansión temporal.

L = Número de intervalos de tiempo en la etapa espacial.

La ec. 4.21 proporciona el bloqueo en función de α y L. La ecuación que relaciona a L en términos de B y α se obtiene a partir de la ec. 4.21 como:

$$L = \frac{\text{Log B}}{\text{Log}(1 - (1 - p / \alpha)^2)} \quad (4.22)$$

La tabla II obtenida a partir de la ecuación 4.22 proporciona los valores de L y c para diferentes valores de α . Se debe observar que esta tabla es válida solamente para los valores específicos de B = 0.002 y p = 0.10. Si estos valores cambian, la tabla II dejará de ser válida. La tabla II proporciona cualquiera de los parámetros L, α , y c conocidos los otros dos. La gráfica de la figura 4.19 realizada a partir de la tabla II permite la misma función.

CALCULO PARA EL DISEÑO DE LA RED TET

α	L	c
0.11	748.85	374.92
0.15	52.76	26.88
0.20	21.60	11.30
0.30	10.57	5.78
0.40	7.51	4.25
0.50	6.08	3.54
0.60	5.24	3.12
0.70	4.68	2.84
0.80	4.28	2.64
0.90	3.98	2.49
1.00	3.74	2.37
2.00	2.66	1.83
2.20	2.56	1.78
2.40	2.47	1.73

Tabla II. Se mantiene constante B, p y se propone α
(B = 0.002, p = 0.10)

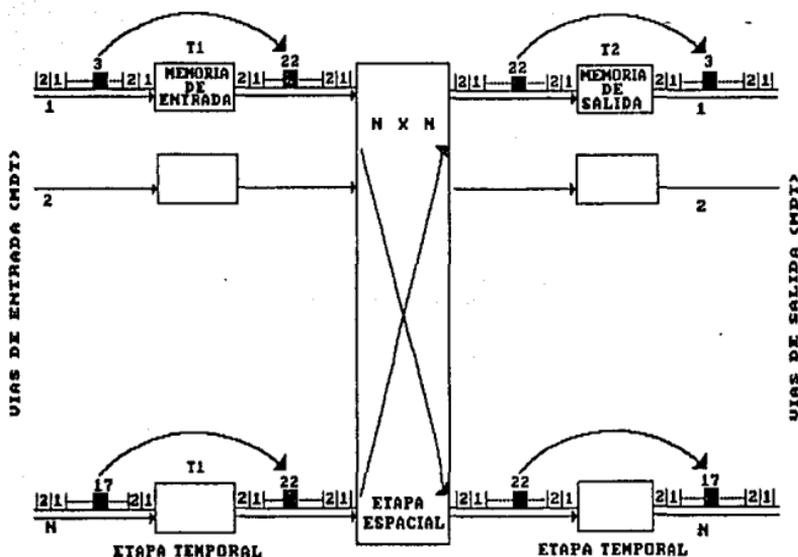


FIGURA 4.17 Estructura de conmutación. Tiempo-Espacio-Tiempo.

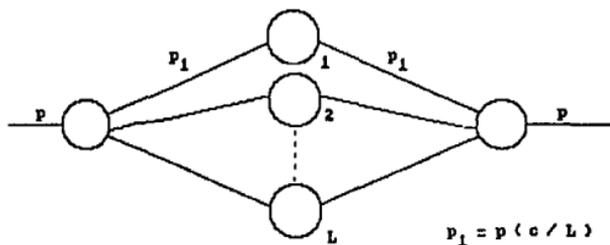


FIGURA 4.18 Gráfica de la probabilidad de la red TET con etapa sin bloqueo.

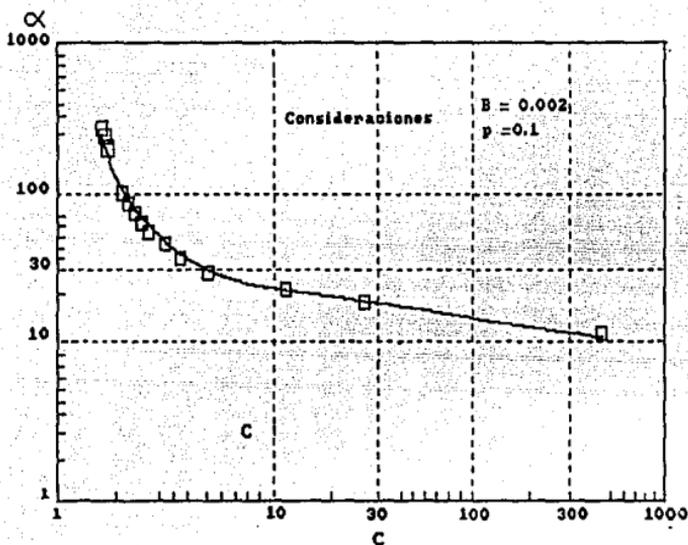


FIGURA 4.19 Gráfica correspondiente a la Tabla II. Escala: logarítmica

4.8.4 COMPLEJIDAD DE CONSTRUCCION DE LAS REDES TET.

La complejidad de construcción de la red TET se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Complejidad} = N^2 + \frac{(NL)(\log_2 N) + (2Nc8) + (2NL)(\log_2 c)}{100} \quad (4.23)$$

Esta deducción se hace bajo la suposición de emplear el control asociado a la salida en la etapa temporal de entrada (lectura aleatoria) y el control asociado a la entrada en la etapa temporal de salida (escrituras aleatorias).

A continuación por medio de un ejemplo se ilustrará la complejidad de construcción de una red TET.

4.8.4.1 EJEMPLO DE CALCULO No. 8

Determinar la complejidad de construcción de una red TET con 2,048 canales en 16 vías MDT con 128 canales cada una. La máxima probabilidad de bloqueo deseada es de 0.002 para la ocupación de canal de 0.1.

Procedimiento:

Con el valor de $c = 128$, de la gráfica de la figura 4.19 se encuentra el valor $\alpha = 0.195$, por consiguiente $L = \alpha * c$.

$$L = 0.195 * 128 = 25$$

Por lo tanto la concentración en tiempo ($c/L = 1/\alpha$)=5.12 es tolerable debido a la carga pequeña de los canales de entrada. La complejidad de construcción de la red se obtiene apartir de la ecuación 4.23

$$\text{Complejidad} = 16^2 + \frac{(16*25*4 + 2*16*128*8 + 2*16*25*7)}{100}$$

Complejidad = 656 puntos de conexión equivalentes.

Los resultados obtenidos de los ejemplos de las redes TET y ETE muestran que la estructura TET es más compleja que la red ETE. Sin embargo, la red TET opera con concentración temporal mientras que la red ETE opera con concentración espacial. A medida que la utilización de las vías de entrada se incrementa, se requiere disminuir la concentración.

Si la carga del canal es lo suficientemente alta, se justifica el empleo de la expansión temporal en la red TET y la expansión espacial en la red ETE para mantener baja la probabilidad de bloqueo. En porcentajes altos de utilización de los canales de entrada, la red ETE es más conveniente debido a que el costo de la expansión temporal es menor al costo de la expansión espacial.

Para redes pequeñas, la complejidad de construcción favorece a la red ETE. La elección de una red en particular puede depender más de otros factores tales como: modularidad, expansión y realización de pruebas. Otra consideración que favorece a la red ETE es que el control que requiere es relativamente simple.

En conclusión para redes pequeñas con bajo tráfico, la red ETE es más conveniente, mientras que para redes de gran capacidad y tráfico alto lo más conveniente es la red TET.

4.9 REDES DE CINCO ETAPAS T.E.E.T. (TIEMPO-ESPACIO-ESPACIO-ESPACIO-TIEMPO).

Cuando la etapa espacial de la red TET es sumamente grande, se justifica el adicionar un control complejo, por lo que se emplean etapas espaciales múltiples para reducir el número total de puntos de conexión. La figura 4.20 ilustra una estructura TET con un arreglo central de tres etapas espaciales, esta estructura es generalmente conocida como red TEEET.

En la figura 4.21 se muestra la gráfica de probabilidad de la red TEEET. Se observa que este diagrama es funcionalmente idéntico a la probabilidad de una red espacial

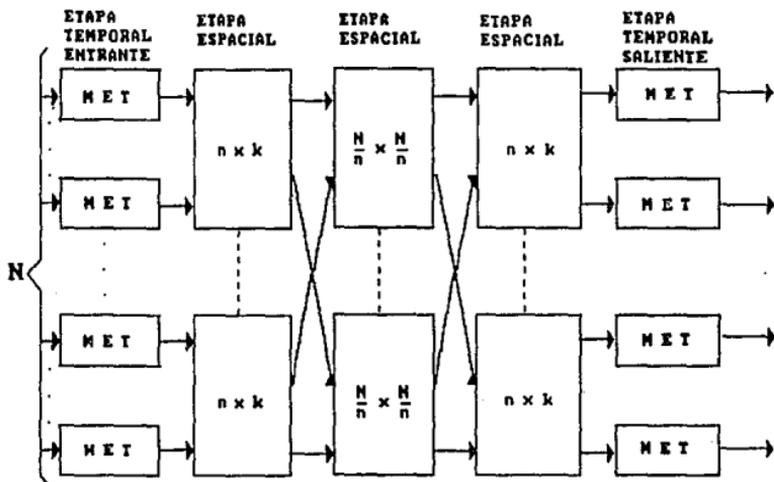


FIGURA 4.20 Estructura de conmutación TEET.

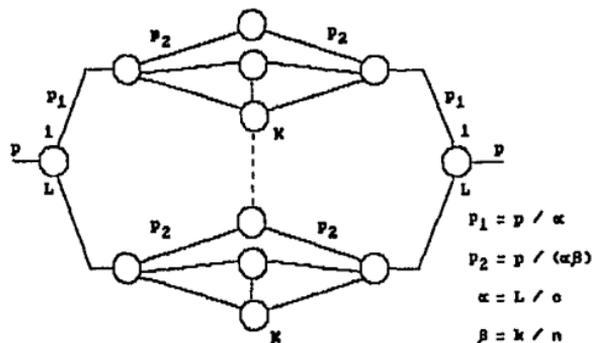


FIGURA 4.21 Gráfica de probabilidad de la red TEET

de 5 etapas. Empleando la gráfica de probabilidad de la figura 4.21 se determina la probabilidad de bloqueo de la red TEEET como:

$$B = (1 - q_1)^2 [1 - (1 - q_2^2)^k] L \quad (4.24)$$

en donde

$$q_1 = 1 - p_1 = 1 - p/\alpha$$

$$q_2 = 1 - p_2 = 1 - p/\alpha\beta$$

Nótese que la ecuación 4.24 da el bloqueo en función de k , L , α y β . Con frecuencia es útil la expresión que incluye a k en función de B , L , α y β .

Esta expresión se puede obtener a partir de la ecuación 4.23 como:

$$k = \frac{\text{Log} \left(1 - \frac{(1 - L\sqrt{\beta})}{(1 - p/\alpha)^2} \right)}{\text{Log} [1 - (1 - p/\alpha\beta)^2]} \quad (4.25)$$

La tabla III se obtiene a partir de la ecuación 4.25 la cual proporciona los valores de k y n para diferentes valores

de α , se debe observar que esta tabla es válida únicamente para los valores específicos de:

$$B = 0.002$$

$$p = 0.7$$

$$L = 128$$

$$\alpha = 1.0$$

CALCULO PARA EL DISEÑO DE LA RED TEEET

B	k	$n = k/B$
0.71	3,769.10	5,308.59
0.71	968.72	1,345.45
0.73	442.38	606.00
0.75	165.87	223.82
0.78	70.70	90.64
0.80	47.48	59.35
0.85	24.00	28.26
0.90	14.76	13.79
0.96	9.81	10.21
1.00	7.92	7.92
1.20	3.92	3.26
1.40	2.59	1.85
1.60	1.96	1.22
1.80	1.59	0.88

TABLA III. Se mantiene constante B , p , L y se propone B

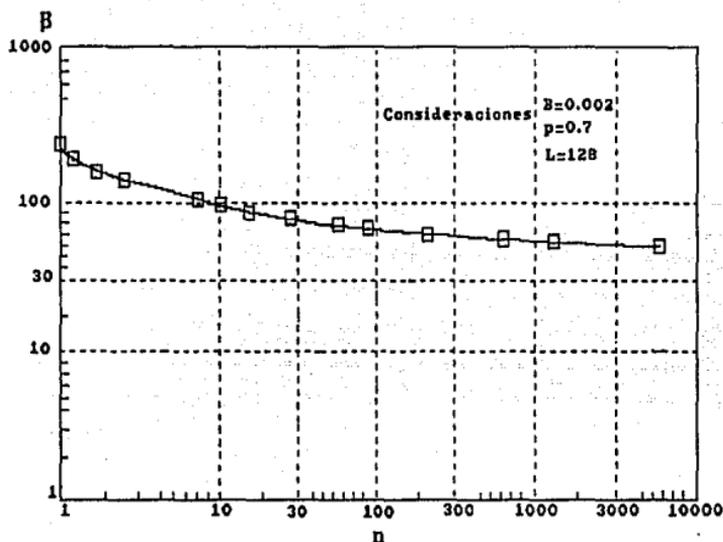


FIGURA 4.22 Gráfica correspondiente a la Tabla III. Escala: logaítmica.

4.9.1 COMPLEJIDAD DE CONSTRUCCION DE LA RED TEET.

La complejidad de construcción de la red TEET se determina mediante la ecuación:

$$\text{Complejidad} = N_X + \frac{(N_{BX} + N_{BT} + N_{BTC})}{100} \quad (4.26)$$

Donde:

N_X = Número de puntos de conexión de las etapas espaciales.

$$N_X = 2 \cdot N \cdot k + k(N/n)^2$$

N_{BX} = Número de bits del almacén de control de la etapa espacial.

$$N_{BX} = 2k(N/n) \cdot L \cdot \log_2(n) + k(N/n) \cdot L \cdot \log_2(N/n)$$

N_{BT} = Número de bits en las etapas temporales.

$$N_{BT} = 2Nc8$$

N_{BTC} = Número de bits del almacén de control de las etapas temporales.

$$N_{BTC} = 2NL \cdot \log_2(c)$$

4.9.1.1 EJEMPLO DE CALCULO No. 9

Calcular la complejidad de construcción para una red TEEET con 131,072 canales diseñada para proporcionar una probabilidad de bloqueo máxima de 0.002 con ocupación por

canal de 0.7. Suponga que la red dará servicio a 1,024 vías MDT de entrada con 128 canales en cada una. También supóngase que se emplea expansión temporal unitaria en las etapas espaciales.

Procedimiento:

La red espacial se puede diseñar de diferentes formas dependiendo de cuantas entradas se asignen a cada matriz de la primera etapa espacial.

Si se hace el cálculo óptimo de n , se tiene que:

$$n = (N/2)^{1/2} = (1,024/2)^{1/2} = 32$$

De aquí se nota que el valor binario conveniente más cercano es 32, con este valor de n y observando la figura 4.21 se encuentra 0.825 y se hace el cálculo de $k = 26$ con base a la fórmula $n = k/\beta$.

$$N = 1,024$$

$$c = 128$$

$$n = 22.62$$

$$\alpha = 1.0$$

$$L = 128$$

Para el cálculo de la complejidad se emplea la ecuación
4.26

$$\text{Complejidad} = N_X + \frac{(N_{BX} + N_{BT} + N_{BTc})}{100}$$

Donde:

$$N_X = 2 \cdot 1024 \cdot 32 + 26 \cdot 32^2 = 79,872$$

$$N_{BX} = 2 \cdot 26 \cdot 32 \cdot 128 \cdot 5 + 26 \cdot 32 \cdot 128 \cdot 5 = 1,597,440$$

$$N_{BT} = 2 \cdot 1024 \cdot 128 \cdot 8 = 2,097,152$$

$$N_{BTc} = 2 \cdot 1024 \cdot 128 \cdot 7 = 1,835,008$$

$$\text{Complejidad} = 79872 + \frac{1,597,440 + 2,097,152 + 1,835,008}{100}$$

Complejidad = 135,168 puntos de conexión equivalentes.

CAPITULO 5
PROGRAMA DE CALCULO

En este capítulo se presentará la documentación correspondiente al programa que se desarrollo para facilitar el cálculo de las redes que se han tratado, así como su estudio y explicación.

El programa fue desarrollado en su totalidad con CLIPPER versión Summer '87. A continuación se presentan los diagramas a bloques que forman el sistema al cual se ha denominado TESIS.

DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA TESIS

Diagrama para el procedimiento TESIS.PRG del sistema TESIS.

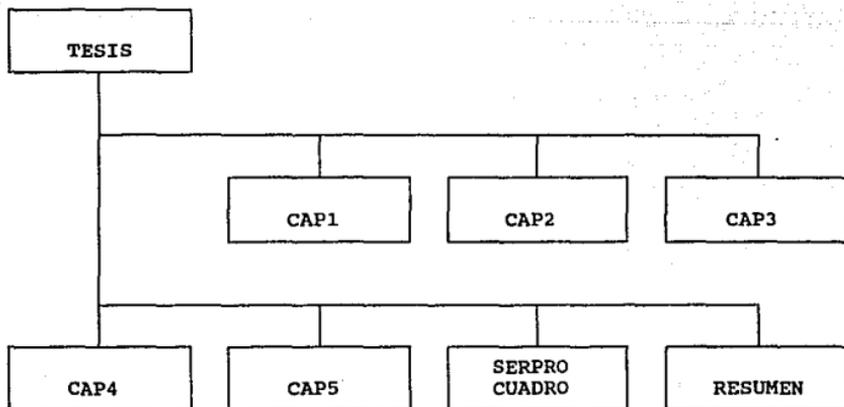


Diagrama para el procedimiento CAP1.PRG del sistema TESIS.

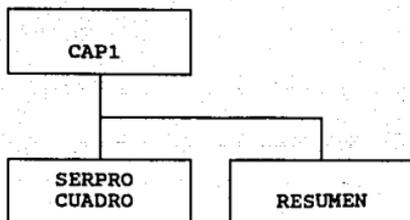


Diagrama para el procedimiento CAP2.PRG del sistema TESIS.

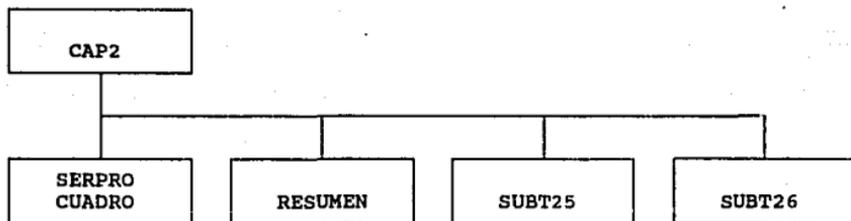


Diagrama para el procedimiento SUBT25.PRG del sistema TESIS.

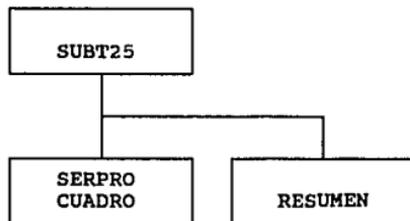


Diagrama para el procedimiento SUBT26.PRG del sistema TESIS.

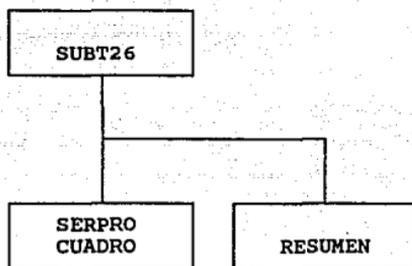


Diagrama para el procedimiento CAP3.PRG del sistema TESIS.

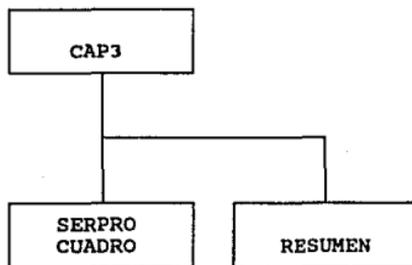


Diagrama para el procedimiento CAP4.PRG del sistema TESIS.

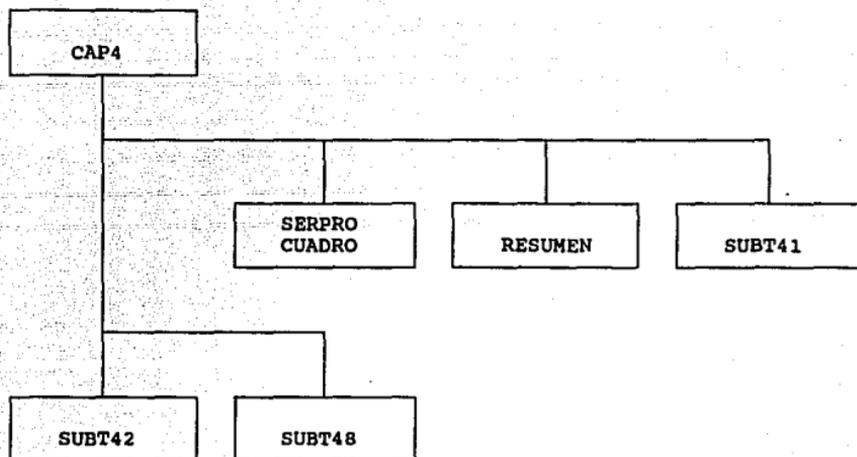


Diagrama para el procedimiento SUBT41.PRG del sistema TESIS.

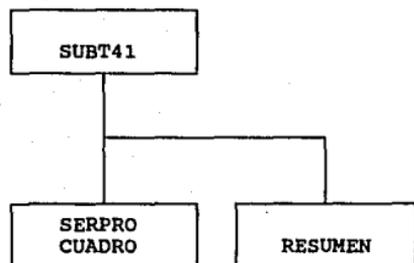


Diagrama para el procedimiento SUBT42.PRG del sistema TESIS.

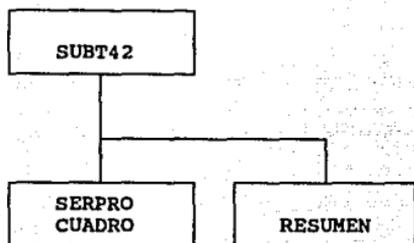


Diagrama para el procedimiento SUBT48.PRG del sistema TESIS.

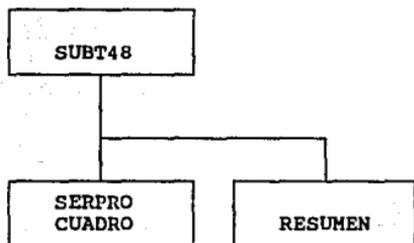


Diagrama para el procedimiento CAP5.PRG del sistema TESIS.

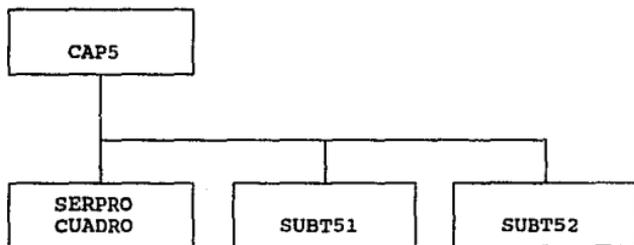


Diagrama para el procedimiento SUBT51.PRG del sistema TESIS.

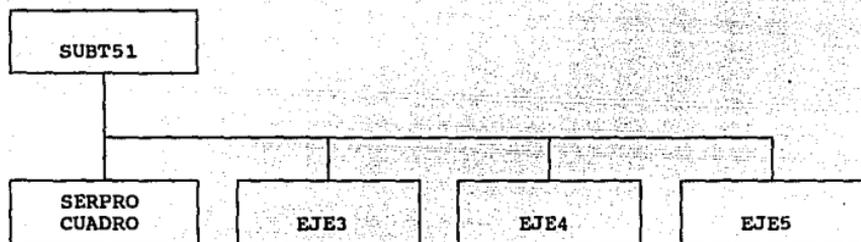


Diagrama para el procedimiento EJE3.PRG del sistema TESIS.

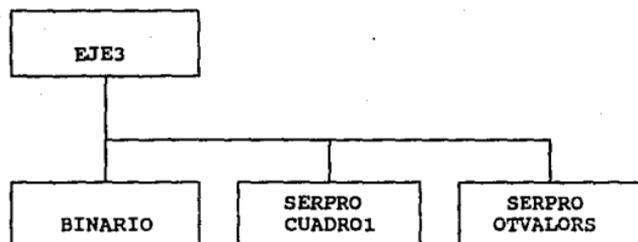


Diagrama para el procedimiento EJE4.PRG del sistema TESIS.

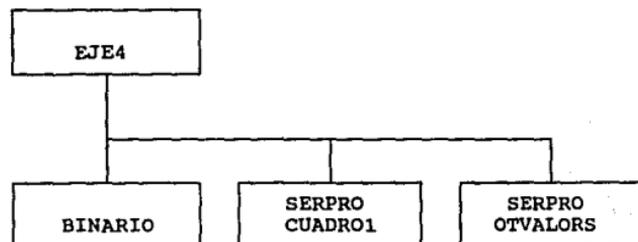


Diagrama para el procedimiento EJE5.PRG del sistema TESIS.

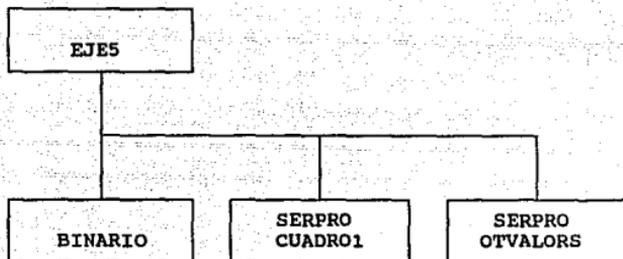


Diagrama para el procedimiento SUBT52.PRG del sistema TESIS.

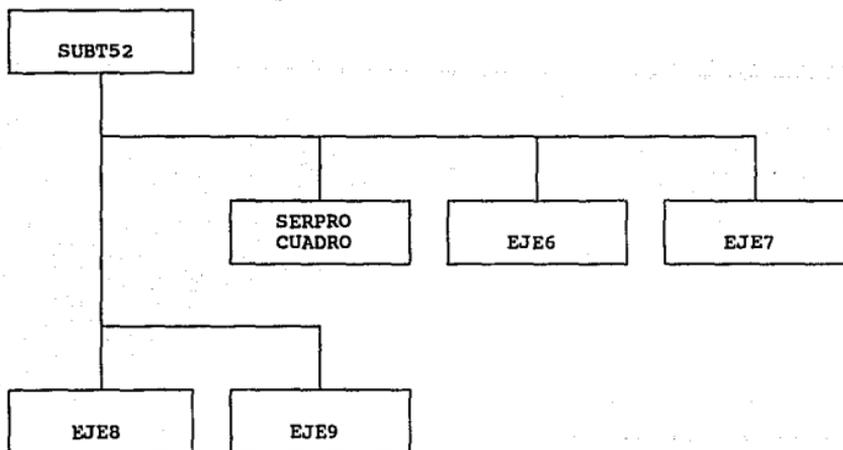


Diagrama para el procedimiento EJE6.PRG del sistema TESIS.

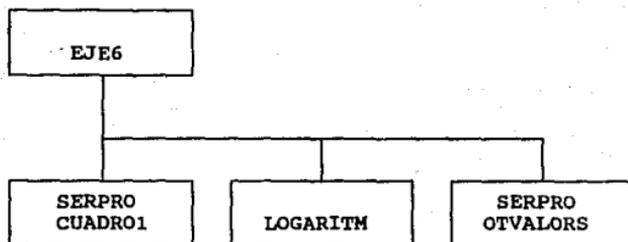


Diagrama para el procedimiento EJE7.PRG del sistema TESIS.

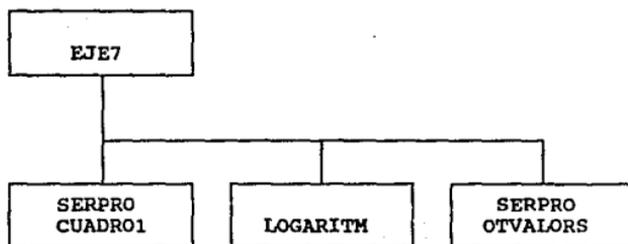


Diagrama para el procedimiento EJE8.PRG del sistema TESIS.

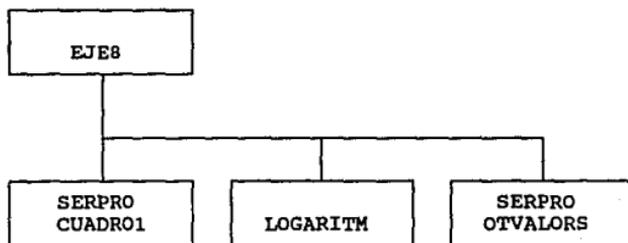


Diagrama para el procedimiento EJE9.PRG del sistema TESIS.

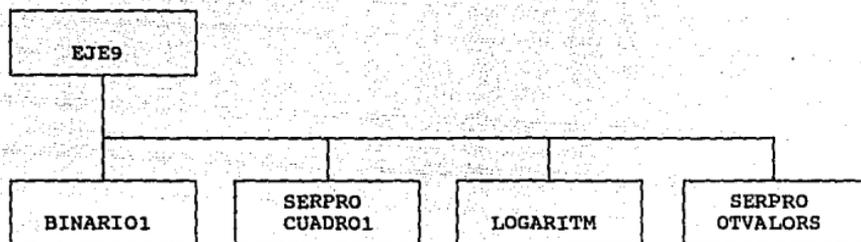
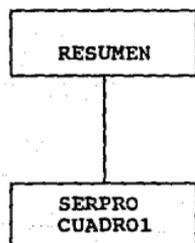


Diagrama para el procedimiento RESUMEN.PRG del sistema TESIS.



Los recuadros que contienen 2 nombres, indican que se esta empleando un "PROCEDIMIENTO" que esta contenido dentro de un programas de procedimientos.

La codificación de cada uno de estos programas se presenta con la finalidad de explicar como fue que se trabajó en el desarrollo del programa para la presente tesis.

CODIFICACION DE LOS PROGRAMAS DEL SISTEMA TESIS

```

*****
* NOMBRE.....: TESIS.PRG
* FUNCION.....: Menú Principal del sistema
* LLAMADO POR.....:
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez
* NOTAS.....:
*****
IF !FILE("RESUMEN.NTX")
  USE RESUMEN
  INDEX ON OPCION TO RESUMEN
  CLOS DATA
ENDIF
PUBL OPCION1, PANTA
SET STAT OFF
SET TALK OFF
SET BELL OFF
SET SCOR OFF
SET SAFE OFF
SET WRAP ON
SET FUNCTION 10 TO CHR(23)+CHR(23)
SET PROCEDURE TO SERPRO
SET MESSAGE TO 23 CENTER
SET COLOR TO n/w,W+/G,,,N/BG
@ 00, 00 CLEAR
@ 0, 0 TO 24, 79 DOUBLE
@ 4, 1 SAY REPLICATE("-",78)
@ 1, 35 TO 3, 35 DOUBLE
@ 0, 35 SAY "T"
@ 4, 35 SAY "I"
@ 22, 0 SAY "I"
@ 22, 1 SAY REPLICATE("-",78)
@ 22, 79 SAY "I"
@ 1, 4 SAY "DIMENSIONAMIENTO DE CENTRALES"
@ 2, 7 SAY "TELEFONICAS DIGITALES"
@ 3, 5 SAY "TESIS, E.N.E.P. ARAGON-UNAH"
SET COLOR TO G+/N
@ 1, 36 CLEAR TO 3, 78
@ 1, 70 SAY DATE()
MENUPRI=.T.
DO WHILE MENUPRI
  PANTA = "MENU PRINCIPAL"
  OPMPENPRI=0
  DO CUADRO WITH 07, 31, 21, 47, PANTA
  SET COLOR TO W+/G
  @ 07, 34 PROMPT "Introducción " MESSAGE "Panorama general de la presente
Tesis"
  SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,N/BG

```

```

@ 09, 34 PROMPT "1er. Capitulo" MESSAGE "Commutación Telefónica"
@ 11, 34 PROMPT "2do. Capitulo" MESSAGE "Principios de Digitalización"
@ 13, 34 PROMPT "3er. Capitulo" MESSAGE "Redes de Conmutación Digital"
@ 15, 34 PROMPT "4to. Capitulo" MESSAGE "Dimensionamiento de Redes Digitales"
@ 17, 34 PROMPT "5to. Capitulo" MESSAGE "Programa de cálculo para el Diseño"
@ 19, 34 PROMPT "Conclusiones " MESSAGE "Conclusiones generales de la Tesis"
@ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"
SET COLOR TO BR+/N
@ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
@ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
SET COLOR TO G+/N
DO WHILE .T.
    SET CURSOR OFF
    IF NEXTKEY()=0
        LOOP
    ENDIF
    SET CURSOR ON
    @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
    MENU TO OPMPENPRI
    EXIT
ENDDO
DO CASE
CASE OPMPENPRI=1
    OPCION1 = "I"
    DO RESUMEN
CASE OPMPENPRI=2
    OPCION1 = "1"
    DO CAP1
CASE OPMPENPRI=3
    OPCION1 = "2"
    DO CAP2
CASE OPMPENPRI=4
    OPCION1 = "3"
    DO CAP3
CASE OPMPENPRI=5
    OPCION1 = "4"
    DO CAP4
CASE OPMPENPRI=6
    DO CAP5
CASE OPMPENPRI=7
    OPCION1 = "C"
    DO RESUMEN
CASE OPMPENPRI=0
    CLEAR
    QUIT
ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: CAP1.PRG *
* FUNCION.....: Sub-menú del Capitulo 1 *
* Llamado POR.....: TESIS.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *

```

```

* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****
CAP = OPCION1
MENCAP1=.T.
DO WHILE MENCAP1
  PANTA = "1. CONMUTACION TELEFONICA"
  OPMENCAP1=0
  DO CUADRO WITH 9, 32, 19, 45, PANTA
    SET COLOR TO W+/G
    @ 09, 35 PROMPT "1er. Tema " MESSAGE "Fundamentos de Conmutación Telefónica"
    SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B
    @ 11, 35 PROMPT "2do. Tema " MESSAGE "Organización y Jerarquía de una Red
Telefónica"
    @ 13, 35 PROMPT "3er. Tema " MESSAGE "Organización Técnica de la Red
Telefónica"
    @ 15, 35 PROMPT "4to. Tema " MESSAGE "Central Telefónica"
    @ 17, 35 PROMPT "5to. Tema " MESSAGE "Funciones de un Conmutador"
    @ 23, 25 SAY "Use y 6 la primer letra"
    SET COLOR TO BR+/N
    @ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
    @ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
    SET COLOR TO G+/N
  DO WHILE .T.
    SET CURSOR OFF
    IF NEXTKEY()=0
      LOOP
    ENDIF
    SET CURSOR ON
    @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
    MENU TO OPHEMENCAP1
  EXIT
ENDDO
OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPMENCAP1,2,0))
DO CASE
  CASE OPMENCAP1=1
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=2
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=3
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=4
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=5
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=0
    RETURN
ENDCASE
ENDDO

*****
* NOHRE.....: CAP2.PRG *
* FUNCION.....: Sub-menú del Capítulo 2 *

```

```

* LLAMADO POR.....: TESIS.PRG
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez
* NOTAS.....:
*****
CAP = OPCION1
MENCAP1=.T.
DO WHILE MENCAP1
  PANTA = "2. PRINCIPIOS DE DIGITALIZACION"
  OPMENCAP1=0
  DO CUADRO WITH 8, 32, 20, 45, PANTA
    SET COLOR TO W+/G
    @ 08, 35 PROMPT "1er. Tema " MESSAGE "Fundamentos de Digitalización"
    SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B
    @ 10, 35 PROMPT "2do. Tema " MESSAGE "Sistema MCP (Modulación por
Codificación de Pulsos"
    @ 12, 35 PROMPT "3er. Tema " MESSAGE "El MCP en la Telefonía"
    @ 14, 35 PROMPT "4to. Tema " MESSAGE "Métodos para la Máxima Transferencia de
Información"
    @ 16, 35 PROMPT "5to. Tema " MESSAGE "Multiplex Digital"
    @ 18, 35 PROMPT "6to. Tema " MESSAGE "Códigos de Transmisión"
    @ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"
    SET COLOR TO BR+/N
    @ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
    @ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
    SET COLOR TO G+/N
  DO WHILE .T.
    SET CURSOR OFF
    IF NEXTKEY()=0
      LOOP
    ENDIF
    SET CURSOR ON
    @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
    MENU TO OPMENCAP1
    EXIT
  ENDDO
  OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPMENCAP1,2,0))
DO CASE
  CASE OPMENCAP1=1
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=2
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=3
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=4
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=5
    DO SUBT25
  CASE OPMENCAP1=6
    DO SUBT26
  CASE OPMENCAP1=0
    RETURN
ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: CAP3.PRG
* FUNCION.....: Sub-menú del Capítulo 3
* LLAMADO POR.....: TESIS.PRG
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez
* NOTAS.....:
*****

```

```

CAP = OPCION1

```

```

MENCAP1=.T.

```

```

DO WHILE MENCAP1

```

```

    PANTA = "3. REDES DE CONMUTACION DIGITAL"

```

```

    OPHEMENCAP1=0

```

```

    DO CUADRO WITH 7, 32, 21, 45, PANTA

```

```

        SET COLOR TO W+/G

```

```

        @ 07, 35 PROMPT "1er. Tema " MESSAGE "Estructura General de Conmutación

```

```

Digital"

```

```

        SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B

```

```

        @ 09, 35 PROMPT "2do. Tema " MESSAGE "Conmutación por Distribución de Espacio

```

```

(CDE)"

```

```

        @ 11, 35 PROMPT "3er. Tema " MESSAGE "Conmutación por Distribución de Tiempo

```

```

(CDT)"

```

```

        @ 13, 35 PROMPT "4to. Tema " MESSAGE "Conmutación Temporal"

```

```

        @ 15, 35 PROMPT "5to. Tema " MESSAGE "Conmutación de Dos Dimensiones Espacio-

```

```

Tiempo (ET)"

```

```

        @ 17, 35 PROMPT "6to. Tema " MESSAGE "Conmutación E-T-E (Espacial-Temporal-

```

```

Espacial)"

```

```

        @ 19, 35 PROMPT "7to. Tema " MESSAGE "Conmutación T-E-T (Temporal-Espacial-

```

```

Temporal)"

```

```

        @ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"

```

```

        SET COLOR TO BR+/N

```

```

        @ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)

```

```

        @ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)

```

```

        SET COLOR TO G+/N

```

```

    DO WHILE .T.

```

```

        SET CURSOR OFF

```

```

        IF NEXTKEY()=0

```

```

            LOOP

```

```

        ENDIF

```

```

        SET CURSOR ON

```

```

        @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)

```

```

        MENU TO OPHEMENCAP1

```

```

        EXIT

```

```

ENDDO

```

```

OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPHEMENCAP1,2,0))

```

```

DO CASE

```

```

    CASE OPHEMENCAP1=1

```

```

        DO RESUMEN

```

```

    CASE OPHEMENCAP1=2

```

```

        DO RESUMEN

```

```

    CASE OPHEMENCAP1=3

```

```

        DO RESUMEN

```

```

CASE OPMENCAP1=4
DO RESUMEN
CASE OPMENCAP1=5
DO RESUMEN
CASE OPMENCAP1=6
DO RESUMEN
CASE OPMENCAP1=7
DO RESUMEN
CASE OPMENCAP1=0
RETURN

```

ENDCASE

ENDDO

```

*****
* NOMBRE.....: CAP4.PRG *
* FUNCION.....: Sub-menú del Capitulo 4 *
* LLAMADO POR....: TESIS.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

CAP = OPCION1

MENCAP1=.T.

DO WHILE MENCAP1

PANTA = "4. DIMENSIONAMIENTO DE REDES DIGITALES"

OPMENCAP1=0

DO CUADRO WITH 9, 26, 19, 51, PANTA

SET COLOR TO W+/G

@ 09, 29 PROMPT "1er. Tema " MESSAGE "Base para el Diseño de una Red de Conmutación Digital"

SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B

@ 11, 29 PROMPT "2do. Tema " MESSAGE "Estructura de Redes"

@ 13, 29 PROMPT "3er. Tema " MESSAGE "Configuración de Redes"

@ 15, 29 PROMPT "4to. Tema " MESSAGE "Diseño de Redes de 5 Etapas"

@ 17, 29 PROMPT "5to. Tema " MESSAGE "Cálculo de Redes Digitales"

@ 09, 41 PROMPT "6to. Tema " MESSAGE "Complejidad de Construcción"

@ 11, 41 PROMPT "7to. Tema " MESSAGE "Cálculo de la Red Temporal-Espacial

{TE}"

@ 13, 41 PROMPT "8vo. Tema " MESSAGE "Redes de Tres Etapas de Dos

Dimensiones"

@ 15, 41 PROMPT "9no. Tema " MESSAGE "Redes de 5 Etapas T.E.E.E.T. (Tiempo-

Espacio-Espacio-Tiempo)"

@ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"

SET COLOR TO BR+/N

@ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)

@ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)

SET COLOR TO G+/N

DO WHILE .T.

SET CURSOR OFF

IF NEXTKEY()=0

LOOP

ENDIF

SET CURSOR ON

```

@ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
MENU TO OPMENCAP1
EXIT
ENDDO
OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPMENCAP1,2,0))
DO CASE
  CASE OPMENCAP1=1
    DO SUBT41
  CASE OPMENCAP1=2
    DO SUBT42
  CASE OPMENCAP1=3
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=4
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=5
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=6
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=7
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=8
    DO SUBT48
  CASE OPMENCAP1=9
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=0
    RETURN
ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: CAP5.PRG *
* FUNCION.....: Sub-menú del Capítulo 5 *
* LLAMADO POR.....: TESIS.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

CAP = OPCION1
MENCAP1=.T.
DO WHILE MENCAP1
  PANTA = "5. PROGRAMA DE CALCULO PARA EL DISEÑO"
  OPMENCAP1=0
  DO CUADRO WITH 11, 32, 15, 45, PANTA
  SET COLOR TO W+/G
  @ 11, 35 PROMPT "1er. Tema " MESSAGE "Diseño de Redes de Conmutación Digital"
  SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B
  @ 13, 35 PROMPT "2do. Tema " MESSAGE "Cálculo de Redes de Conmutación
  Digital"
  @ 23, 25 SAY "Use y 6 la primer letra"
  SET COLOR TO BR+/N
  @ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
  @ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
  SET COLOR TO G+/N

```

```

DO WHILE .T.
  SET CURSOR OFF
  IF NEXTKEY()=0
    LOOP
  ENDIF
  SET CURSOR ON
  @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
  MENU TO OPMENCAP1
  EXIT
ENDDO
DO CASE
  CASE OPMENCAP1=1
    DO SUBT51
  CASE OPMENCAP1=2
    DO SUBT52
  CASE OPMENCAP1=0
    RETURN
ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: SUBT25.PRG
* FUNCION.....: Sub-menú del Subtema 2.5
* LLAMADO POR.....: CAP2.PRG
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez
* NOTAS.....:
*****

```

```

CAP = OPCION1
MENCAP1=.T.

```

```

DO WHILE MENCAP1
  PANTA = "2.5 MULTIPLEX DIGITAL"
  OPMENCAP1=0
  DO CUADRO WITH 11, 31, 17, 46, PANTA
  SET COLOR TO W+/G
  @ 11, 34 PROMPT "1er. Subtema" MESSAGE "Multiplex de Primer Orden"
  SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B
  @ 13, 34 PROMPT "2do. Subtema" MESSAGE "Composición de Tramas de Primer
Orden"
  @ 15, 34 PROMPT "3er. Subtema" MESSAGE "Multiplex de Alto Orden"
  @ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"
  SET COLOR TO BR+/N
  @ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
  @ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
  SET COLOR TO G+/N
  DO WHILE .T.
    SET CURSOR OFF
    IF NEXTKEY()=0
      LOOP
    ENDIF
    SET CURSOR ON
    @ 23, 1 SAY REPLICTE(" ", 78)
    MENU TO OPMENCAP1
  
```

```

EXIT
ENDDO
OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPHENCAP1,2,0))
DO CASE
  CASE OPHENCAP1=1
    DO RESUMEN
  CASE OPHENCAP1=2
    DO RESUMEN
  CASE OPHENCAP1=3
    DO RESUMEN
  CASE OPHENCAP1=0
    RETURN
ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: SUBT26.PRG *
* FUNCION.....: Sub-menú del Subtema 2.6 *
* LLAMADO POR.....: CAP2.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

CAP = OPCION1
MENCAP1=.T.
DO WHILE MENCAP1
  PANTA = "2.6 CODIGOS DE TRANSMISION"
  OPHENCAP1=0
  DO CUADRO WITH 9, 31, 19, 46, PANTA
  SET COLOR TO W+/G
  @ 9, 34 PROMPT "1er. Subtema" MESSAGE "El Código AMI"
  SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B
  @ 11, 34 PROMPT "2do. Subtema" MESSAGE "El Código HDB3"
  @ 13, 34 PROMPT "3er. Subtema" MESSAGE "El Código BNZS"
  @ 15, 34 PROMPT "4to. Subtema" MESSAGE "El Código CMI"
  @ 17, 34 PROMPT "5to. Subtema" MESSAGE "Los Códigos 1B/2B y 5B/6B"
  @ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"
  SET COLOR TO BR+/N
  @ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
  @ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
  SET COLOR TO G+/N
  DO WHILE .T.
    SET CURSOR OFF
    IF NEXTKEY()=0
      LOOP
    ENDIF
    SET CURSOR ON
    @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
    MENU TO OPHENCAP1
  EXIT
ENDDO
OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPHENCAP1,2,0))
DO CASE

```

```

CASE OPMENCAPI=1
DO RESUMEN
CASE OPMENCAPI=2
DO RESUMEN
CASE OPMENCAPI=3
DO RESUMEN
CASE OPMENCAPI=4
DO RESUMEN
CASE OPMENCAPI=5
DO RESUMEN
CASE OPMENCAPI=0
RETURN
ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: SUBT41.PRG
* FUNCION.....: Sub-menú del Subtema 4.1
* LLAMADO POR.....: CAP4.PRG
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez
* NOTAS.....:
*****
CAP = OPCION1
MENCAPI=.T.
DO WHILE MENCAPI
PANTA = "4.1 BASE PARA EL DISEÑO DE UNA RED"
OPMENCAPI=0
DO CUADRO WITH 11, 31, 17, 46, PANTA
SET COLOR TO W+/G
@ 11, 34 PROMPT "1er. Subtema" MESSAGE "Bloqueo en una Red de Dos Etapas"
SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B
@ 13, 34 PROMPT "2do. Subtema" MESSAGE "Bloqueo en una Red de Tres Etapas"
@ 15, 34 PROMPT "3er. Subtema" MESSAGE "Ejemplo de Cálculo No. 1"
@ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"
SET COLOR TO BR+/N
@ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
@ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
SET COLOR TO G+/N
DO WHILE .T.
SET CURSOR OFF
IF NEXTKEY()=0
LOOP
ENDIF
SET CURSOR ON
@ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
MENU TO OPMENCAPI
EXIT
ENDDO
OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPMENCAPI,2,0))
DO CASE
CASE OPMENCAPI=1
DO RESUMEN

```

```

CASE OPHENCAP1=2
DO RESUMEN
CASE OPHENCAP1=3
DO RESUMEN
CASE OPHENCAP1=0
RETURN

```

```

ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: SUBT42.PRG *
* FUNCION.....: Sub-menú del Subtema 4.2 *
* LLAMADO POR.....: CAP4.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

CAP = OPCION1

```

```

HENCAP1=.T.

```

```

DO WHILE HENCAP1

```

```

    PANTA = "4.2 ESTRUCTURA DE REDES"

```

```

    OPHENCAP1=0

```

```

    DO CUADRO WITH 08, 31, 20, 46, PANTA

```

```

    SET COLOR TO W+/G

```

```

    @ 08, 34 PROMPT "1er. Subtema" MESSAGE "Redes de Varias Etapas"

```

```

    SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B

```

```

    @ 10, 34 PROMPT "2do. Subtema" MESSAGE "Regla de Eslabonamiento"

```

```

    @ 12, 34 PROMPT "3er. Subtema" MESSAGE "Parámetros Fundamentales de las
Redes"

```

```

    @ 14, 34 PROMPT "4to. Subtema" MESSAGE "Redes sin Bloqueo"

```

```

    @ 16, 34 PROMPT "5to. Subtema" MESSAGE "Ejemplo de Cálculo No. 2"

```

```

    @ 18, 34 PROMPT "6to. Subtema" MESSAGE "Ejemplo de Cálculo No. 3 (PC con
Bloqueo)"

```

```

    @ 23, 25 SAY "Usa y ó la primer letra"

```

```

    SET COLOR TO BR+/N

```

```

    @ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)

```

```

    @ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)

```

```

    SET COLOR TO G+/N

```

```

    DO WHILE .T.

```

```

        SET CURSOR OFF

```

```

        IF NEXTKEY()=0

```

```

            LOOP

```

```

        ENDIF

```

```

        SET CURSOR ON

```

```

        @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)

```

```

        MENU TO OPHENCAP1

```

```

        EXIT

```

```

    ENDDO

```

```

    OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPHENCAP1,2,0))

```

```

    DO CASE

```

```

        CASE OPHENCAP1=1

```

```

            DO RESUMEN

```

```

        CASE OPHENCAP1=2

```

```

D0 RESUMEN
CASE @PHENCAPI=3
D0 RESUMEN
CASE @PHENCAPI=4
D0 RESUMEN
CASE @PHENCAPI=5
D0 RESUMEN
CASE @PHENCAPI=6
D0 RESUMEN
CASE @PHENCAPI=0
RETURN

```

ENDCASE

ENDDO

```

*****
* NOBRE.....: SUBT48.PRG *
* FUNCION.....: Sub-menú del Sistema 4.8 *
* LLAMADO POR.....: CAP4.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefónicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrían Pérez Romero y Raul Lúcion Sánchez *
* NOTAS..... *
*****

```

CASE 5 OPCION

MEHCAPI=7.

D0 WHILE MENCANA

OPCION = "4.8 RESERVA DE TRES ETERNOS DE 2 DIMENSIONES"

OPHENCAPI=0

D0 CUMPLIDO WITH 10, 30, 10, 40, PHENCA

SET CURSOR TO 10/0

@ 10, 30 PROMPT "Inf. Sistema" MESSAGE "Redes E.T.E. (Espacial-Temporal-
Espacial)"

SET CURSOR TO 10/10 10/0, 10/10

@ 10, 30 PROMPT "Red. Sistema" MESSAGE "Complejidad de Construcción de las
Redes ETE"

@ 10, 30 PROMPT "Inf. Sistema" MESSAGE "Redes E.T.E. (Temporal-Espacial-
Temporal)"

@ 10, 30 PROMPT "4.8. Sistema" MESSAGE "Complejidad de Construcción de las
Redes ETE"

@ 20, 25 SAY "Use y 0 la primer lista"

SET CURSOR TO 10/10

@ 20, 25 SAY CHN(20)/CHN(10)

@ 20, 30 SAY CHN(20)/CHN(20)

SET CURSOR TO 10/10

D0 WHILE .T.

SET CURSOR OFF

IF MENCANA(10

1000)

ENDIF

SET CURSOR ON

@ 20, 1 SAY MENCANA(10, 10)

MENCANA TO OPHENCAPI

EXIT

ENDDO

```

OPCION1 = CAP+LTRIM(STR(OPMENCAP1,2,0))
DO CASE
  CASE OPMENCAP1=1
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=2
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=3
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=4
    DO RESUMEN
  CASE OPMENCAP1=0
    RETURN
ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: SUBT51.PRG
* FUNCION.....: Sub-menú del Subtema 5.1
* LLAMADO POR....: CAP5.PRG
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez
* NOTAS.....:
*****

```

```

CAP = OPCION1
MENCAP1=.T.

```

```

DO WHILE MENCAP1
  PANTA = "5.1 DISEÑO DE REDES DE CONMUTACION DIGITAL"
  OPMENCAP1=0
  DO CUADRO WITH 11, 31, 17, 46, PANTA
  SET COLOR TO W+/G
  @ 11, 34 PROMPT "1er. Subtema" MESSAGE "Redes de Dos Etapas"
  SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B
  @ 13, 34 PROMPT "2do. Subtema" MESSAGE "Redes de Tres Etapas"
  @ 15, 34 PROMPT "3er. Subtema" MESSAGE "Redes de Cinco Etapas"
  @ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"
  SET COLOR TO BR+/N
  @ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
  @ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
  SET COLOR TO G+/N
  DO WHILE .T.
    SET CURSOR OFF
    IF NEXTKEY()=0
      LOOP
    ENDIF
    SET CURSOR ON
    @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
    MENU TO OPMENCAP1
  EXIT
ENDDO
DO CASE
  CASE OPMENCAP1=1
    DO EJE3
  CASE OPMENCAP1=2

```

```

DO EJE4
CASE OPENCAP1=3
DO EJE5
CASE OPENCAP1=0
RETURN
ENDCASE
ENDDO

```

```

*****
* NOMBRE.....: SUBT52.PRG *
* FUNCION.....: Sub-menú del Subtema 5.2 *
* LLAMADO POR.....: CAP5.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

CAP = OPCION1
MENCAP1=.T.

```

```

DO WHILE MENCAP1
PANTA = "5.2 CALCULO DE REDES DE CONMUTACION DIGITAL"
OPENCAP1=0
DO CUADRO WITH 10, 31, 18, 46, PANTA
SET COLOR TO W+/G
@ 10, 34 PROMPT "1er. Subtema" MESSAGE "Redes de Dos Etapas (TE)"
SET COLOR TO G+/N,W+/G,,,B+/B
@ 12, 34 PROMPT "2do. Subtema" MESSAGE "Redes de Tres Etapas (ETE)"
@ 14, 34 PROMPT "3er. Subtema" MESSAGE "Redes de Tres Etapas (TET)"
@ 16, 34 PROMPT "4to. Subtema" MESSAGE "Redes de Cinco Etapas (TEET)"
@ 23, 25 SAY "Use y ó la primer letra"
SET COLOR TO BR+/N
@ 23, 29 SAY CHR(24)+CHR(25)
@ 23, 34 SAY CHR(17)+CHR(217)
SET COLOR TO G+/N
DO WHILE .T.
SET CURSOR OFF
IF NEXTKEY()=0
LOOP
ENDIF
SET CURSOR ON
@ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
MENU TO OPENCAP1
EXIT
ENDDO
DO CASE
CASE OPENCAP1=1
DO EJE6
CASE OPENCAP1=2
DO EJE7
CASE OPENCAP1=3
DO EJE8
CASE OPENCAP1=4
DO EJE9
CASE OPENCAP1=0

```

RETURN
ENDCASE
ENDDO

```
*****  
* NOMBRE.....: EJE3.PRG *  
* FUNCION.....: Diseño de Redes de Dos Etapas *  
* LLAMADO POR....: SUBT51.PRG *  
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *  
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *  
* NOTAS.....: *  
*****
```

```
PUBL BIN  
STORE SPACE(4000) TO PANTCOMPL  
SAVE SCREEN  
TITULO = "C O N F I G U R A C I O N"  
ARR = 6  
IZQ = 1  
ABA = 21  
DER = 77  
DO CUADRO1 WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA  
B = 0  
P = 0  
DO WHILE .T.  
N = 0  
BT = 0  
B1 = 0  
SET COLOR TO G+/N  
@ 6, 04 SAY "No. DE ENTRADAS :"  
@ 6, 40 SAY "BLOQUEO :"  
@ 6, 22 GET N PICT "###,###" VALID N > 0  
@ 6, 50 GET B PICT "#.###"  
READ  
IF LASTKEY()=27  
RETURN  
ENDIF  
SAVE SCREEN TO PANTCOMPL  
P = B  
N1 = SQRT(N/2)  
NUM1 = N1  
DO BINARIO  
N1 = BIN  
M = N / N1  
K = M  
NX = N1 * K * M  
SET COLOR TO BR+/N+  
@ 08, (40-LEN(TITULO)/2) SAY TITULO  
SET COLOR TO B+/N  
@ 10, 04 SAY "CARGA DE ENTRADA ="  
@ 10, 40 SAY "ENTRADAS POR MATRIZ ="  
@ 11, 04 SAY "SALIDAS POR MATRIZ ="  
@ 11, 40 SAY "PUNTOS DE CONEXION ="  
SET COLOR TO G+/N
```

```
@ 10, 27 SAY P PICT "#.###"
@ 10, 70 SAY N1 PICT "###"
@ 11, 25 SAY K PICT "###"
@ 11, 62 SAY NX PICT "###,###,###"
```

```
SET COLOR TO B+/N
@ 13, 03 SAY "* 1a. ETAPA:"
CONF1 = LTRIM(STR(M,3,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(N1,3,0))+ " X
"+LTRIM(STR(K,3,0))
SET COLOR TO G+/N
@ 14, 05 SAY CONF1
SET COLOR TO B+/N
@ 15, 03 SAY "* 2a. ETAPA:"
CONF1 = LTRIM(STR(M,3,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(K,3,0))+ " X
"+LTRIM(STR(N1,3,0))
SET COLOR TO G+/N
@ 16, 05 SAY CONF1
```

```
MAS_EVA = ' '
DO OTVALORS
IF MAS_EVA = 'S'
  RESTORE SCREEN FROM PANTCOMPL
  LOOP
ELSE
  EXIT
ENDIF
ENDDO
RESTORE SCREEN
RETURN
```

```
*****
* NOMBRE.....: EJE4.PRG *
* FUNCION.....: Diseño de Redes de Tres Etapas *
* LLAMADO POR.....: SUBT51.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****
```

```
PUBL BIN
STORE SPACE(4000) TO PANTCOMPL
SAVE SCREEN
TITULO = "C O N F I G U R A C I O N"
ARR = 6
IZQ = 1
ABA = 21
DER = 77
DO CUADROL WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
B = 0
P = 0
DO WHILE .T.
  N = 0
  BT = 0
  B1 = 0
```

```

SET COLOR TO G+/N
@ 06, 04 SAY "No. DE ENTRADAS : "
@ 06, 40 SAY "BLOQUEO : "
@ 07, 04 SAY "CARGA DE ENTRADA:"
@ 06, 22 GET N PICT "###,###" VALID N > 0
@ 06, 50 GET B PICT "#.###"
@ 07, 28 GET P PICT "#.#"
READ
IF LASTKEY()=27
    RETURN
ENDIF
SAVE SCREEN TO PANTCOMPL
N1 = SQRT(N/2)
NUM1 = N1
DO BINARIO
N1 = BIN
K = 2 * N1 - 1
IF B <> 0
    K = K + 1
    DO WHILE B > B1
        K = K - 1
        BT = K / N1
        B1 = (1 - (1 - P / BT)^2)^K
    ENDDO
ELSE
    BT = K / N1
ENDIF
NX = (2 * N * K) + (K *(N / N1)^2)
SET COLOR TO BR+/N+
@ 09, (40-LEN(TITULO)/2) SAY TITULO
SET COLOR TO B+/N
@ 11, 04 SAY "ENTRADAS POR MATRIZ ="
@ 11, 40 SAY "FACTOR DE RELACION ="
@ 12, 04 SAY "SALIDAS POR MATRIZ ="
@ 12, 40 SAY "PUNTOS DE CONEXION ="
SET COLOR TO G+/N
@ 11, 26 SAY N1 PICT "###"
@ 11, 72 SAY BT PICT "#.###"
@ 12, 26 SAY K PICT "###"
@ 12, 62 SAY NX PICT "###,###,###"

M = N / N1
SET COLOR TO B+/N
@ 14, 03 SAY "** 1a. ETAPA:"
CONF1 = LTRIM(STR(M,3,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(N1,3,0))+ " X
"+LTRIM(STR(K,3,0))
SET COLOR TO G+/N
@ 15, 05 SAY CONF1
SET COLOR TO B+/N
@ 16, 03 SAY "** 2a. ETAPA:"
CONF1 = LTRIM(STR(K,3,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(M,3,0))+ " X
"+LTRIM(STR(M,3,0))
SET COLOR TO G+/N
@ 17, 05 SAY CONF1

```

```

SET COLOR TO B+/N
@ 18, 03 SAY "** 3a. ETAPA:"
CONF1 = LTRIM(STR(M,3,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(K,3,0))+ " X
"+LTRIM(STR(N1,3,0))
SET COLOR TO G+/N
@ 19, 05 SAY CONF1

```

```

MAS_EVA = ' '
DO OTVALORS
IF MAS_EVA = 'S'
    RESTORE SCREEN FROM PANTCOMPL
    LOOP
ELSE
    EXIT
ENDIF
ENDDO
RETURN

```

```

*****
* NOMBRE.....: EJE5.PRG *
* FUNCION.....: Diseño de Redes de Cinco Etapas *
* LLAMADO POR.....: SUBT51.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

PUBL BIN
STORE SPACE(4000) TO PANTCOMPL
SAVE SCREEN
TITULO = "C O N F I G U R A C I O N"
ARR = 6
IZQ = 1
ABA = 21
DER = 77
DO CUADROL WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
B = 0
P = 0
DO WHILE .T.
    N = 0
    BT = 0
    BI = 0
    SET COLOR TO G+/N
    @ 06, 04 SAY "No. DE ENTRADAS !"
    @ 06, 40 SAY "BLOQUEO !"
    @ 07, 04 SAY "CARGA DE ENTRADA:"
    @ 06, 22 GET N PICT "###,###" VALID N > 0
    @ 06, 50 GET B PICT "#.###"
    @ 07, 28 GET P PICT "#.#"
    READ
    IF LASTKEY()=27
        RETURN
    ENDIF
    SAVE SCREEN TO PANTCOMPL

```

```

N1 = SQRT(N / 2)
M11 = N / N1
K1 = (2 * N1) - 1
N2 = SQRT(M11 / 2)
NUM1 = N2
DO BINARIO
N2 = BIN
K2 = (2 * N2) - 1
BT = K2 / N2
M2 = M11 / N2
M12 = K1 * M2
N11 = M12 * N2
IF B <> 0
  K1 = K1 - 1
  K2 = K2 - 1
  DO WHILE B > B1
    K1 = K1 + 1
    K2 = K2 + 1
    P1 = P / (N1 / K1)
    P2 = P1 * (N2 / K2)
    Q1 = 1 - P1
    Q2 = 1 - P2
    B1 = (1 - Q1^2 * (1 - (1 - Q2^2)^K2))^K1
  ENDDO
  BT = K2 / N2
ELSE
  BT = K2 / N2
ENDIF
K12 = K2
M3 = K12
M13 = M3 * K1
PC1 = N1 * K1 * M11
PC2 = N2 * K2 * M2 * K1
PC3 = M2 * M2 * K2 * K1
PC4 = PC2
PC5 = PC1
PC = PC1 + PC2 + PC3 + PC4 + PC5
SET COLOR TO BR+/N+
@ 09, (40-LEN(TITULO)/2) SAY TITULO
ETAPA = " 1a. ETAPA:"
SET COLOR TO B+/N
@ 11, 03 SAY ETAPA
CONF1 = LTRIM(STR(M11,5,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(N1,5,0))+ " X
"+LTRIM(STR(K1,5,0))
SET COLOR TO G+/N
@ 11, 16 SAY CONF1
ETAPA = " 2a. ETAPA:"
SET COLOR TO B+/N
@ 12, 03 SAY ETAPA
CONF1 = LTRIM(STR(M12,5,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(N2,5,0))+ " X
"+LTRIM(STR(K2,5,0))
CONF2 = "EN "+LTRIM(STR(K1,5,0))+ " BLOQUES INTERMEDIOS DE
"+LTRIM(STR(M2,5,0))+ " MATRICES CADA UNO"
SET COLOR TO G+/N

```

```

@ 12, 16 SAY CONF1
@ 13, 05 SAY CONF2
ETAPA = " 3a. ETAPA:"
SET COLOR TO B+/N
@ 14, 03 SAY ETAPA
CONF1 = LTRIM(STR(M13,5,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(M2,5,0))+ " X
"+LTRIM(STR(M2,5,0))
CONF2 = "EN "+LTRIM(STR(K1,5,0))+ " BLOQUES INTERMEDIOS DE
"+LTRIM(STR(M3,5,0))+ " MATRICES CADA UNO"
SET COLOR TO G+/N
@ 14, 16 SAY CONF1
@ 15, 05 SAY CONF2
ETAPA = " 4a. ETAPA:"
SET COLOR TO B+/N
@ 16, 03 SAY ETAPA
CONF1 = LTRIM(STR(M12,5,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(K2,5,0))+ " X
"+LTRIM(STR(N2,5,0))
CONF2 = "EN "+LTRIM(STR(K1,5,0))+ " BLOQUES INTERMEDIOS DE
"+LTRIM(STR(M2,5,0))+ " MATRICES CADA UNO"
SET COLOR TO G+/N
@ 16, 16 SAY CONF1
@ 17, 05 SAY CONF2
ETAPA = " 5a. ETAPA:"
SET COLOR TO B+/N
@ 18, 03 SAY ETAPA
CONF1 = LTRIM(STR(M11,5,0))+ " MATRICES DE "+LTRIM(STR(K1,5,0))+ " X
"+LTRIM(STR(N1,5,0))
SET COLOR TO G+/N
@ 18, 16 SAY CONF1
SET COLOR TO B+/N
@ 19, 03 SAY " * PUNTOS DE CONEXION:"
SET COLOR TO G+/N
@ 19, 25 SAY PC PICT "###,###,###"

```

```

MAS_EVA = ' '
DO OTVALORS
IF MAS_EVA = 'S'
  RESTORE SCREEN FROM PANTCOMPL
  LOOP
ELSE
  EXIT
ENDIF
ENDDO
RETURN

```

```

*****
* NOMBRE.....: EJE6.PRG *
* FUNCION.....: Calculo de Redes de Dos Etapas *
* LLAMADO POR.....: SUBT52.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

PUBL LOGA
STORE SPACE(4000) TO PANTCOMPL
SAVE SCREEN
TITULO = "C O N F I G U R A C I O N"
ARR = 6
IZQ = 1
ABA = 21
DER = 77
DO CUADRO1 WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
C = 0
P = 0
DO WHILE .T.
  N = 0
  BT = 0
  BI = 0
  SET COLOR TO G+/N
  @ 06, 04 SAY "VIAS DE ENTRADA :"
  @ 06, 40 SAY "CANALES POR VIA :"
  @ 06, 22 GET N PICT "###,###" VALID N > 0
  @ 06, 58 GET C PICT "#,###"
  READ
  IF LASTKEY()=27
    RETURN
  ENDIF
  SAVE SCREEN TO PANTCOMPL
  NX = N^2
  NUM1 = (N - 2)
  DO LOGARITH
  BC = LOGA
  NBX = N * C * BC
  BI = 8
  NBI = N * C * BI
  NUM1 = (C - 2)
  DO LOGARITH
  BC = LOGA
  NBC = N * C * BC
  NBT = NBI + NBC
  COMPLEJ = NX + ((NBX + NBT) / 100)
  SET COLOR TO BR+/N+
  @ 08, (40-LEN(TITULO)/2) SAY TITULO
  SET COLOR TO B+/N
  @ 10, 04 SAY "COMPLEJIDAD ="
  @ 10, 40 SAY "BITS ETAPA TEMPORAL ="
  @ 12, 04 SAY "BITS ETAPA ESPACIAL ="
  @ 12, 40 SAY "PUNTOS DE CONEXION ="
  SET COLOR TO G+/N
  @ 10, 26 SAY COMPLEJ PICT "###,###,###"
  @ 10, 52 SAY NBT PICT "###,###,###"
  @ 12, 26 SAY NBX PICT "###,###,###"
  @ 12, 62 SAY NX PICT "###,###,###"

  MAS_EVA = ' '
  DO OTVALORS
  IF MAS_EVA = 'S'

```

```

RESTORE SCREEN FROM PANTCOMPL
LOOP
ELSE
EXIT
ENDIF
ENDDO
RETURN

```

```

*****
* NOMBRE.....: EJE7.PRG
* FUNCION.....: Calculo de Redes de Tres Etapas (ETE)
* LLAMADO POR.....: SUBT52.PRG
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez
* NOTAS.....:
*****

```

```

PUBL LOGA
STORE SPACE(4000) TO PANTCOMPL
SAVE SCREEN
TITULO = "C O N F I G U R A C I O N"
ARR = 6
IZQ = 1
ABA = 21
DER = 77
DO CUADRO1 WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
C = 0
P = 0
DO WHILE .T.
  N = 0
  B = 0
  P = 0
  BT = 0
  B1 = 0
  SET COLOR TO G+/N
  @ 06, 04 SAY "VIAS DE ENTRADA : "
  @ 06, 40 SAY "CANALES POR VIA : "
  @ 07, 04 SAY "BLOQUEO : "
  @ 07, 40 SAY "CARGA DE ENTRADA:"
  @ 06, 22 GET N PICT "###,###" VALID N > 0
  @ 06, 58 GET C PICT "#,###"
  @ 07, 28 GET B PICT "#.###"
  @ 07, 62 GET P PICT "#.##"
  READ
  IF LASTKEY()=27
    RETURN
  ENDIF
  SAVE SCREEN TO PANTCOMPL
  K = 2 * N - 1
  IF B <> 0
    K = K + .1
  DO WHILE B > B1
    K = K - .1
    BT = K / N

```

```

      B1 = (1 - (1 - P / BT)^2)^K
ENDDO
MA = INT(K) + 1
ME = INT(K)
D1 = MA - K
D2 = K - ME
IF D1 <= D2
  K = MA
ELSE
  K = ME
ENDIF
BT = K / N
ELSE
  BT = K / N
ENDIF
NUM1 = N
DO LOGARITHM
LN = LOGA
NUM1 = C
DO LOGARITHM
LC = LOGA
COMPLEJ = 2 * K * N + ((2 * K * C) * (LN) + (8 * K * C) + (K * C) * (LC)) /
100)

```

```

SET COLOR TO BR+/N+
@ 09, (40-LEN(TITULO)/2) SAY TITULO
SET COLOR TO B+/N
@ 11, 04 SAY "COMPLEJIDAD ="
@ 13, 04 SAY "COMPLEJIDAD ="
SET COLOR TO G+/N
@ 11, 18 SAY COMPLEJ PICT "###,###,###"
@ 13, 18 SAY "PUNTOS DE CONEXION EQUIVALENTES"

```

```

MAS_EVA = ' '
DO OTVALORS
IF MAS_EVA = 'S'
  RESTORE SCREEN FROM PANTCOMPL
  LOOP
ELSE
  EXIT
ENDIF
ENDDO
RETURN

```

```

*****
* NOMBRE.....: EJES.PRG *
* FUNCION.....: Calculo de Redes de Tres Etapas (TET) *
* LLAMADO POR.....: SUBT52.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****
PUBL LOGA

```

```

STORE SPACE(4000) TO PANTCOMPL
SAVE SCREEN
TITULO = "C O N F I G U R A C I O N"
ARR = 6
IZQ = 1
ABA = 21
DER = 77
DO CUADRO1 WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
C = 0
P = 0
DO WHILE .T.
  N = 0
  B = 0
  P = 0
  AF = 0
  B1 = 0
  SET COLOR TO G+/N
  @ 06, 04 SAY "VIAS DE ENTRADA : "
  @ 06, 40 SAY "CANALES POR VIA : "
  @ 07, 04 SAY "BLOQUEO : "
  @ 07, 40 SAY "CARGA DE ENTRADA: "
  @ 06, 22 GET N PICT "###,###" VALID N > 0
  @ 06, 58 GET C PICT "#,###"
  @ 07, 28 GET B PICT "#.###"
  @ 07, 62 GET P PICT "#.###"
  READ
  IF LASTKEY()=27
    RETURN
  ENDF
  SAVE SCREEN TO PANTCOMPL

  L = 2 * C - 1
  IF B <> 0
    L = L + .1
    DO WHILE B > B1
      L = L - .1
      AF = L / C
      B1 = (1 - (1 - P / AF)^2)^L
    ENDDO
    MA = INT(L) + 1
    ME = INT(L)
    D1 = MA - L
    D2 = L - ME
    IF D1 <= D2
      L = MA
    ELSE
      L = ME
    ENDF
    AF = L / C
  ELSE
    AF = L / C
  ENDF
  NUM1 = N
  DO LOGARITHM

```

```

LN = LOGA
NUM1 = C
DO LOGARITH
LC = LOGA
COMPLEJ = {N^(2)} + {(N * L * LN) + (2 * N * C * B) + (2 * N * L * LC)} /
100)

```

```

SET COLOR TO BR+/N+
@ 09, (40-LEN(TITULO)/2) SAY TITULO
SET COLOR TO B+/N
@ 11, 04 SAY "COMPLEJIDAD ="
@ 13, 04 SAY "COMPLEJIDAD ="
SET COLOR TO G+/N
@ 11, 18 SAY COMPLEJ PICT "###,###,###"
@ 13, 18 SAY "PUNTOS DE CONEXION EQUIVALENTES"

```

```

HAS_EVA = ' '
DO OTVALORS
IF HAS_EVA = 'S'
  RESTORE SCREEN FROM PANTCOMPL
  LOOP
ELSE
  EXIT
ENDIF
ENDDO
RETURN

```

```

*****
* NOMBRE.....: EJE9.PRG *
* FUNCION.....: Calculo de Redes de Cinco Etapas (TEEET) *
* LLAMADO POR.....: SUBT52.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

PUBL LOGA, BIN
STORE SPACE(4000) TO PANTCOMPL
SAVE SCREEN
TITULO = "C O N F I G U R A C I O N"
ARR = 6
IZQ = 1
ABA = 21
DER = 77
DO CUADRO1 WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
C = 0
P = 0
DO WHILE .T.
  N = 0
  B = 0
  P = 0
  AP = 0
  BI = 0
  BT = 0

```

```

SET COLOR TO G+/N
@ 06, 04 SAY "VIAS DE ENTRADA : "
@ 06, 40 SAY "CANALES POR VIA : "
@ 07, 04 SAY "BLOQUEO : "
@ 07, 40 SAY "CARGA DE ENTRADA : "
@ 08, 04 SAY "EXPANSION TEMPORAL : "
@ 06, 22 GET N PICT "###,###" VALID N > 0
@ 06, 58 GET C PICT "#,####"
@ 07, 28 GET B PICT "#.####"
@ 07, 62 GET P PICT "#.###"
@ 08, 27 GET AF PICT "###"

```

```

READ

```

```

IF LASTKEY()=27

```

```

    RETURN

```

```

ENDIF

```

```

SAVE SCREEN TO PANTCOMPL

```

```

N1 = SQRT(N / 2)

```

```

M11 = N / N1

```

```

L = (AF * C)

```

```

N2 = SQRT(M11 / 2)

```

```

NUM1 = N1

```

```

DO BINARIO1

```

```

N1 = BIN

```

```

K = (2 * N1) - 1

```

```

BT = K / N2

```

```

M2 = M11 / N2

```

```

M12 = L * M2

```

```

N11 = M12 * N2

```

```

IF B <> 0

```

```

    K = K + .1

```

```

    DO WHILE B > B1

```

```

        BT = K / N1

```

```

        K = K - .1

```

```

        P1 = P / AF

```

```

        P2 = P / (AF * BT)

```

```

        Q1 = 1 - P1

```

```

        Q2 = 1 - P2

```

```

        B1 = (1 - Q1^2 * (1 - (1 - Q2^2)^K))^L

```

```

    ENDDO

```

```

ELSE

```

```

    BT = K / N1

```

```

ENDIF

```

```

K = INT(K)

```

```

NUM1 = N1

```

```

DO LOGARITH

```

```

LN1 = LOGA

```

```

NUM1 = N / N1

```

```

DO LOGARITH

```

```

LNN1 = LOGA

```

```

NUM1 = C

```

```

DO LOGARITH

```

```

LC = LOGA

```

```

NX = 2 * N * K + K * (N / N1)^2
NBX = 2 * K * (N / N1) * L * LN1 + K * (N / N1) * L * LNN1
NBT = 2 * N * C * S
NBTC = 2 * N * L * LC
COMPLEJ = NX + ((NBX + NBT + NBTC) / 100)

```

```

SET COLOR TO BR+/N+
@ 10, (40-LEN(TITULO)/2) SAY TITULO
SET COLOR TO B+/N
@ 12, 04 SAY "COMPLEJIDAD ="
@ 14, 04 SAY "COMPLEJIDAD ="
SET COLOR TO G+/N
@ 12, 18 SAY COMPLEJ PICT "###,###,###"
@ 14, 18 SAY "PUNTOS DE COEXION EQUIVALENTES"

```

```

MAS_EVA = ' '
DO OTVALORS
IF MAS_EVA = 'S'
    RESTORE SCREEN FROM PANTCOMPL
    LOOP
ELSE
    EXIT
ENDIF
ENDDO
RETURN

```

```

*****
* NOHRE.....: SERPRO.PRG *
* FUNCION.....: Archivo que contiene procedimientos llamados por otros pro-*
*               gramas *
* LLAMADO POR.....: Varios programas *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

PROCEDURE OTVALORS
SET COLOR TO G+/N
@ 23, 1 SAY REPLICATE(' ', 78)
@ 23, 18 SAY "¿DESEA EVALUAR CON OTROS VALORES? [ / ]:"
SET COLOR TO BR+/N
@ 23, 53 SAY "S"
@ 23, 55 SAY "N"
@ 23, 59 SAY "< >"
DO WHILE .NOT. MAS_EVA$"SN"
    ?? CHR(7)
    MAS_EVA = "S"
    @ 23, 60 GET MAS_EVA PICT "!"
    READ
ENDDO
@ 23, 1 SAY REPLICATE(' ', 78)

```

PROCEDURE CUADRO

```

PARAMETERS IZ, AR, AB, DE, TI

SET COLOR TO /w
@ 5, 1 CLEAR TO 21, 78
SET COLOR TO GR+/N
@ 3, 36 SAY REPLICATE(" ", 43)
@ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
@ 3, ((43-LEN(TI))/2)+36 SAY TI
SET COLOR TO W/N
@ IZ, AR, AB, DE box "███ ████████ "
SET COLOR TO BR+/N
@ IZ-1, AR+1 TO AB-1, DE+1
    
```

PROCEDURE CUADRO1

```

PARAMETERS IZ, AR, AB, DE, TI

SET COLOR TO /w
@ 5, 1 CLEAR TO 21, 78
SET COLOR TO GR+/N
@ 3, 36 SAY REPLICATE(" ", 43)
@ 3, ((43-LEN(TI))/2)+36 SAY TI
SET COLOR TO W/N
@ IZ, AR, AB, DE box "███ ████████ "
SET COLOR TO BR+/N
@ IZ-1, AR+1 TO AB-1, DE+1
    
```

```

*****
* NOMBRE.....: BINARIO.PRG *
* FUNCION.....: Numero binario mas proximo al numero dado *
* Llamado por.....: EJE3.PRG, EJE4.PRG y EJE5.PRG *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****
    
```

```

NUM = NUM1
C = 0
DO WHILE .T.
    C = C + 1
    R = INT(NUM / 2)
    S = NUM - (R * 2)
    IF R >= 2
        NUM = R
    LOOP
ENDIF
EXIT
ENDDO
BIN1 = 2^C
    
```

```

BIN2 = 2^(C+1)
D1 = ABS(BIN1 - NUM1)
D2 = ABS(BIN2 - NUM1)
IF D1 <= D2
    BIN = BIN1
ELSE
    BIN = BIN2
ENDIF

```

```

*****
* NOMBRE.....: BINARIO1.PRG *
* FUNCION.....: Numero binario mas proximo al numero dado *
* LLAMADO POR.....: EJE9 *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

NUM = NUM1
CX = 0
DO WHILE .T.
    CX = CX + 1
    R = INT(NUM / 2)
    S = NUM - (R * 2)
    IF R >= 2
        NUM = R
    LOOP
ENDIF
EXIT
ENDDO
BIN2 = 2^(CX+1)
BIN = BIN2

```

```

*****
* NOMBRE.....: LOGARITH.PRG *
* FUNCION.....: Logaritmo natural de un numero determinado *
* LLAMADO POR.....: EJE6, EJE7, EJE8, EJE9 *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****

```

```

NUM = NUM1
C1 = 0
DO WHILE .T.
    C1 = C1 + 1
    LO = (2)^C1
    IF LO < NUM
        LOOP
ENDIF
EXIT
ENDDO

```

```

IF LO = NUM
  LOGA = C1
ELSE
  C1 = C1 - 1
  DO WHILE .T.
    C1 = C1 + .001
    LO = (2)^C1
    IF LO < NUM
      LOOP
    ENDIF
  EXIT
ENDDO
LOGA = INT(C1) + 1
ENDIF

```

```

*****
* NOMBRE.....: RESUMEN.PRG *
* FUNCION.....: CREAR UN ARCHIVO DE TEXTO CON EL RESUMEN DE CADA CAPITULO *
*              DE LA TESIS *
* LLAMADO POR.....: Programas CAPx y SUBTxx *
* SISTEMA.....: Dimensionamiento de Centrales Telefonicas Digitales *
* AUTOR.....: Adrián Pérez Romero y Raul Limón Sanchez *
* NOTAS.....: *
*****
SAVE SCREEN
SELECT 9
USE RESUMEN INDEX RESUMEN
BUSCA = OPCION1
SEEK BUSCA
IF FOUND()
  ARR = ARRIBA + 1
  IZQ = IZQUIER - 1
  ABA = ABAJO + 1
  DER = DERECHA - 1
  DO CUADRO1 WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
  SET COLOR TO G+/N
  IF "" = MEMOEDIT(TEXTO, ARRIBA+1, IZQUIER+1, ABAJO-1, DERECHA-1,.F.)
  ENDIF
  T = "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR..."
  @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
  @ 23, ((80-LEN(T))/2) SAY T
ELSE
  APPEND BLANK
  REPLACE OPCION WITH OPCION1
  STORE SPACE(4000) TO AYUDA, PANTCOMPL
  STORE 0 TO ARRIBAT, IZQUIERT, ABAJOT, DERECHAT
  SAVE SCREEN TO PANTCOMPL
  RESTORE SCREEN FROM PANTCOMPL
  SAVE SCREEN TO AYUDA
  TROW = 5
  TCOL = 3
  STORE TROW TO ARRIBAT

```

```

STORE TCOL TO IZQUIERT
TROW = 20
TCOL = 77
STORE TROW TO ABAJOT
STORE TCOL TO DERECHAT
RESTORE SCREEN FROM AYUDA
T = "INTRODUZCA LA INFORMACION Y PRESIONE F10 CUANDO TERMINE"
@ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
@ 23, ((80-LEN(T))/2) SAY T
REPLACE ARRIBA WITH ARRIBAT, ABAJO WITH ABAJOT
REPLACE IZQUIER WITH IZQUIERT, DERECHA WITH DERECHAT
DO WHILE .T.
  ARR = ARRIBA + 1
  IZQ = IZQUIER - 1
  ABA = ABAJO + 1
  DER = DERECHA - 1
  DO CUADRO1 WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
  REPLACE TEXTO WITH MEMOEDIT(TEXTO, ARRIBA+1, IZQUIER+1,;
  ABAJO-1, DERECHA-1,.T.)
  DO CUADRO1 WITH ARR, IZQ, ABA, DER, PANTA
  SET COLOR TO G+/N
  IF "" = MEMOEDIT(TEXTO, ARRIBA+1, IZQUIER+1, ABAJO-1, DERECHA-1,.F.)
  ENDIF
  T = "ESTA USTED SEGURO? "
  @ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
  @ 23, ((80-LEN(T))/2) SAY T
  IF .NOT. VERIFY()
  LOOP
  ENDIF
  EXIT
ENDDO
T = "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR..."
@ 23, 1 SAY REPLICATE(" ", 78)
@ 23, ((80-LEN(T))/2) SAY T
ENDIF
INKEY(0)
RESTORE SCREEN

FUNCTION VERIFY
  SET CONSOLE OFF
  WAIT TO RESPONDE
  SET CONSOLE ON
  IF UPPER(RESPONDE)="S"
    ?? " SI"
    TE = INKEY(.25)
    RETURN(.T.)
  ENDIF
  ?? " NO"
  TE = INKEY(.25)
  RETURN(.F.)

```

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Se ha cumplido con el objetivo que impulsó a la realización de la presente tesis, los aspectos que más han interesado dentro de este trabajo ha sido el diseño de las redes digitales de conmutación telefónica que constituyen la base para la construcción de centrales con equipo de tecnología digital.

El diseño de estas redes se conforman de una etapa de conmutación temporal y una etapa de conmutación espacial, y con estas etapas se pueden hacer una serie de configuraciones distintas entre si, pero cuando menos con una etapa de las mencionadas.

Estas configuraciones dependen de el tipo de central de que se trate, ya sea central local, central tandem, etc., y también de la cantidad de tráfico que cursará a través de la central, en base a esto se eligirá, que tipo de configuración será la más conveniente.

De las redes de conmutación estudiadas se pueden mencionar las siguientes característica:

- Las construidas en base a una sola matriz son ineficientes y costosas además de no ser muy confiables debido a que se

requiere un eslabón específico para cada conexión particular y si este falla no es posible establecer el enlace entre dos usuarios.

- Las construidas en base a varias matrices son mas empleadas ya que no presentan el problema de las redes de una sola matriz además de que permiten una reducción en el número de puntos de conexión y en consecuencia su costo.
- Las redes de conmutación temporal se construyen en base a memorias.
- Las redes de conmutación espacial utilizan puntos de conexión digitales, como son las compuertas lógicas.

Dentro de las ventajas de las redes digitales se puede mencionar:

- menores costos de mantenimiento,
- menores costos de espacio,
- menores costos de ampliación,
- menores costos de actualización con el tiempo.

De todas las redes manejadas se dieron sus ecuaciones de cálculo, necesarias para dimensionarlas. En base a esto se elaboró un programa para realizar el cálculo de configuraciones de una manera rápida y precisa.

Concluyendo se observa que esta tendencia que se esta dando en el mundo y en nuestro país, "la digitalización" de las centrales telefónicas nuevas y la substitución de centrales analógicas a digitales, es un paso fundamental para el desarrollo y progreso de México.

Finalmente se dedica este esfuerzo a nuestra querida escuela.

ANEXO

CALCULO DEL COSTO DE LA RED DE CONMUTACION

Como ya se mencionó en los ejemplos anteriores la complejidad de construcción proporciona los puntos de conexión de toda la red.

Ahora, de acuerdo al número total de puntos de conexión obtenidos se calcula la cantidad de equipo necesario para la implementación de la red de conmutación, su instalación y prueba y consecuentemente el costo que esto representa.

Para esto se utilizan las características del equipo AXE (central digital fabricada por Ericsson) que emplea la configuración T-E-T para su etapa de conmutación.

T S M (Time Switch Module) Cada modulo selector de tiempo en AXE puede manejar hasta 16 vías PCM de 32 canales cada una haciendo un total de 512 entradas, y un máximo de 32 TSM's pueden ser conectados a un SPM.

S P M (Space Switch Module) A cada modulo selector de espacio se pueden conectar hasta 32 TSM's dando una capacidad de $32 \times 512 = 16384$ entradas, a este arreglo se le conoce como selector de 16k.

Un comentario importante es que todos los TSM's y SPM's están duplicados por confiabilidad. Hay dos planos A y B. Una conexión es establecida en ambos planos pero los datos de habla están tomados del plano A, en tanto está libre de falla. Cuando hay una falla en 1 TSM en el plano A, los datos de habla son tomados del correspondiente TSM en el plano B.

Para obtener el número de módulos que se necesitan de acuerdo a la cantidad de puntos de conexión que se tenga se emplea la tabla IV.

Equipo	Número de módulos (duplicados)	Número de PC's.
TSM	2 - 64	0.5 - 16k
TSM	65 - 128	16.5 - 32k
TSM	129 - 192	32.5 - 48k
TSM	193 - 256	48.5 - 64k

TABLA IV Número de módulos necesarios para diferentes capacidades de la red de conmutación

El número de módulos que se necesitan, es igual al número de k PC's multiplicado por cuatro.

Como se ha mencionado para un arreglo de 16k se necesitan 32 TSM's. Para un selector de mayor capacidad, se pueden interconectar varios SPM's como se muestra en la figura A.

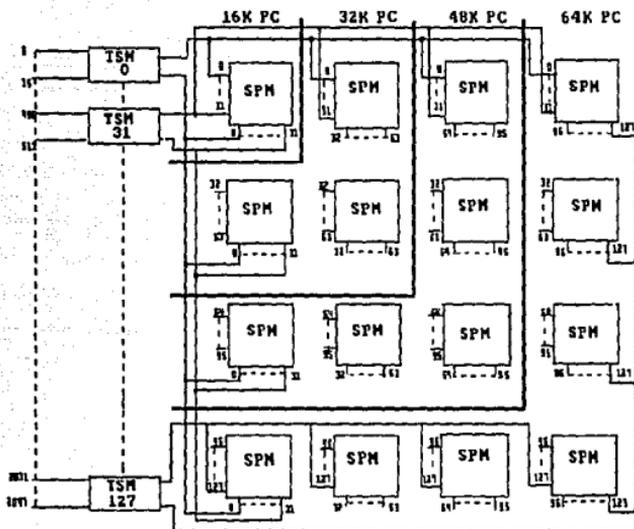


FIGURA A

Al igual que los TSM's los SPM's, se colocan por duplicado, la tabla V muestra el número de módulos que se necesitan, de acuerdo a la cantidad de TSM's requeridos y que están en función con los puntos de conexión obtenidos.

Una vez teniendo la cantidad de módulos necesarios para el diseño de la red y basandose en la tabla VI proporcionada por personal de ventas de Ericsson en la cual aparece

Únicamente el equipo que se requiere, se puede calcular el costo de la red.

Artículo	Equipo	Módulos(duplicado)	Número de PC'
BFD 328 522/4	SPM	2	0.5 - 4k
BFD 328 522/5	SPM	2	4.5 - 8k
BFD 328 522/4	SPM	2	8.5 - 12k
BFD 328 522/5	SPM	2	
BFD 328 522/5	SPM	4	12.5 - 16k
BFD 328 522/4	SPM	2	16.5 - 20k
BFD 328 522/5	SPM	12	
BFD 328 522/5	SPM	14	20.5 - 24k
BFD 328 522/4	SPM	2	24.5 - 28k
BFD 328 522/5	SPM	14	
BFD 328 522/5	SPM	16	28.5 - 32k
BFD 328 522/4	SPM	2	32.5 - 36k
BFD 328 522/5	SPM	32	
BFD 328 522/5	SPM	34	36.5 - 40k
BFD 328 522/4	SPM	2	40.5 - 44k
BFD 328 522/5	SPM	34	
BFD 328 522/5	SPM	36	44.5 - 48k
BFD 328 522/4	SPM	2	48.5 - 52k
BFD 328 522/5	SPM	60	
BFD 328 522/5	SPM	62	52.5 - 56k
BFD 328 522/4	SPM	2	56.5 - 60k
BFD 328 522/5	SPM	62	
BFD 328 522/5	SPM	64	60.5 - 64k

TABLA V Número de módulos (duplicados) que se necesitan para dimensionar una red de 0.5 hasta 64K

CODIGO	DESCRIPCION DEL ARTICULO	PRECIO UNITARIO
CC0110	Almacén EM-SPM 4k (duplicado)	N\$ 45,632.71
CC0120	Modulo ampliación SPM 4k(dup)	N\$ 24,356.11
CC0130	Almacén EM-SPM 8k (duplicado)	N\$ 69,988.81
CC0140	Almacén EM-TSM 512 (0-16k) (dup)	N\$ 26,427.78
CC0150	Modulo actualización TSM 16-32k(dup)	N\$ 3,359.46
CC0160	Almacén EM-TSM 512 (16-32k) (dup)	N\$ 29,787.24
CC0170	Modulo actualización TSM 32-48k(dup)	N\$ 3,359.46

CC0180	Almacén EM-TSM 512 (32-48k) (dup)	N\$ 33,146.70
CC0190	Modulo actualización TSM 48-64k(dup)	N\$ 3,359.46
CC0200	Almacén EM-TSM 512 (48-64k) (dup)	N\$ 36,506.17

*TABLA VI Lista de precios para módulos TSM Y SPM Necesarios
para la red TET*

EJEMPLO DE CALCULO No. 10

Calcular el costo del diseño de la red de conmutación basandose en el resultado de la complejidad de construcción del ejemplo de calculo No. 8.

Número de puntos de conexión: 656

Número de TSM's necesarios: $0.656k \text{ Pc} \times 4 = 2.624$. Esto implica que se necesitan 1.3 TSM's por lado (A y B). Entonces para la red se utilizan 4 TSM's, y de acuerdo a la tabla V se requieren 2 SPM's.

Además el tiempo promedio de la instalación y prueba para nuestra red es de 150 H/hombre, necesitando 3 personas para hacerlo en 1 semana, teniendo un ingeniero de prueba un salario promedio de N\$ 20.00 por hora, se obtiene lo siguiente:

2 SPM 4K cada par a N\$ 45,632.71 = N\$ 91,265.42

4 TSM 0 - 16K cada par a N\$ 26,427.78 = N\$ 105,711.12

COSTO DE INSTALACION 150 X 20 = N\$ 3,000.00

N\$ 199,976.54

Ahora se dará una breve descripción del material empleado para la construcción de cada magazin (modulo que contiene alambrado en la parte posterior del mismo donde son conectadas de las diferentes tarjetas de circuito impreso empleadas) TSM y SPM, para de esta manera conocer la utilidad en este proyecto. Esta información fue proporcionada por personal encargado de la fabricación de dichos magazines.

Magazin SPM Número de parte BFD 328 522/4 R4C

NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO
1/MPP 105 01/1300	Película contráctil	0.11 Kg	20.25
1/MPP 105 01/1500	Película contráctil	0.13 Kg	25.50
1/RTK 907 513	Reileno p/caja BFD	2	37.00
1/RTK 164 68	Refuerzo p/caja BFD	2	28.50
103 3750/4	Barra	2	30.00
104 4826/4	Barra de bloqueo	2	25.00
104 4827	Espiga de guía	4	43.60
104 4828	Resorte	4	38.20
104 4829	Espiga de eje	4	31.20
105 8458	Pieza espaciadora	8	45.60
24/SBF 228 030/060	Tornillo	2	2.40
24/SBF 228 040/100	Tornillo	16	24.00
24/SBF 228 040/300	Tornillo	8	7.20

860 1741/4	Placa de guía	2	54.00
860 1742/4	Placa de guía	2	59.00
860 6830/2	Placa lateral	4	32.00
BFB 101 001/1B R5E	Tarjeta POU	1	405.80
BFD 328 522 R2A	Unidad SPM86	1	255.35
LZF 083 101/1L	Etiqueta	8	33.60
LZF 083 60/2L	Etiqueta	1	6.55
LZF 083 73/1L	Etiqueta	1	5.40
ROF 131 145/1 R1C	Tarjeta SPU	10	4912.00
ROF 131 842/1 R3B	Tarjeta HSU	8	5189.60
ROF 131 990/1A R1B	Tarjeta CCU2	1	412.60
ROF 131 991/1A R5B	Tarjeta LLD	1	423.50
ROF 131 7636/1 R1B	Tarjeta CCB	4	2470.00
RTK 164 68/8	Caja p/BFD	1	150.00
RTKC 907 530/8	Sujetador p/caja BFD	2	40.60
SBF 128 225/24	Tornillo	12	13.20
TRL 3282/260	Conector	1	8.90

Costo total de la fabricación del magazin N\$ 14,830.55

Magazin TSM86 Número de parte BFD 324 533/2 R6B

NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO
1/MPP 105 01/1150	Película contráctil	0.095 Kg	18.50
1/MPP 105 01/750	Película contráctil	0.0620 Kg	15.35
103 3750/4	Barra	1	15.00
104 4826/4	Barra de bloqueo	1	12.50
104 4827	Espiga de guía	2	21.80
104 4828	Resorte	2	19.10
104 4829	Espiga de eje	2	15.60
105 8458	Pieza espaciadora	4	22.80
24/SBF 228 040/100	Tornillo	8	12.00
24/SBF 228 040/300	Tornillo	4	3.60
860 1741/4	Placa de guía	1	27.00
860 1742/4	Placa de guía	1	29.50
860 6830/2	Placa lateral	2	16.00
BFD 324 533 R3A	Unidad TSM 86	1	212.45
LZF 083 101/1L	Etiqueta	4	16.80
LZF 083 60/2L	Etiqueta	1	6.55
ZF 083 73/1L	Etiqueta	1	5.40
ROF 131 106/1 R4A	Tarjeta EMC6	1	475.80
ROF 131 139/1 R4A	Tarjeta LSU	1	507.75
ROF 131 142/1 R3A	Tarjeta CIU	1	533.25
ROF 131 330/1 R6C	Tarjeta MEM	4	2721.20
ROF 131 667/1 R1C	Tarjeta POU	1	600.30
ROF 131 843/1 R5B	Tarjeta THU	1	594.20
ROF 131 989/1 R2C	Tarjeta TIU	1	606.25

ROF 131 991/1 R5C	Tarjeta POU	1	405.80
ROF 131 1899/1 R3B	Tarjeta LMU	2	1459.10
RTK 164 68/4	Caja p/BFD	1	133.80
RTKC 907 530/4	Sujetador p/caja BFD	2	45.00
SBF 128225/24	Tornillo	6	6.60
TRE 3282/260	Conector	1	10.00

Costo total de fabricación del magazin N\$ 8,589.00

Como se puede ver después de calcular los costos de fabricación se tiene lo siguiente:

Magazin SPM

Costo de fabricación N\$ = 14,830.55

Precio de venta N\$ = 22,816.35

Esto implica que se tiene una utilidad del 35%

Magazin TSM

Costo de fabricación N\$ = 8,589.00

Precio de venta N\$ = 13,213.89

También para este caso se tiene una utilidad del 35%

Como se ve la empresa que fábrica, instala y vende este equipo para las centrales telefónicas digitales obtiene buenas ganancias, pero es compensado ya que no es solo la

venta del equipo digital, ya que dentro del costo de venta esta incluida la tecnología.

Por otra parte la empresa que administra la red telefónica del país invierte mucho dinero para la instalación de este tipo de centrales. Pero esta inversión es recuperable a corto plazo.

BIBLIOGRAFIA

- "La Telefonía Digital", ERICSSON.
- "Digital Telephony", John Bellamy.
- "Fundamentos de Ingeniería Electrónica", Enrique Herrera.
- "Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones", Roger L. Freeman.
- "Modern Telephony",