

117
203



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

Comutación Electrónica

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
GUSTAVO R. SOTO MUÑOZ

Director de Tesis Ing. Jesús Reyes García



MEXICO, D. F.

1987.



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

CAPITULO I LA RED TELEFONICA ANALOGICA

	Pag.
1. JERARQUIA DE LA RED	1
1.1 Plan de encaminamiento o conmutación	3
1.2 Sistemas de señalización	6
1.3 Plan de numeración	6
2. SISTEMAS DE CONMUTACION	8
2.1 Conmutación electromecánica	8
2.2 Conmutación por programa de control almacenado (SPC)	11
2.3 Conmutador automático privado (PBX)	15
3. MEDIOS DE TRANSMISION	15
3.1 Línea abierta	15
3.2 Cables multipar	16
3.3 Transmisión de 2 y 4 hilos	16
3.4 Dúplex y semidúplex	18
3.5 Pupinización (carga)	19
4. SISTEMAS PAR - GANANCIA	21
4.1 Concentradores	21
4.2 Multicanalización	21
5. MULTICANALIZACION	22
5.1 Múltiplex por división de frecuencia (FDM)	22
5.2 Jerarquía FDM	25
6. MEDIOS DE TRANSMISION DE BANDA ANCHA	27
6.1 Cable coaxial	28
6.2 Microondas	28
6.3 Satélites	29
7. DETERIORO DE LA TRANSMISION	29
7.1 Atenuación	29
7.2 Interferencia	30
7.3 Ruido	31
7.4 Distorsión	32
7.5 Eco	32
8. NIVELES DE POTENCIA	34

9. SEÑALIZACION	36
9.1 Señalización de abonado	36
9.2 Señalización entre centrales	37
9.3 Señalización por canal común	41
10. INTERFASES	44
10.1 Batería	44
10.2 Protección	46
10.3 Llamada	47
10.4 Supervisión	48
10.5 Pruebas	49
11. SERVICIOS ESPECIALES	50
11.1 Transmisión de datos	50
11.2 Teletipos	52
11.3 Facsímil	53
12. ORGANIZACIONES INTERNACIONALES QUE ESTABLECEN ESTANDARES .	54

CAPITULO II MODULACION POR PULSOS CODIFICADOS

1. MODULACION POR AMPLITUD DE PULSOS (PAM)	56
1.1 Muestreo	56
1.2 Aspectos que hay que considerar en el muestreo práctico ..	58
2. MODULACION POR PULSOS CODIFICADOS (PCM)	60
2.1 Cuantización	61
2.2 Codificación	65
2.3 Códigos de línea	66
2.4 Regeneración	73
2.5 Decodificación	74
3. MODULACION POR PULSOS CODIFICADOS DIFERENCIAL (DPCM)	75
4. MODULACION DELTA (DM)	78
5. MODULACION DELTA ADAPTIVA (ADM)	79
6. MULTICANALIZACION POR DIVISION DE TIEMPO (TDM)	80

CAPITULO III CONMUTACION DIGITAL

1. FUNCIONES DE LA CONMUTACION	86
2. CONMUTACION POR DIVISION DE ESPACIO	88
3. CONMUTADORES DE DESBLOQUEO	92

4. PROBABILIDADES DE BLOQUEO: GRAFICAS DE LEE	95
5. PROBABILIDADES DE BLOQUEO DE JACOBAEUS	100
6. CONMUTADORES DE CUATRO HILOS	103
7. EXPLORACION	105
8. CONTROL DE LA MATRIZ DE CONMUTACION	106
9. CONMUTACION POR DIVISION DE TIEMPO	108
9.1 Conmutación analógica por división de tiempo	108
9.2 Conmutación digital por división de tiempo	109
10. CONMUTACION BIDIMENSIONAL	114
11. CONMUTACION STS	117
12. CONMUTACION TST	119
13. CONMUTADORES TSSST	121
14. ESTRUCTURAS MODULARES DE CONMUTACION	123
15. DISEÑOS DE CONMUTADORES USUALES	124
16. CONMUTACION DIGITAL EN UN MEDIO AMBIENTE ANALOGICO	129

CAPITULO IV CENTRALES DIGITALES

1. CENTRAL DIGITAL AXE 10	132
2. SISTEMA DE CONMUTACION DIGITAL ITT 1240	146
3. CENTRAL DIGITAL DSS - 1	156
4. CONMUTADOR DIGITAL 5ESS - PRX	160
5. CENTRAL DIGITAL EWS - D	164

CAPITULO V RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS

1. LA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (ISDN)	168
CONCLUSIONES	172
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	173

INTRODUCCION

La telefonía se ha convertido, desde sus inicios, en el servicio de comunicación más importante de todo el mundo, y a lo largo de más de 100 años ha tenido un impresionante desarrollo gracias a los grandes avances tecnológicos en el campo de la electrónica. Así, la humanidad ha visto pasar desde los sistemas telefónicos más rudimentarios (electromecánicos, por operadora, etc.) hasta los más sofisticados sistemas digitales de la actualidad, transmitiendo voz, textos, imágenes, datos y una gran variedad de tipos de información.

Ni aun las más impresionantes novedades surgidas en este siglo, tales como: la televisión, el rayo laser, los vuelos espaciales, las computadoras, etc., lo han podido opacar, por el contrario, en lugar de disminuir su importancia, se han apoyado de él.

Este trabajo trata de dar un panorama general de la telefonía con sus sistemas de señalización, conmutación, etc. De este modo, en el primer capítulo se muestra al sistema telefónico analógico así como los principales medios de transmisión, los sistemas de conmutación, los medios de transmisión de banda ancha, las principales causas que originan el deterioro de las señales en un medio de transmisión, las interfaces propias del abonado, los servicios especiales, etc., asociados a la red analógica.

El segundo capítulo presenta las bases de las técnicas PCM, en sus diferentes formas, así como un análisis del múltiplex por división de tiempo, los procesos de cuantización, codificación, regeneración y decodificación, continuando en el tercer capítulo con la conmutación digital, en el que se tratan temas tales como: el bloqueo, los conmutadores multietapas (TS, TST, TSSST), los conceptos básicos para el diseño de conmutadores. El cuarto capítulo presenta información sintetizada de algunos sistemas de conmutación digital de reciente creación, por ejemplo, el sistema AXE 10, el sistema ITT 1240, etc. Finalmente, el quinto capítulo incluye un breve comentario sobre el futuro del sistema telefónico dentro de la red digital de servicios integrados, los principales servicios y ventajas de la ISDN.

Por último, deseo externar un profundo agradecimiento al ingeniero Jesús Reyes García por su incalculable ayuda para la realización de este trabajo y por sus grandes conocimientos transmitidos a través de sus cátedras durante mi trayectoria por la UNAM.

C A P I T U L O I

LA RED TELEFONICA ANALOGICA

1. JERARQUIA DE LA RED

Cuando es necesario proporcionar un buen servicio telefónico, se requieren funciones imprescindibles como: la conmutación, la señalización y la transmisión, ya que estas se integran al proceso de conexión y desconexión de una comunicación.

La conmutación es la encargada de identificar y conectar a los abonados en una trayectoria de comunicación adecuada. Por su parte, la señalización es la encargada de suministrar e interpretar las señales de control y de supervisión que se necesitan para realizar la conmutación. En cuanto a la transmisión, se refiere a la transmisión propiamente dicho del mensaje, así como de las señales de control.

Para establecer una comunicación telefónica, existe una gran variedad de recursos, es decir, no existe solo una ruta de comunicación posible, esto se debe a la gran variedad de centros de conmutación interconectados a la red pública telefónica.

El caso más sencillo de comunicación entre abonados puede involucrar solamente una central, pero cuando la conferencia es entre abonados que se encuentran bastante alejados entre sí, esta puede involucrar varias centrales así como varias trayectorias de frecuencia vocal y varios sistemas de onda portadora.

La intervención de las centrales telefónicas en una comunicación no es en forma aleatoria o desordenada, sino que sigue una jerarquía específica, los diferentes tipos de centrales telefónicas que se conocen son:

- a) Centrales Terminales o Locales. Son las centrales conectadas directamente a los abonados.
- b) Central Primaria o de Grupo. Son centrales que conectan a las centrales terminales para comunicaciones de larga distancia.
- c) Central Secundaria o de Zona. Son también centros de L.D.
- d) Central Terciaria o de Distrito. Este tipo de centros son empleados también en comunicaciones de L.D.
- e) Central Tandem. Este tipo de centrales tiene como función principal conectar a dos o más centrales terminales para comunicaciones locales.

Las líneas que conectan a las centrales entre sí se conocen como troncales y la conexión entre central y abonado es llamada línea de abonado. Al igual que en las centrales, en las troncales existen varios tipos:

- Troncal Urbana. Son aquellas que unen a las centrales terminales y/o conmutadores automáticos privados.
- Troncal Tandem. Son las que se establecen entre las centrales terminales y los centros tandem.
- Troncal Terminal o de L.D. Son troncales que unen a las centrales terminales con los centros de grupo.
- Troncales Interurbanas. Son las que unen a los centros de grupo y/o centros de zona en distintas ciudades.

Otro importantísimo medio de transmisión en un sistema telefónico es el de onda portadora, el cual puede ser por cable múltiple, por cable coaxial o por microondas.

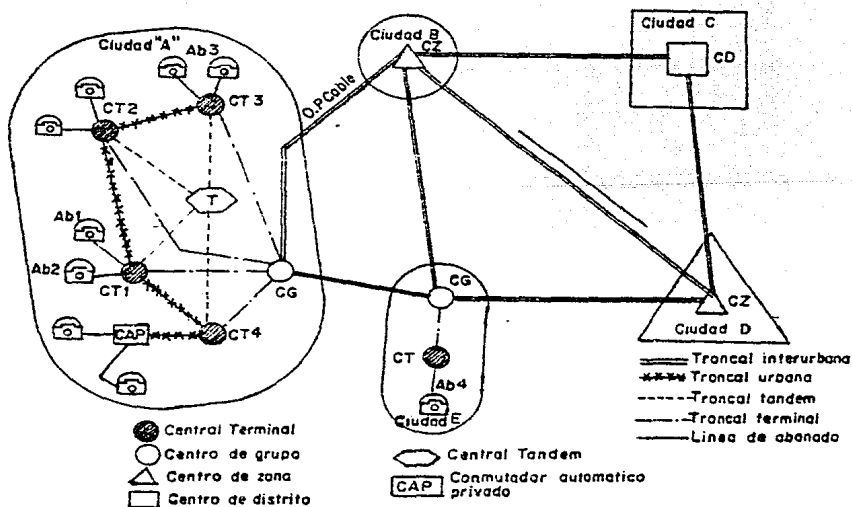


Figura 1. Sistema telefónico.

La figura 1 muestra un sistema telefónico en el que pueden observarse todos los elementos mencionados. En esta figura se observa que la comunicación entre los abonados 1 y 2 de la ciudad A, es la más sencilla de conmutar ya que únicamente interviene una central (CT1), para su realización.

Una segunda comunicación se puede tener entre los abonados 1 y 3 de la ciudad A, en esta comunicación intervienen dos centrales locales (CT1 y CT3), así como una central tandem (T), entre cada CT y el centro tandem se tienen troncales tandem.

El ejemplo más complicado del establecimiento de una comunicación se tiene, si se desearan comunicar el abonado 1 de la ciudad A con el abonado 4 de la ciudad E, en esta comunicación intervienen varios tipos de centrales, además de existir varias rutas o caminos para su establecimiento.

1.1 Plan de encaminamiento o conmutación

Se ha establecido que el plan de conmutación se encarga de estructurar una red interurbana que pueda satisfacer las necesidades de servicio telefónico automático. La red estará constituida de centros de conmutación y enlaces troncales adecuados, que permitan el establecimiento rápido y preciso de las conexiones necesarias.

Existen dos aspectos fundamentales que caracterizan a una red interurbana, lo que se conoce como disciplina de conmutación jerárquica y principio de conmutación alterna automática. La primera se encarga de la colección y distribución del tráfico mediante la interconexión, en forma jerárquica, de todos los centros de conmutación, es decir, a un centro de grupo se conectan centrales terminales, a un centro de zona se conectan centros de grupo, etc., teniendo además una gran cantidad de troncales interurbanas conectadas a dichas centrales. Esta estructura nos lleva a una red radial o en estrella, que proporciona la estructura básica de una red interurbana automática, la figura 2 nos muestra la gran variedad de centros de conmutación que intervienen en la comunicación entre dos abonados.

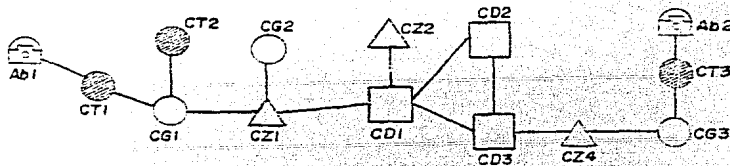


Figura 2. Estructura radial de una red interurbana.

Cuando entre dos ciudades existe alto tráfico, es necesario implantar rutas directas entre ellas.

El principio de conmutación alterna automática hace uso de las rutas directas para cursar por ellas en forma prioritaria el tráfico, en otras palabras, con este principio se dispone de varias posibilidades de rutas a elegir para establecer una comunicación, una de estas posibilidades se toma como primera opción, siendo la más corta. Si todos los circuitos se encuentran ocupados en la primera opción, se prueban en forma consecutiva las siguientes rutas, hasta llegar a la ruta final de ser necesario. De esta forma, se obtiene una red optimizada mitad radial y mitad malla, formada por rutas de gran utilización, rutas secundarias y rutas finales. La figura 3 muestra una red mitad malla y mitad radial.

En la estructura de la red de la figura 3, las rutas finales elegibles formadas por enlaces finales, pueden ser las únicas rutas a utilizar, o si se dispone de rutas directas, entonces se convierten en el último recurso para la conmutación del tráfico.

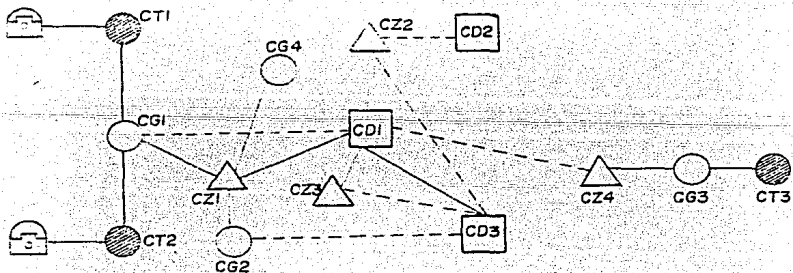


Figura 3. Red mitad malla y mitad radial.

En ocasiones, es conveniente dividir el grupo de circuitos finales que conecta a los centros más importantes, en un grupo que se reserva para el tráfico en tránsito (conmutado) y en otro para el tráfico terminal, con esto, cuando el grupo de circuitos para el tráfico terminal está ocupado, la sobrecarga puede encaminarse por el grupo de circuitos adscrito al tráfico en tránsito. La figura 3 muestra en forma general la estructura jerárquica de una red telefónica.

El agrupamiento sistemático de centros de conmutación resulta en un agrupamiento similar de las áreas que atienden. En

la figura 4. se observa que un país se puede dividir en regiones, cada una atendida por un centro de conmutación de máxima categoría llamado centro regional. Cada región se subdivide en áreas más pequeñas, llamadas distritos; el punto de conmutación principal en el distrito es el centro de distrito, este a su vez, debido a que aun resulta grande, se divide en centros de zona. Los centros restantes son los centros primarios o de grupo y las centrales locales. Cada unidad de conmutación separada, debe tener su clasificación dentro del plan de conmutación jerárquica, dicha clasificación se aplica aun cuando en un solo edificio esten alojadas más de una unidad.

País dividido en áreas cuaternarias o regiones

○ Centro regional o cuaternario

Región dividida en áreas terciarias o distritos

□ Centro de distrito o terciario

Distrito dividido en áreas secundarias o zonas

△ Centro de zona o secundario

Zona dividida en áreas primarias o grupos

○ Centro primario o de grupo

Area primaria atendida por centros locales

● Centro local o terminal

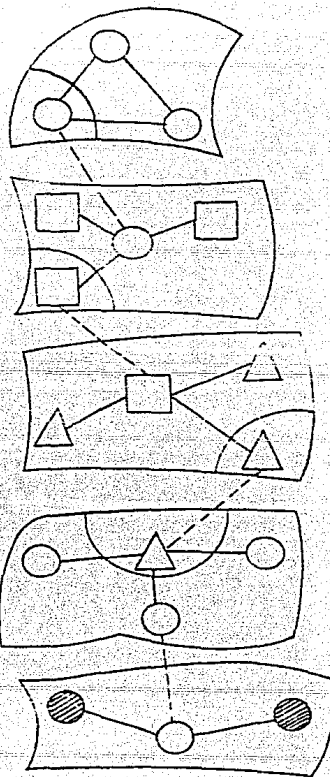


Figura 4. División de un país por centros.

1.2 Sistemas de señalización

En operación manual, los requisitos de señalización son relativamente simples, la operación de señalización se realiza entre los diferentes centros de conmutación, ya sea verbalmente o por medio de señales sonoras en la línea. En operación o conmutación automática, se necesita un sistema complejo de señales, para transmitir la información sobre la red de conmutación, entre dichas señales se encuentran: la información numérica o de selección, la información de cobro y supervisión, datos de control, etc.

1.3 Plan de numeración

En telefonía, la numeración es uno de los aspectos más importantes de organización. Con el plan de numeración, se asigna a cada abonado un número que determina su posición dentro de la red. Con este distintivo, llamado código, el sistema permite establecer la comunicación entre abonados, sin importar la ubicación de estos.

Las centrales telefónicas se construyen en unidades desde 1000 líneas, hasta un máximo de 10 unidades, es decir, 10000 líneas. Cuando es necesario atender más de 10000 abonados, se instala más de una central como en la figura 5, de este forma se obtiene lo que se conoce como área multicentral.

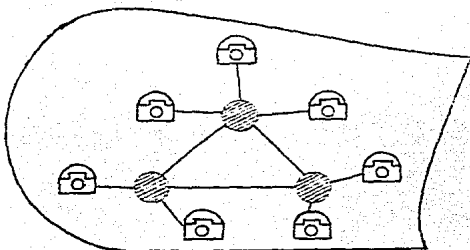


Figura 5. Área multicentral.

En una área multicentral, cada teléfono y cada central telefónica tienen una identidad distinta, como parte del sistema de numeración para la conmutación de L.D.

El código de selección correspondiente a cada abonado queda determinado por la cantidad de centrales que tenga el área dentro de la cual se localiza.

Si el área de conmutación local queda atendida con una central de 10000 líneas, con números que vayan desde 0000 hasta

9999, se podrán localizar hasta 10000 abonados.

Por otro lado, si lo que se tiene es una área multicentral con números de cinco dígitos, podrán definirse hasta 10 centrales con 10000 líneas cada una, esto es, 100000 suscriptores en total.

X	XXXX
10 centrales	10000 líneas

100000 suscriptores

Una área multicentral, por grande que sea, no empleará nunca más de 1000 centrales, lo cual nos conduce a indicar que los distintivos, llamados también número local o de directorio, pueden variar entre cuatro y siete dígitos.

XXX	XXXX
1000 centrales	10000 líneas

10 millones de suscriptores

Cuando un país se divide en varias áreas multicentrales, es necesario que el número local vaya precedido de un código de área, para establecer comunicaciones de una a otra área multicentral.

La cantidad de dígitos que forman el código de área depende del número total de áreas en el país, así como de la densidad telefónica en cada una de ellas. Por consiguiente, se pueden tener códigos de 1, 2 ó 3 dígitos, si el área es de gran densidad, sus números de directorio serán de más dígitos y por lo tanto su código debe de ser de menos dígitos (uno) si por el contrario, el área es de poca densidad, esta tendrá menos números de directorio y su código de área será de un mayor número de dígitos (tres).

El CCITT recomienda que los números nacionales no excedan de 8 ó 9 dígitos.

Como podemos observar, el código de área es usado para comunicaciones de larga distancia. De acuerdo a lo anterior, las comunicaciones destinadas a otra área emplean la red interurbana, por lo que requieren de centros de conmutación de larga distancia por lo tanto, es necesario que el número vaya precedido de un prefijo de larga distancia nacional, el cual indica que la llamada se dirige a un abonado que pertenece a otra área diferente a la del abonado que llama. De todo lo dicho se desprende que el código de selección nacional se compone de: prefijo de L.O. nacional, el código de área y el número de directorio o local. Como ejemplo, podemos considerar la comunicación de Monterrey al Distrito Federal.

91	5	5 86 01 22
L.D. nac.	código de área	número local

Código de selección nacional

En el caso de México, para una llamada de L.D. nacional, siempre se deben marcar 10 dígitos, esto es, se emplea el sistema de numeración cerrada o uniforme. Algunos países optan por el sistema de numeración abierta, en el cual, se marca un código de selección que puede variar en número de dígitos, dependiendo de la densidad de tráfico de la zona a la que va dirigida la llamada.

Un proceso similar se sigue para comunicaciones de L.D. internacionales, solo que en este caso, el código de selección internacional no debe exceder de doce dígitos.

X	X	XXX	XXXXXXX
pref. inter.	C. del país	C. de área	número local

Código de selección internacional

2. SISTEMAS DE CONMUTACION

En los albores de las comunicaciones telefónicas, si un número N de abonados deseaban estar comunicados entre sí, cada uno debía tener una línea tendida hacia los demás abonados y viceversa. Este hecho, trajo a la luz el problema de que materialmente se tejerían las ciudades con las líneas telefónicas debido a esto, por consideraciones de tipo económico, práctico y hasta estético, se le busco solución a dicho problema. Esta solución fué precisamente la introducción de la red conmutada. Las funciones básicas de la conmutación se clasifican en tres categorías: concentración, distribución y expansión.

2.1 Conmutación electromecánica

Debido al gran desarrollo de las telecomunicaciones, en la actualidad la conmutación puede llevarse a cabo por medios electromecánicos o por medios electrónicos, a continuación se mencionan algunos tipos de conmutación electromecánica.

a) Conmutación paso a paso

Uno de los equipos de conmutación más común en las centrales telefónicas es el de paso a paso. El nombre viene de la forma en como las etapas de conmutación responden directamente a los pulsos de marcado del teléfono que llama. En la figura 6, se presenta un diagrama simplificado de un sistema paso a paso. Cuando el abonado A descuelga el microteléfono, un buscador de línea explora y se conecta a la línea del abonado. Cada buscador de línea esta conectado directamente a un selector el cual proporciona un tono de marcar al abonado que llama. Los contactos del selector se movilizan hasta el nivel del número llamado, bajo el control de los pulsos de marcado del abonado A, de donde automáticamente "barre" hasta la primera línea terminal libre.

(En una central de conmutación, esta línea terminal se conecta a otro banco de selectores, los que a su vez están conectados a otros selectores, etc.).

Una serie de cinco selectores, uno para cada uno de los primeros cinco dígitos del número común y corriente de siete dígitos, están encadenados por toda la región o país en el caso de llamadas normales de larga distancia.

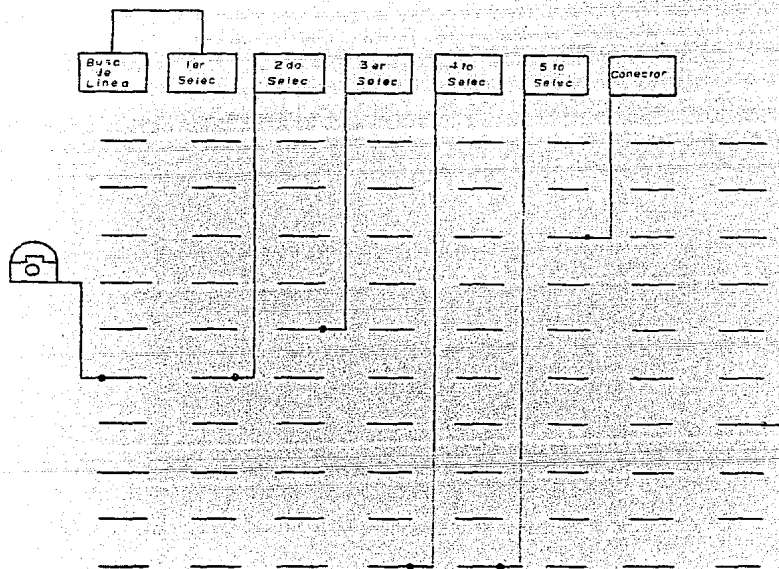


Figura 6. Sistema de conmutación paso a paso simplificado.

Una llamada hacia otro teléfono en el mismo edificio (PBX) emplea únicamente uno o dos selectores. El selector final conecta a la línea que llama con un elemento asociado al equipo del abonado llamado. Cuando se marca el penúltimo número, el conector se desplaza verticalmente hasta el punto del número marcado; al marcar, los contactos del conector se mueven horizontalmente hasta la línea correspondiente al número llamado. El conector realiza entonces la prueba de ocupado o acciona el sistema de llamada del abonado deseado. Cabe señalar que todos los

interruptores (buscadores de línea, selectores y conectores) permanecen ocupados hasta que el abonado que llama cuelga, deslizando entonces todas las partes y quedando disponibles para otras llamadas.

b) Conmutación por barras cruzadas (crossbar)

Existen dos aspectos fundamentales que diferencian al sistema crossbar del sistema paso a paso: 1) Los pulsos del marcado no accionan directamente a la serie de interruptores en cadena y 2) El equipo común se emplea solamente en las etapas inicial y final de las llamadas.

En la figura 7 se ilustra un multiselector de coordenadas crossbar, que constituye un tipo de matriz de conmutación con puntos de cruce mecánicos. Este tipo de matriz, construido y perfeccionado por la compañía Ericsson, consiste de seis barras horizontales y diez verticales. En los puntos de intersección de las barras se colocan juegos de resortes de contacto que sirven como puntos de cruce. Los extremos de cada barra vertical (puente), constituyen la armadura de un electroimán (electroimán de puente), mediante el cual es posible hacer girar un pequeño ángulo la barra vertical. Los extremos de cada barra horizontal constituyen la armadura de dos electroimanes (de barra), que hacen girar un pequeño ángulo a la barra horizontal, en este caso, debido a los dos relevadores de cada barra horizontal es posible hacer girar la barra en ambos sentidos. En esta forma, cuando los electroimanes se energizan, el giro de las barras provoca que los juegos de resortes de control se apresten. Mediante agujas flexibles localizadas en las barras horizontales se logra que solamente se opere el grupo de contactos que se localiza en el punto en el cual se intersecciona el puente y la barra girados.



Figura 7. Sistema de conmutación de barras cruzadas.

Para el establecimiento de una conexión en la matriz, primero se gira la barra y después el puente. El punto de cruce establecido se retiene durante la conexión, manteniendo operado el relevador de puente únicamente, es decir, la barra horizontal regresa a su posición normal durante la conexión. El punto de cruce se libera cuando el puente regresa a su posición de origen.

La matriz de conmutación de la figura 7 se conoce con el nombre de multiselector, debido a que es posible establecer a través de ella varias conexiones simultáneas e independientes. Sin embargo, en el establecimiento de las diferentes conexiones, los puntos de cruce se operan en forma sucesiva.

2.2 Conmutación por programas de control almacenado (SPC)

Los programas de control almacenado son sistemas de conmutación en los cuales el control común se lleva a cabo mediante un sistema de cómputo, que puede ser una computadora de gran escala, una microcomputadora, un microprocesador o cualquier otro circuito electrónico. Los conmutadores telefónicos son candidatos lógicos para una computadora digital ya que trabajan con valores discretos.

El conmutador convencional de barras cruzadas requiere aproximadamente medio segundo para realizar una conexión telefónica. Además se necesitan hasta 40 señalizadores de barras cruzadas en una central de larga distancia, lo que implica que se necesitan una gran cantidad de puntos de cruce para llevar a cabo sus funciones. Sin embargo, reemplazando los señalizadores con lógica programada, un solo dispositivo realiza el trabajo de 40. Una simple secuencia de entrada en una terminal de la computadora reemplaza los enormes procedimientos. Las fallas del sistema son desplegadas a medida que ocurren y el estado de los circuitos se puede imprimir periódicamente. Debido a la velocidad de la computadora, el retardo posterior al marcado se reduce.

El sistema de conmutación SPC se compone de cuatro partes principales:

1) Matriz de conmutación: Puede estar constituida por puntos de cruce electromecánicos (como el conmutador de barras cruzadas), diodos semiconductoros o de SCR (Rectificadores Controlados de Silicio). Una matriz de SCR es la mostrada en la figura 8.

2) Memoria de llamada: Es una memoria temporal de la información de la llamada que llega lista para usarse comandada desde el procesador central. También contiene la información del estado de las líneas, troncales y circuitos de servicio, así como las condiciones internas de los circuitos de conmutación. La información del estado de los circuitos se lleva a la memoria mediante un método de exploración donde para los circuitos de llamada son explorados mediante la condición ocupado/desocupado.

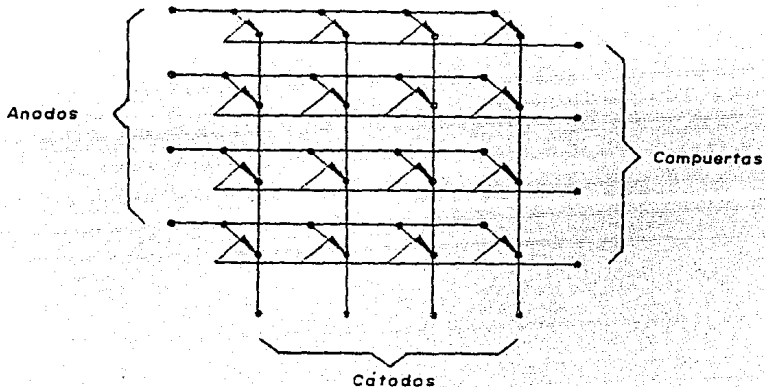


Figura 8. Matriz de conmutación a base de SCR.

3) Memoria de programa: Su función es la de proporcionar las instrucciones básicas para el procesador central. Es una memoria permanente que contiene todas las instrucciones principales del programa de mando.

4) Procesador central: Es la parte principal del sistema y además la encargada de llevar a cabo las instrucciones proporcionadas por la memoria del programa.

La figura 9 nos muestra un diagrama de bloques de una central SPC típica de Norte America. La figura 10 es un diagrama más explícito de la misma central, en esta se puede observar que una central SPC se puede dividir en tres niveles funcionales básicos:

- a) Red de conmutación de líneas y troncales
- b) Equipo de entrada/salida
- c) Equipo de control común

La red de control ejecuta las órdenes dadas por el procesador central y que son, por lo general, instrucciones de conexión y desconexión, junto con la localización de la información de donde se lleva a cabo la acción en la red de conmutación.

El equipo de entrada/salida consiste de un buscador de línea y un distribuidor de señal, ambos circuitos operan bajo el control del procesador central y en ellos se lleva a cabo el concepto de "tiempo compartido" del SPC, este concepto es la base

en la que una o varias computadoras pueden controlar (literalmente) miles de circuitos, con una sustitución en serie de cada circuito. Otro concepto es el de "tiempo de carga", el cual es el tiempo que se lleva la sustitución de un circuito y el "tiempo de espera" es el tiempo que cada circuito debe esperar para ser sustituido.

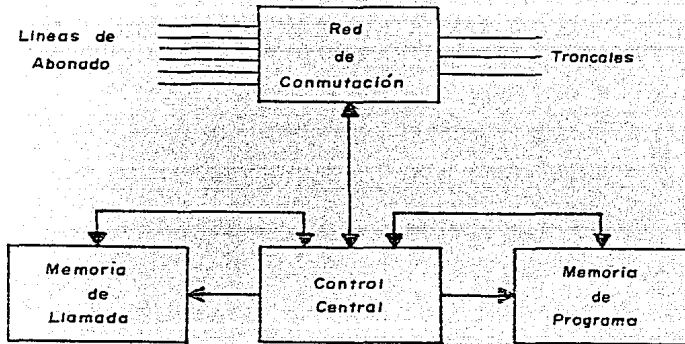


Figura 9. Diagrama de bloques de una central SPC.

Un ciclo de lectura/escritura de una computadora en un sistema SPC típico es de 2 a 5 μ s, con una velocidad de exploración de 2 a 5 μ s por terminal, 10 μ s para la recepción y 100 ms para la supervisión. El explorador es un circuito de entrada, empleado para el muestreo de los estados (ocupado/desocupado) de las líneas de abonado, troncales y puntos de prueba de los conmutadores, para permitir el monitoreo del sistema. Por otro lado, el distribuidor de señal es un circuito de salida cuya función es la de dirigir las señales de salida a varios puntos del sistema.

El equipo de control común, como se mencionó, está compuesto del procesador central, la memoria de llamada y la memoria del programa. El conjunto de las tres unidades es considerado como la computadora de control, la cual es capaz de transmitir órdenes al sistema, así como de detectar señales de él. Los sistemas SPC con control centralizado que se han discutido tienen una interface humana con el controlador central, la cual puede ser un teleimpresor o una terminal de teclado con unidad visual.

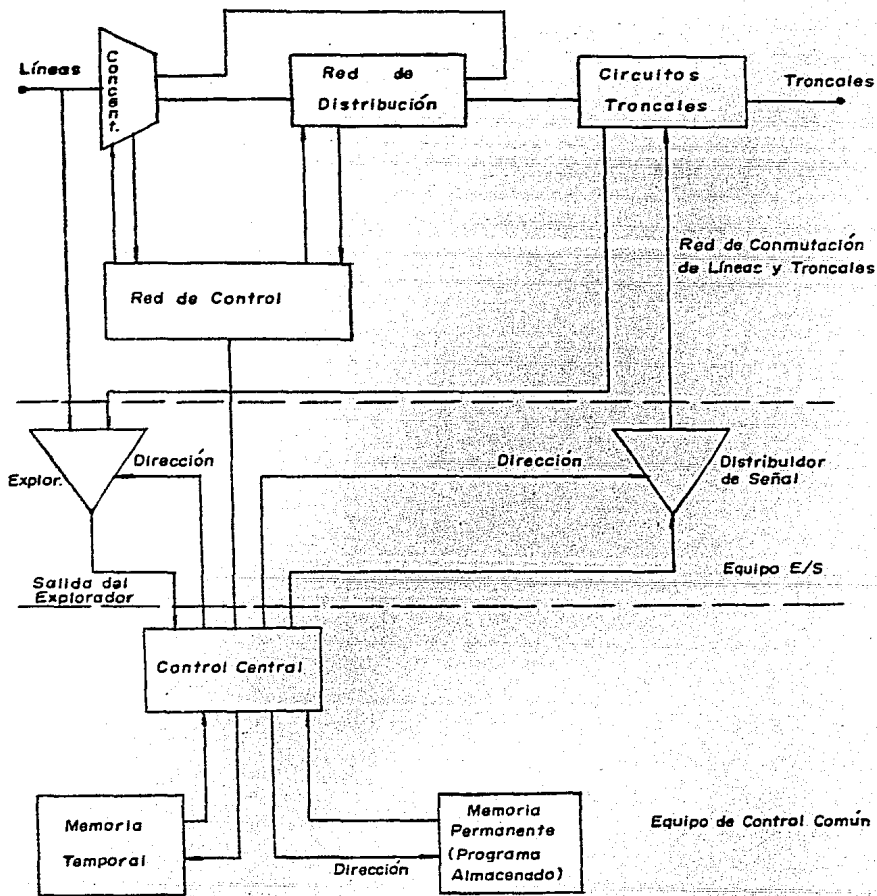


Figura 10. Diagrama conceptual de bloques de una central SPC.

2.3 Conmutador automático privado

Debido a que las necesidades de comunicación interna en las empresas, negocios, hoteles, etc., han ido en aumento día con día, se ha visto la necesidad de emplear equipos privados, conocidos como Conmutadores Automáticos Privados o Centrales Telefónicas Privadas.

El conmutador automático privado (PBX), es un sistema de conmutación empleado generalmente para servicios internos de comunicación, además de tener acceso a la red pública. Estos sistemas pueden usar control automático o manual.

Los sistemas PBX, tienen una capacidad que puede ir desde unas cuantas hasta miles de extensiones, por lo cual es curioso ver centrales públicas del tipo rural con capacidad de hasta 40 abonados, conectados a la red pública y ver un sistema PBX con capacidad de hasta 10000 abonados, que en este caso se les denomina extensiones.

Por supuesto, el principal interés de una central PBX es conectarse entre sí, pero también es necesario que puedan tener acceso a la red pública, por ello, una central de este tipo cuenta con líneas hacia una central pública local.

3. SISTEMAS DE TRANSMISION

3.1 Línea abierta

La línea abierta o aérea fué de los primeros medios de transmisión alámbricos que se emplearon para la transmisión de comunicaciones tanto telegráficas como telefónicas.

Se entiende por línea abierta a un par de conductores paralelos, adecuadamente soportados por postes espaciados aproximadamente cuarenta metros.

Comparada con el cable, la línea abierta tiene la ventaja de operar con menores pérdidas de transmisión, sin embargo, está más expuesta a sufrir fallas mecánicas así como interferencias eléctricas.

El clima húmedo y las condiciones de hielo o nieve pueden incrementar la atenuación en las líneas abiertas. Económicamente, las líneas abiertas pueden ser consideradas únicamente donde los requerimientos de circuitos son pequeños y los costos del cable son prohibitivos. Entre los diferentes tipos de líneas abiertas se pueden mencionar los siguientes:

- a) Cobre: Es empleado cuando sus ventajas de conductividad y resistencia a la corrosión son relativamente mayores a sus costos. Sus principales aplicaciones son en circuitos de bajas pérdidas y en áreas altamente industrializadas, donde las condiciones atmosféricas pueden corroer otro tipo de líneas.

- b) Cobre-Hierro: Se emplean para mejorar la resistencia mecánica, lo que permite una mayor separación entre los postes de soporte, tienen aproximadamente el 40% de la conductividad de las líneas de cobre del mismo grueso. A frecuencias superiores a 1000 Hz, presentan la misma atenuación que las líneas de cobre.

El rango de frecuencias en el cual se emplea la línea abierta es de unos cuantos de Hz hasta 150 KHz en sistemas de onda portadora.

3.2 Cables multipar

Se entiende por cable múltiple, a un tubo, generalmente de plomo, dentro del cual se instala adecuadamente un cierto número de conductores, para proporcionar trayectorias de comunicación de dos o de cuatro hilos. Existen cuatro formas básicas de instalación de cables multipar:

- a) Cables aéreos: Son instalados sobre postes y resultan más económicos en zonas montañosas, ya que las fallas son fáciles de localizar, es más fácil la reparación y menos costosa. Sin embargo, tienen la desventaja de ser altamente vulnerables a los cambios ambientales.
- b) Cable enterrado directamente: Tiene la ventaja de estar libre de los efectos catastróficos a los que está expuesta la línea aérea.
- c) Cable subterráneo en tubos: Es más costoso que el cable enterrado directamente, pero ofrece máxima protección, larga duración y más flexibilidad en ampliaciones requeridas.
- d) Cable submarino: Es empleado en arroyos poco profundos, ríos, lagos y áreas pantanosas.

Los cables pueden dividirse en dos tipos principales, cables para troncales urbanas y cables para troncales interurbanas. Los primeros son generalmente usados para enlaces entre centrales locales que requieren un gran número de circuitos, debido a que las longitudes son muy cortas, se emplean calibres pequeños de conductores. Por otro lado, los cables interurbanos están diseñados principalmente para transmisión a larga distancia y por lo tanto se tiene mucho cuidado en su fabricación, para asegurar la uniformidad de sus características y el mínimo de pérdidas.

3.3 Transmisión de dos y cuatro hilos

En telefonía, casi todos los circuitos tienen dos amplificadores en sus repetidores, uno para cada dirección de transmisión. Además, las líneas de larga distancia consisten de

cuatro hilos o su equivalente, dos para cada dirección de transmisión, tal como se observa en la figura 11. A esto se le llama circuito de cuatro hilos.

Una conversación telefónica que se efectúe en cualquier dirección, puede transmitirse por un circuito de dos hilos, el cual puede tener un amplificador para ambas direcciones. Esto se logra mediante bobinas dispuestas en forma adecuada, las cuales actúan como transformadores.

Cuando es conveniente aminorar el número de canales físicos, se emplean circuitos de dos hilos o circuitos equivalentes de cuatro hilos. Los circuitos de dos hilos se usan más frecuentemente cuando la transmisión se efectúa a frecuencia vocal. Sin embargo, cuando varios canales se envían por un solo par de conductores se hace necesaria la transmisión a cuatro hilos.

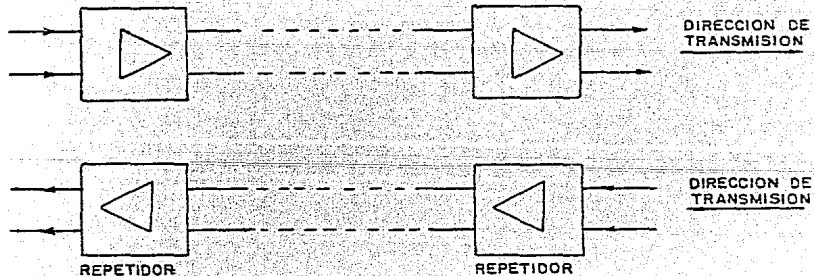


Figura 11. Circuito de transmisión a cuatro hilos.

En el sitio en cual se une la línea de dos hilos con una troncal de cuatro hilos, se necesita un circuito de conexión y transformación. Se transfiere la señal de salida de dos hilos al par apropiado de cuatro hilos y la señal de salida del otro par de la línea de cuatro hilos se transfiere al de dos hilos.

El circuito de transformación de dos a cuatro hilos se conoce con el nombre de Bobina Híbrida. En la figura 12 se muestra la conexión, mediante una bobina híbrida, entre el circuito de dos hilos y el circuito de cuatro hilos. La señal de la línea de dos hilos que se mueve de izquierda a derecha en el diagrama, se recoge por la bobina que entra al amplificador superior, se amplifica y se transmite en la dirección señalada de la línea de cuatro hilos. Una señal que se mueva de derecha a

izquierda, se amplifica en la parte inferior y entra a la línea de dos hilos. La conversión de dos a cuatro hilos en un enlace telefónico, se puede llevar a cabo por tramos, a lo largo de toda la ruta de comunicación.

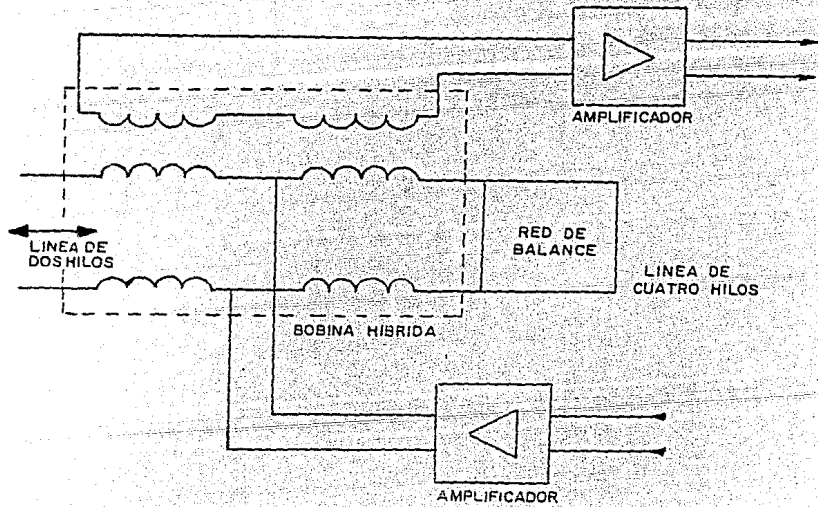


Figura 12. Conversión de dos a cuatro hilos.

3.4 Dúplex y semidúplex

Los términos "Dúplex" y "Semidúplex" son afines pero no sinónimos, con los términos de telefonía "dos hilos" y "cuatro hilos". Un circuito semidúplex es aquel en el que se obtiene transmisión en dos direcciones, pero únicamente en una a la vez. Un circuito dúplex en cambio, es en el que existe transmisión en ambas direcciones simultáneamente. Obviamente, un circuito de cuatro hilos de terminal a terminal proporciona una capacidad de transmisión dúplex. Sin embargo, los circuitos de dos hilos pueden ser usados también para comunicación en modo dúplex, mediante el particionamiento del ancho de banda disponible en bandas de frecuencia separadas para cada dirección de transmisión. Esta técnica generalmente se emplea cuando un

circuito de comunicación de datos en modo dúplex es necesario sobre medios de dos hilos.

Por otra parte, la existencia de circuitos de cuatro hilos no necesariamente implica que la transmisión dúplex pueda ser realizada a través del uso simultáneo de ambos pares. Los circuitos de gran longitud requieren supresores de eco que deshabilitan a un par del circuito de cuatro hilos, mientras el otro está en uso, esto es, sólo se puede emplear un par a la vez.

3.5 Pupinización (Carga)

Para entender el concepto de pupinización, se debe comprender lo que es una línea ideal. Una línea ideal es aquella que no presenta distorsión alguna a las señales que transmite, es decir que: debe tener una atenuación mínima e independiente de la frecuencia, su constante de fase provoque la máxima velocidad de propagación y su impedancia característica sea puramente real e independiente de la frecuencia.

La condición para considerar que una línea es ideal es que $LG = RC$, de donde:

$Z_0 = \sqrt{L/C}$ puramente real e independiente de la frecuencia

$\alpha = \sqrt{RG}$ mínima

$\beta = \omega \sqrt{LC}$ proporcional a la frecuencia

En un cable telefónico, los parámetros α , β , y v son función de la frecuencia: su resistencia y capacitancia son mayores y por lo tanto su atenuación es más alta que en las líneas abiertas, mientras que la velocidad de propagación en un cable es menor que en la línea abierta.

La situación anterior origina que en la práctica se presente para un cable telefónico, la condición $RC \gg LG$. Podemos observar que para acercarnos a la condición de línea ideal es posible aumentar la inductancia L . Esta adición de inductancia en la línea se efectúa artificialmente y se conoce como pupinización o carga. El método consiste en insertar a determinados intervalos, a lo largo de la línea, bobinas que dentro de ciertos límites producen el efecto de tener una inductancia uniformemente distribuida a lo largo del cable.

La pupinización de los circuitos de cable es diferente para las diferentes aplicaciones a que se destina el cable. Por ejemplo, un tipo de pupinización se realiza para troncales locales y otro para troncales interurbanas. En vista de que para la transmisión de onda portadora es necesario tener una mayor banda de paso, los cables que se emplean en estos sistemas deben tener una pupinización más ligera, es decir, se deben emplear bobinas con mayor inductancia y más cercanas entre sí. Para la

designación de los tipos de pupinización se emplea un código a base de letras y números. Estos códigos indican la distancia entre bobinas (letras) y el valor de la inductancia de las bobinas así como el calibre del conductor (números). Por ejemplo, un tipo de pupinización es el 19H88 donde:

19 calibre del alambre
H espaciamento entre bobinas
88 valor de la inductancia

Las siguientes letras se emplean para determinar el espaciamento que debe haber entre las bobinas de pupinización:

H = 1800 m	E = 1700 m
D = 1370 m	X = 207 m
S = 915 m	Y = 250 m
A = 213 m	C = 283 m
F = 350 m	

Los tipos de pupinización más comunmente usados son: H44, H88, 9135. Cabe mencionar que la pupinización tiene limitaciones en cuanto a la frecuencia, ya que no es posible diseñar circuitos pupinizados con frecuencia de corte mayor a 30 KHz, otra de sus desventajas es el hecho de que reduce la velocidad de propagación, con una fuerte pupinización, se producen retardos en el tiempo de propagación, lo suficientemente grandes como para producir efectos perturbadores en la transmisión a través de la línea telefónica.

En La figura 13 se muestra una bobina de pupin o bobina de carga como también se la conoce.

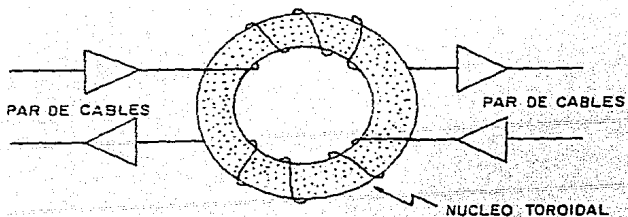


Figura 13. Bobina de pupinización o de carga.

4. SISTEMAS PAR - GANANCIA

4.1 Concentradores

Los sistemas concentradores son considerados como una etapa de abonado que puede estar ubicada local o remotamente y que toma su potencia de control de la central principal.

La principal función de la concentración es la de evitar el uso inmoderado de las líneas, sobre todo en zonas donde la densidad de llamadas es muy baja, esto puede entenderse mejor con el ejemplo que se menciona a continuación.

Si dos ciudades A y B, tienen n abonados cada una, los cuales se pueden llamar unos a otros, no necesariamente existen n canales de voz entre ambas ciudades. Puede hablarse tan sólo en una pequeña cantidad c de canales, ya que rara vez habrá más de c abonados que requieran hablar simultáneamente.

Los estudios estadísticos de tráfico telefónico muestran que aun en las horas de máximo tráfico, 100 abonados generan 10 llamadas telefónicas. En consecuencia, con un sistema remoto de conmutación, con capacidad del 10% será suficiente para satisfacer la demanda de las ciudades A y B.

El concentrador es precisamente el dispositivo que desempeña esta función y permite el ahorro de líneas físicas entre las dos ciudades, lo cual es muy significativo principalmente cuando las líneas son muy largas. Sin embargo, existe aun el inconveniente de que cuando un abonado desea establecer una comunicación en horas pico, no pueda hacerlo debido a que todas las líneas se encuentran ocupadas, lo cual difícilmente puede ocurrir, de acuerdo a los estudios estadísticos arriba mencionados.

4.2 Multicanalización

En los inicios de la telefonía, se requería una línea de transmisión para cada comunicación entre dos abonados. Sin embargo, con el rápido desarrollo y crecimiento de la telefonía, surge la necesidad de medios más eficientes para la utilización de las instalaciones ya existentes. Esta necesidad fue particularmente notoria en grandes áreas urbanas y en líneas de larga distancia, donde el enorme número de líneas abiertas y cables tenían que ser instalados para proporcionar suficientes canales de voz.

Esta condición llevó al desarrollo de una técnica, mediante la cual, un cierto número de señales de frecuencia vocal, pueden ser combinadas dentro de una señal compuesta y transmitidas sobre un solo canal de transmisión. Esta técnica fue llamada en un principio telefonía por portadora, pero más recientemente se le conoce como Multicanalización o Múltiplex.

El primer sistema de portadora, con una capacidad de cuatro canales telefónicos, inició su operación en los E.E.U.U. en 1918, sobre una línea abierta. Actualmente, los sistemas múltiplex

modernos pueden transportar hasta 2700 o más canales de voz, usando cable coaxial o microondas.

Las frecuencias de voz son transmitidas sobre canales telefónicos en el rango de 300 a 3400 Hz, por lo tanto, para transmitir un cierto número de esas señales, en forma simultánea y sobre el mismo medio de transmisión, las señales deben ser conducidas por separado para que no exista interferencia de unas con otras y puedan ser separadas en el lado receptor. Esto se puede realizar separando las señales una a una, ya sea en frecuencia o en tiempo. El proceso de separar las señales en frecuencia se conoce como Múltiplex por División de Frecuencia (FDM) y al proceso de separar las señales en el tiempo se le conoce como Múltiplex por División de Tiempo (TDM). El proceso de multicanalización se muestra en la figura 14.

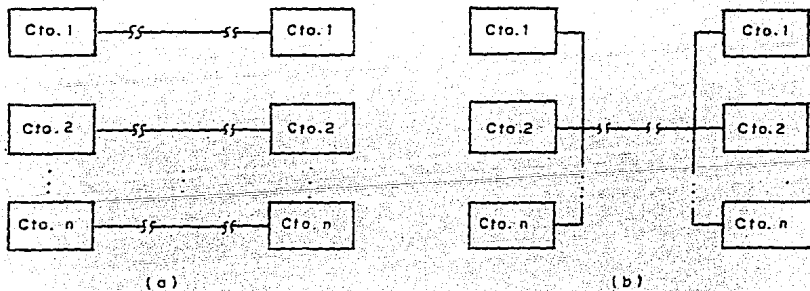


Figura 14. a) Transmisión por medios separados b) Transmisión por medio común o multicanalización.

5. MULTICANALIZACION

5.1 Múltiplex por división de frecuencia (FDM)

Suponiendo que deseamos transmitir N señales de voz, que pertenecen a N conversaciones telefónicas, cada una de las cuales genera un espectro de frecuencia de 0 a 3400 Hz como los mostrados en la figura 15, el modo de evitar el empleo de una línea para cada comunicación (N líneas), es trasladando los espectros de las diferentes señales a otras posiciones en el eje de las frecuencias de tal forma que los espectros no se superpongan al formar una sola señal. Lo anterior se puede lograr mediante la modulación, la cual permite la transmisión simultánea

de un gran número de señales por el mismo medio de transmisión.

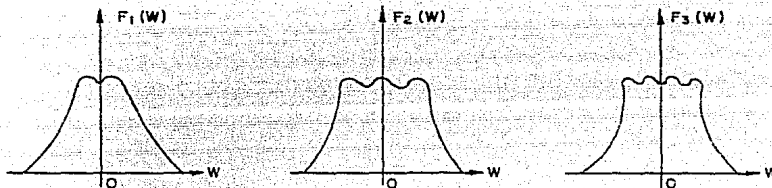


Figura 15. Espectro de frecuencia de cada una de las N señales que se desean transmitir simultáneamente.

Para el caso de las N señales, el espectro de cada señal se traslada a la posición adecuada para que no exista sobreposición entre ellos, haciendo que cada una de estas señales module a las portadoras w_1, w_2, \dots, w_n .

Las señales moduladas se mezclan para formar el espectro total de la figura 16. Puede observarse que dicho espectro es la combinación de los espectros individuales, que antes estaban centrados en cero, trasladados a las posiciones con centros en w_1, w_2, \dots, w_n . La señal resultante, conocida como señal multicanal, es la que se transmite por el mismo medio de transmisión y como puede observarse, ocupa un ancho de banda mayor.

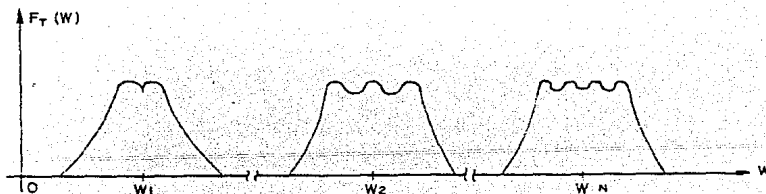


Figura 16. Espectro de una señal multicanal (múltiplex).

En el extremo receptor, los diferentes espectros son separados por filtros de paso de banda y las señales originales se obtienen mediante la demodulación.

La figura 17 muestra el principio del sistema FDM. Las dos terminales transmisoras/receptoras constituyen lo que se conoce como canal de onda portadora OP. Un sistema de onda portadora puede transmitir tantas conversaciones como canales contenga.

Con el fin de evitar oscilaciones dentro de un canal, la frecuencia de transmisión debe ser diferente a la frecuencia de recepción.

Los elementos básicos de cada canal son el oscilador o generador de portadora, el modulador y demodulador, los filtros de paso de banda y paso bajas y amplificadores tanto de transmisión como de recepción, así como las bobinas híbridas, que complementan la terminal de onda portadora.

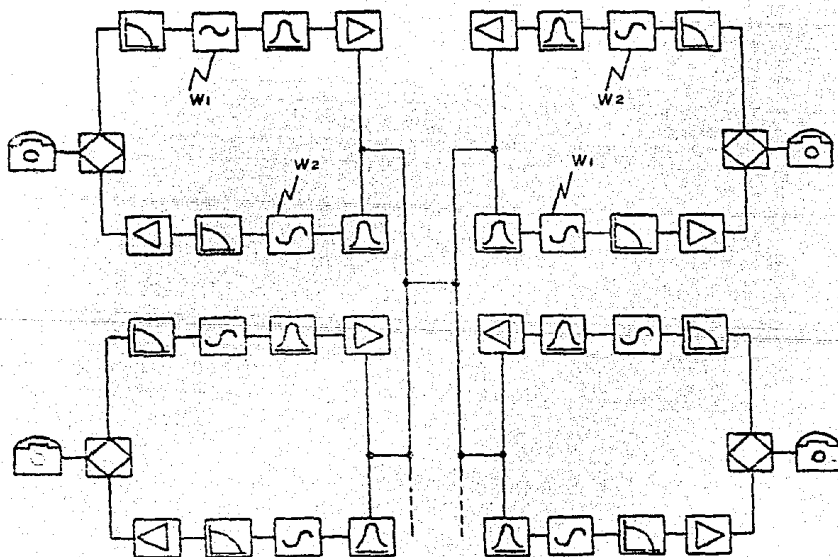


Figura 17. Principio de multicanalización FDM.

Los filtros de paso de banda que se emplean en las ramas de transmisión de cada canal se usan para suprimir una de las bandas laterales, ya que la técnica de transmisión de banda lateral única se ha normalizado para los sistemas FDM, la ventaja en esta técnica es el ahorro en el espectro de frecuencias.

5.2 Jerarquía FDM

Los sistemas de transmisión múltiple se clasifican en función de su capacidad, esto es, del número de canales que los constituyen, mientras mayor sea la capacidad de un sistema mayores serán las frecuencias que maneje.

Para la estandarización de los sistemas múltiple, se formuló un plan de modulación normal por grupos de canales, para lo cual, se normalizó en primer lugar, el espaciamiento entre portadoras de canal a 4 KHz, teniendo en cuenta que el ancho de banda de la señal de voz es de 300 a 3400 Hz, puede deducirse que existe una cierta banda de protección observando la figura 18, en la cual existen dos portadoras de canal (4 y 8 KHz), las que son moduladas por la banda de frecuencia vocal. Mediante filtros adecuados se seleccionan las bandas laterales inferiores. En la figura 18 se puede observar que existe una banda de separación de 900 Hz, la cual se conoce como banda de protección y que es necesaria, ya que los filtros que emplean para suprimir una de las bandas laterales no son ideales. Esta banda de protección impide que exista traslape entre canales ya que esto provocaría interferencias entre ellos.

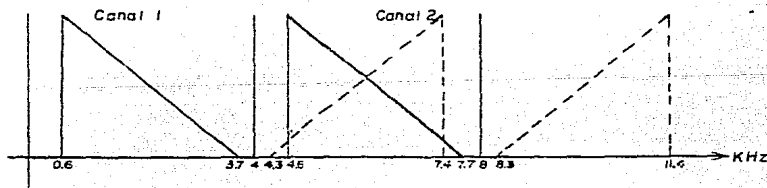


Figura 18. Banda de protección de los sistemas múltiple.

En los sistemas múltiple se tiene un plan básico de modulación, factible de utilizarse en sistemas de líneas aéreas, de cable múltiple y de banda ancha por cable coaxial. Los grupos normalizados para sistemas de línea aérea son de dos tipos, el Grupo Primario Básico A (GBA), de 12 canales, que opera en la banda de 12 a 60 KHz y el Grupo Primario Básico B, también de 12 canales, operando en la banda de 60 a 108 KHz. Estos grupos básicos se emplean como bloques de estructura para formar sistemas con mayor capacidad, realizando varias etapas de modulación.

Los sistemas con capacidad de hasta varios miles de canales, requieren de medios de transmisión de banda ancha, tales como el cable coaxial o las microondas. Por ejemplo, el cable múltiple de fabricación especial para transmisión de larga distancia, permite el empleo de sistemas de OP que manejan 60 canales, mientras que

el cable coaxial transmite señales en forma eficiente en el rango de 60 KHz a 60 MHz. lo que permite el empleo de sistemas con capacidad de hasta 1800 canales telefónicos en la banda de 4 a 60 MHz.

La banda del grupo primario básico B, de 60 a 108 KHz se ha adoptado como bloque de construcción para los sistemas de onda portadora de gran alcance, recomendado por el CCITT para usarse en los circuitos internacionales. Para sistemas de transmisión de banda ancha se ha establecido un Supergrupo estándar (SG) de 60 canales, es decir, 5 grupos básicos de 12 canales cada uno. El rango de frecuencias del supergrupo es de 312 a 552 KHz.

Cuando se requieren más canales, se ha establecido lo que se conoce como Grupo Maestro (GM) y Super Grupo Maestro (SGM), los cuales se forman con etapas de modulación adicionales. La tabla 1 nos muestra el número de canales y el ancho de banda que ocupan los SG, GM y SGM.

Canales	GB	SG	GM	SGM	BW
12	1	-	-	-	48 KHz
24	2	-	-	-	96 KHz
48	4	-	-	-	192 KHz
60	5	1	-	-	240 KHz
120	10	2	-	-	480 KHz
300	25	5	1	-	1.2 MHz
600	50	10	2	-	2.4 MHz
900	75	15	3	1	3.6 MHz
1800	150	30	6	2	7.2 MHz
2700	225	45	9	3	10.8 MHz
10800	900	180	36	10	60.0 MHz

Tabla 1. Formación de GB, SG, GM, Y SGM y su ancho de banda asociado.

Actualmente, el sistema con mayor capacidad esta formado por 12 SGM (10800 canales) en la banda de 60 MHz. En E.E.U.U., el grupo maestro esta formado por 10 SG, mientras que en Europa

frecuentemente se emplean 15 SG para formar un GM.

El esquema de la figura 19 nos muestra el plan de modulación para un sistema FDM de 600 canales.

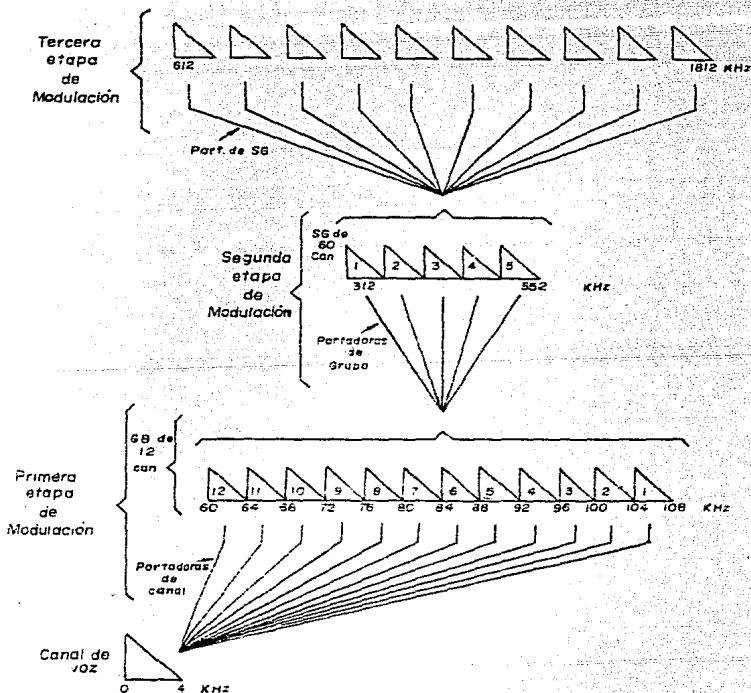


Figura 19. Plan de modulación para el múltiplex de 600 canales.

6. MEDIOS DE TRANSMISION DE BANDA ANCHA

La transmisión de señales multicanal de baja capacidad (de 3 a 12 canales) por medio de líneas físicas, se hizo posible gracias al desarrollo de las técnicas de multicanalización. Sin embargo,

debido a la creciente demanda se desarrollaron los sistemas de alta capacidad o de banda ancha, que transmiten a frecuencias muy elevadas tales como el cable coaxial, las microondas y los satélites.

6.1 El cable coaxial

El cable coaxial consiste de un conductor sólido, colocado dentro de un tubo que forma el conductor externo. Ambos tienen una relación concéntrica y están separados por medio de un material aislante, que puede ser plástico. Sin embargo, en los tipos de cable coaxial usados en las telecomunicaciones, se emplea el aire como dieléctrico, para lo cual el conductor interno se mantiene en posición concéntrica mediante discos distribuidos a intervalos regulares a lo largo del cable. La atenuación en el cable coaxial es menor que la de los cables multipar. Además, debido a que el cable coaxial tiene una menor pendiente de atenuación en función de la frecuencia, la banda de transmisión resulta mucho más amplia que la de los cables multipar. Mientras que el cable común y corriente generalmente puede conducir un máximo de 24 canales en múltiple, el cable coaxial tiene una capacidad de 500 canales o más, hasta llegar a una capacidad de 10800 canales de frecuencia vocal.

El cable coaxial proporciona una excelente protección contra las interferencias externas.

6.2 Microondas

Las microondas o sistemas de línea de vista, en las bandas de 150, 450 y 900 MHz tienen una capacidad de transmisión múltiple de 12 a 120 canales de frecuencia de voz (4 KHz) en una configuración FDM. Por encima de 2 GHz, los sistemas de microondas transmiten hasta 1800 y 2700 canales telefónicos. La modulación que generalmente se emplea en las microondas es la FM, aunque se han desarrollado también algunas formas de modulación digital. Las microondas de los sistemas de línea de vista viajan en línea directa y solamente están limitadas por el horizonte, debido a la curvatura de la tierra. La trayectoria de las microondas sobre varios kilómetros pueden sufrir desvanecimiento, esto es, una variación de la señal recibida.

En los sistemas de microondas, el desvanecimiento es provocado principalmente por los cambios atmosféricos y las reflexiones de la señal en la tierra y el agua durante su trayectoria.

Cuando se emplean frecuencias superiores a 10 GHz, la atenuación por precipitación también debe tomarse en cuenta. Las bandas de frecuencia más comunes en microondas son las de 2, 4, 6 y 7 GHz. Todas esas bandas generalmente portan hasta 1800 canales

de voz FDM, llegando a transmitir como se mencionó, hasta 2700 canales telefónicos.

6.3 Satélites

Los satélites geostacionarios pueden ser considerados como repetidores de radiofrecuencia para hasta 960 ó 1200 canales de voz, en configuración FDM. La banda de 6 GHz se transmite al satélite, el cual convierte y amplifica la señal recibida a la banda de 4 GHz. Ambas bandas están compartidas con los servicios de microondas terrestres, pero como las bandas de 4 y 6 GHz se están saturando, se han empleado también las bandas de 11 y 14 GHz, especialmente en las comunicaciones domésticas e intercontinentales.

7. DETERIORO DE LA TRANSMISION

Todos los medios de transmisión deterioran la señal, debido a las características tanto físicas como eléctricas del medio de transmisión, así como de las condiciones climatológicas. Este deterioro se presenta en forma de atenuación, interferencia, ruido, distorsión y eco. Estas deficiencias en la transmisión se han ido disminuyendo conforme al desarrollo de nuevas técnicas de transmisión.

7.1 Atenuación

La atenuación es un fenómeno en el que por múltiples causas, una señal eléctrica pierde parte de su potencia original al ser transmitida, figura 20.

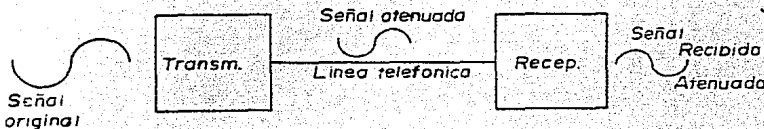


Figura 20. Fenómeno de atenuación de una señal.

La atenuación en una línea abierta se incrementa ligeramente con el aumento de la frecuencia en el rango de bajas frecuencias y llega a ser prácticamente constante en el rango superior de la banda de 10 KHz, figura 21. A frecuencias superiores de 10 KHz,

la atenuación se incrementa considerablemente (con la raíz cuadrada de la frecuencia). Por otra parte, las condiciones atmosféricas afectan considerablemente la atenuación en las líneas abiertas y en los enlaces de microondas.

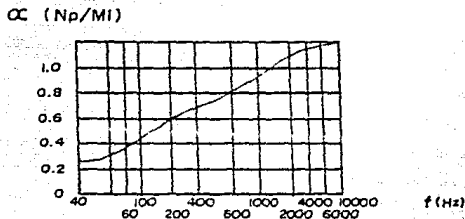


Figura 21. Atenuación en una línea aérea debida a la frecuencia.

7.2 Interferencia

Uno de los factores que influye notablemente en el deterioro de la transmisión y del cual depende la inteligibilidad de la conversación telefónica, es la interferencia. Se entiende por interferencia, cualquier conversación ajena al canal de voz que se está usando, que se mezcla en forma indeseable con la señal transmitida.

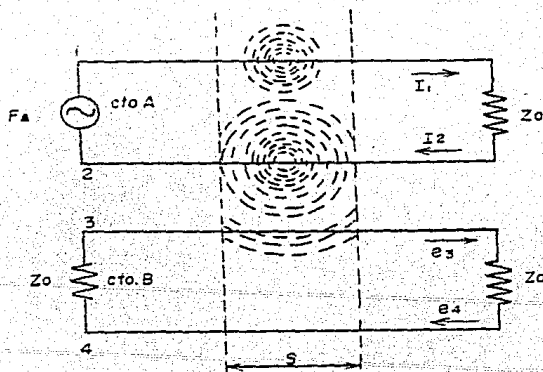


Figura 22. Fenómeno de diafonía.

La interferencia es conocida también con el nombre de diafonía la cual significa que un canal recoge parte de la señal que se mueve en otro. La diafonía puede aparecer entre pares de hilos que conducen señales separadas, en los canales múltiple, en los enlaces de microondas, cuando una antena capta una pequeña cantidad de la señal reflejada por otra antena, etc.

El término de diafonía se emplea generalmente para definir un acoplamiento inductivo o capacitivo entre dos o más circuitos. La figura 22 nos permite apreciar como la inducción magnética produce interferencia. En esta figura, se muestran los cuatro conductores de dos circuitos telefónicos paralelos a base de líneas aéreas típicas.

Cuando se le aplica un voltaje alterno al circuito perturbador A, el campo magnético que se establece en una sección S del circuito, en un cierto instante, origina la circulación de las corrientes I_1 e I_2 como se muestra en la figura. Como el conductor 3 se encuentra más cerca del circuito perturbador que el conductor 4, este último será cortado por un campo magnético de menor densidad y por lo tanto, existirán diferentes voltajes inducidos en los conductores 3 y 4.

Esta diferencia de voltajes inducidos origina la circulación de las corrientes de diafonía. Como e_3 es mayor que e_4 , existe un voltaje de desbalance $e_3 - e_4$ que hace circular una corriente i en el circuito perturbado B, lo que ocasiona una interferencia en esta señal debida a otra señal viajando por otro circuito.

La diafonía entre circuitos de conductores crecerá si se aumenta la longitud, la proximidad, la energía de la señal o la frecuencia de la misma.

7.3 Ruido

Sin duda, uno de los factores que más afectan a la transmisión es el ruido que existe en cierto grado en todos los enlaces de telecomunicaciones.

La forma más común de ruido, analizado en los sistemas de comunicaciones, es el ruido blanco conocido también como gaussiano ya que sus valores de amplitud tienen una distribución normal (gaussiana). Este tipo de ruido es fácil de analizar y encontrar, después de que surge como ruido térmico en todos los componentes eléctricos. Los sistemas de batería usados para alimentar a las redes de abonados son también buenas fuentes de este ruido.

Otras formas de ruido muy comunes en las redes telefónicas son el ruido de impulso y el ruido de cuantización. El ruido de impulso generalmente aparece como resultado de los transitorios de conmutación en las centrales electromecánicas.

Mientras que el ruido blanco es cuantificado en términos de potencia promedio, el ruido de impulso se mide en términos de impulso por segundo. El ruido de impulso es usualmente menos

dañino para la calidad de la voz que el ruido blanco.

7.4 Distorsión.

Otro de los problemas a que debe enfrentarse todo sistema de comunicaciones es la distorsión, la cual influye grandemente en el deterioro de la transmisión. Las principales causas de que exista distorsión en un sistema de comunicaciones son:

- a) La existencia de una relación no lineal entre la entrada y la salida para un ancho de banda dado.
- b) La transmisión no uniforme de las frecuencias manejadas por el sistema.
- c) El defasamiento no proporcional en dichas frecuencias.

Sin embargo, existen técnicas y dispositivos para reducir o eliminar la distorsión que se presenta en un sistema. Algunos de estos dispositivos son los ecualizadores, filtros, amplificadores no lineales y las redes compensadoras. Los principales tipos de distorsión que existen se pueden clasificar en:

Distorsión de Amplitud. Se presenta cuando la respuesta de amplitud no permanece constante con la frecuencia, esto es, las diferentes componentes espectrales de una señal no se reciben con la misma magnitud relativa a la del extremo transmisor.

Distorsión de Fase o de Retardo. Aparece cuando el cambio de fase no es una función lineal de la frecuencia, es decir, que la diferencia en el tiempo de propagación de las diferentes frecuencias de una banda provoca que algunas frecuencias lleguen antes que las demás de la banda.

Distorsión de Linealidad. Es una forma de distorsión que aparece en sistemas no lineales. Si este tipo de distorsión es considerable, entonces aparecen en la señal recibida componentes espectrales que no están presentes en la señal que entra al sistema. Existen dos tipos de distorsión no lineal, la distorsión armónica y la distorsión por intermodulación. La distorsión armónica sucede cuando a la salida aparecen múltiplos de la frecuencia de entrada, las cuales son llamadas frecuencias armónicas. La distorsión por intermodulación aparece con las sumas y restas de las armónicas de las frecuencias de entrada.

7.5 Eco

Quando existe un desacoplamiento de impedancias en un sistema de transmisión, se produce reflejo de energía. La energía puede regresar al transmisor o llegar al receptor algún tiempo después de que la señal original se ha transmitido o recibido. Esto da lugar al fenómeno de eco en el transmisor o en el

receptor, lo que resulta molesto. Este fenómeno se presenta con mayor frecuencia en los enlaces de cuatro hilos, debido a las bobinas híbridas. En los enlaces largos de cuatro hilos, el tiempo de propagación en las líneas puede ser lo suficientemente grande para producir un retardo considerable de la señal que se refleja con respecto a la señal original, produciendo perturbaciones de eco. El eco se produce si el retardo es mayor de 10 ms.

En el caso de grandes desbalances tanto en el extremo transmisor como en el receptor, se puede producir una larga cadena de ecos, como se muestra en la figura 23.

La primera corriente de eco que afecta al oyente por el desbalance del híbrido de la terminal transmisora, genera una segunda corriente de eco hacia el transmisor; así, esta serie puede continuarse indefinidamente. Si la pérdida total de la trayectoria de la corriente de eco, incluyendo la pérdida a través de ambos híbridos es mayor que la ganancia total de los repetidores, los ecos sucesivos se desvanecen rápidamente.

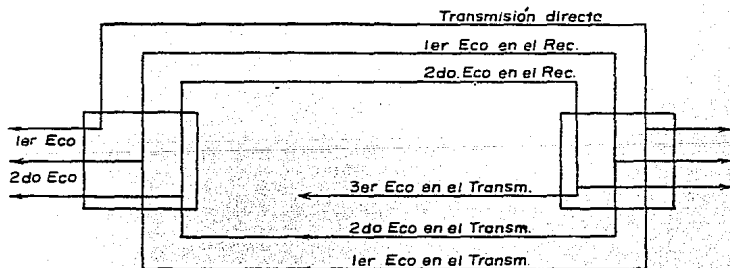


Figura 23. Trayectorias múltiples de eco en los circuitos de cuatro hilos.

El efecto interferente de estas trayectorias múltiples de eco, depende tanto del volumen del eco como del tiempo de retardo. Un volumen dado de eco produce un efecto perturbador mayor, a medida que el tiempo de retardo se incrementa y viceversa.

Cuando el retardo es muy grande, como en el caso de conexiones internacionales, el control de eco no se puede realizar en base al valor de la pérdida total de la trayectoria de transmisión, necesitando el empleo de supresores de eco. En la actualidad existen dos tipos de supresores de eco. Uno se emplea en sistemas terrestres donde el tiempo de propagación en un solo sentido es de hasta 50 ms y el otro, de diseño más

complicado, se emplea en conexiones intercontinentales muy largas o en conexiones vía satélite, con 270 ms de tiempo de propagación en un solo sentido. El método adecuado de utilizar un supresor de eco, es localizarlo tan cerca como sea posible de la fuente de eco y operarlo con las señales procedentes del extremo lejano. Cuando este detecta un impulso de voz que llega del extremo distante, su diseño permite insertar una pérdida alta en la trayectoria de retorno para suprimir el eco que se produce.

8. NIVELES DE POTENCIA

Cuando se desea expresar una cantidad de potencia que se transmite a través de un circuito telefónico, se emplea el término de nivel.

Debido a que las cantidades de potencia que se manejan en los circuitos telefónicos son muy pequeñas, es conveniente llevar un control de los niveles en varios puntos del circuito.

Por otro lado, dado que un circuito telefónico tiene ganancias positivas y negativas, es necesario establecer un punto o nivel con respecto al cual se midan dichas ganancias. Por lo general, en los sistemas telefónicos se toma la entrada del circuito como punto de referencia, este punto recibe al nombre de Punto Cero de Referencia PCR. Así, cuando se expresan las ganancias de un sistema en dB con respecto al punto cero de referencia, se obtienen los niveles relativos del sistema.

El término dBm también se emplea para expresar los niveles relativos de un circuito. En este caso, se toma como referencia un valor específico de potencia (1mW). Es por esto que cuando se utiliza este término, hablamos no de diferentes niveles relativos sino de potencias en los diferentes puntos del circuito.

El punto de referencia no siempre es 1mW, pueden serlo también 1 W, 1 μW, 1mV, etc., en cuyo caso tendríamos dBw, dBμw, dBmv, dBμv, etcetera, podemos decir que se puede tomar cualquier valor como referencia, respetando siempre el nivel de entrada.

Por otro lado, si se conocen los niveles relativos de un sistema, así como la potencia (en dBm) de la señal en el PCR, entonces se puede encontrar la potencia en dBm de la señal en cualquier punto del circuito. Por ejemplo, si la potencia de la señal en el PCR es de 5 dBm, entonces en un punto con nivel relativo de 10 dBr, la potencia de la señal será 15 dBm, como se muestra en la figura 24.

El concepto de nivel relativo también es muy útil para referir, con respecto a la entrada, las potencias que se observan en un circuito. Si en un punto con nivel relativo de -10 dBr se observa la señal con potencia de 10 dBm, entonces esto corresponde a una potencia de 20 dBm en el PCR. Cuando la potencia se refiere al PCR en la forma anterior, la unidad que se emplea es el dBm0. Por lo tanto, decimos que en el punto anterior existen +20 dBm0, es decir:

$$dBm = dBmO + dBr$$

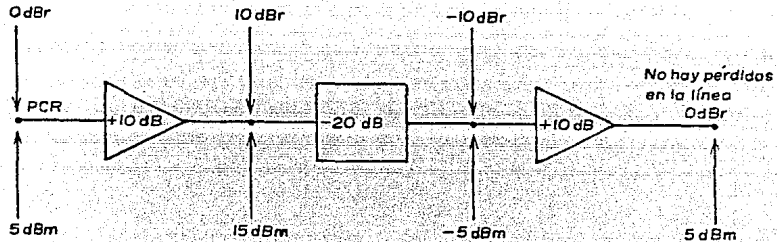


Figura 24. Conceptos de dBr y dBm.

En circuitos internacionales, los niveles relativos se definen a la frecuencia de medición de 800 Hz aunque también se emplea en forma extensa la de 1000 Hz.

9. SEÑALIZACION

Uno de los principales elementos de la telefonía lo es, sin duda, la señalización, ya que mediante la señalización se realiza todo el proceso de generación y manejo de información, necesaria para el establecimiento de conexiones en el sistema telefónico. En otras palabras, se necesita información con respecto a la generación, transmisión, reconocimiento e interpretación de señales, para poder realizar una conexión o desconexión específica, a través del sistema de conmutación.

En forma general, se pueden establecer dos tipos de señalización en una red telefónica: interna y externa. La primera se refiere al manejo de información dentro de un sistema de conmutación, con el objeto de enlazar a dos abonados que se encuentran conectados al mismo sistema. Este tipo de señalización se realiza en base a corriente directa, que es con la que se realizan todas las funciones de conmutación.

Por otra parte, la señalización externa se refiere al manejo de información en sistemas de conmutación separados. La señalización externa se puede dividir en señalización a c.d. y señalización a c.a. En la figura 25 se muestran los diferentes tipos de señalización que se manejan en una comunicación telefónica, tanto señalización interna como señalización externa.

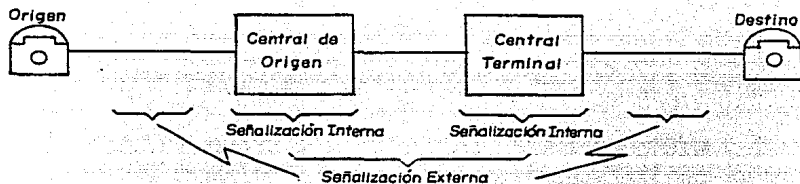


Figura 25. Señalización interna y externa.

9.1 Señalización de abonado

La señalización de abonado, es el conjunto de señales que se manejan en la línea de abonado y que tienen por objeto ocupar, supervisar y liberar dichas líneas. Existen tres grupos de estas señales:

- a) Señales de información, tales como el tono de ocupado y el tono de llamada, están constituidos por tonos en el rango de frecuencia vocal.
- b) Señales de control (información numérica). Es la información que se requiere para completar la conexión. El disco dactilar genera este tipo de señales mediante la interrupción del flujo de c.d. y el teclado genera tonos monofrecuentes.
- c) Señales de supervisión. Este tipo de señales generalmente son peticiones de servicio, tales como la petición de conexión (microteléfono descolgado) y la petición de desconexión o liberación de línea (microteléfono colgado). Para este tipo de señalización, se abastece c.d. desde la central, sobre la línea de abonado.

Las señales de supervisión que se generan mediante la acción del gancho del microteléfono, indican a la central que el abonado desea originar, contestar o desconectar una llamada. Este dispositivo de señalización de dos estados está diseñado para indicar cuatro condiciones posibles:

1. Estado normal o de reposo. Existe cuando el microteléfono está colgado sin estar conectado a una trayectoria de voz en la central.
2. Estado llamante. Se indica mediante la señal de ocupación de línea (descolgado), sin la conexión de una trayectoria

- entre la central y el teléfono.
3. Estado de conversación. Es una condición de descolgado pero con una trayectoria de voz entre el teléfono y la central.
 4. Desconexión o liberación. Se indica mediante la señal de colgado, cuando se encuentra conectada al teléfono la trayectoria de voz desde la central.

Las señales de supervisión se originan antes y después de que se ha establecido la conversación. La corriente que se establece en la línea de abonado (c.d.), se emplea como señal de supervisión, así como para alimentar al micrófono del teléfono transmisor.

9.2 Señalización entre centrales

Como se dijo anteriormente, la señalización entre centrales es del tipo externo que puede manejarse en base a c.d. o c.a. La señalización a c.d. se aplica en redes urbanas, entre centrales locales y en algunas troncales interurbanas de corto alcance, mientras que la señalización a c.a. se emplea principalmente en troncales interurbanas y cuando no es posible aplicar señalización a c.d.

En general, la señalización a c.d. se divide en dos clases, la señalización en circuito y la señalización E y M (de recepción y transmisión).

La señalización en circuito se emplea más generalmente en troncales urbanas. Las señales de control y de supervisión se generan interrumpiendo el flujo de corriente, cambiando su valor o invirtiendo su sentido. Uno de los métodos más usuales de señalización en circuito es el de inversión de batería.

La señalización por inversión de batería se emplea muy frecuentemente en los sistemas de conmutación electromecánica. Mediante este método de señalización, se realizan la supervisión y el control de las líneas troncales entre centrales urbanas.

Si una troncal urbana está libre, existe polaridad en uno de sus conductores, en las centrales de coordenadas y de paso a paso, uno de los conductores tiene potencial y el otro está aterrizado. La polaridad se crea durante el proceso de la llamada. El estado de batería y tierra de la línea troncal le indican a la central de origen que el teléfono del abonado llamado se encuentra sonando y el microteléfono colgado. Cuando el abonado contesta, la señal de descolgado que resulta, provoca que el equipo de la central terminal invierta el potencial de batería de la línea troncal hacia la central de origen. Esto representa para la central de origen la indicación de que el abonado llamado ha contestado, con lo que el equipo de conmutación complementa la trayectoria de voz. Si en la central de origen se realiza el cobro de la llamada, la supervisión de respuesta de inversión de batería opera circuitos para el

registro de la llamada o para operar el contador del abonado que llama.

Por otra parte, la señalización E y M tiene aplicación en troncales urbanas de L.D., así como en troncales interurbanas de corto alcance. Para la implementación de este tipo de señalización se necesitan dispositivos de señalización independientes en el extremo de cada línea troncal y los conductores que unen a este equipo con el circuito troncal se llaman E y M.

La señalización E y M se puede emplear en los métodos de señalización a c.d. y a c.a., con diferentes arreglos de terminal para ambas clases. Entre los sistemas de señalización a c.d. de uso común se encuentran los sistemas dúplex, simplex y el compuesto.

La señalización E y M se emplea con los métodos a c.a. de frecuencia única (FU) de los sistemas dentro y fuera de banda. En todos estos sistemas, las señales se pueden enviar en ambas direcciones y al mismo tiempo, sin que se interfieran entre sí.

En el método de señalización E y M, la terminal E es el conductor de recepción de señal que refleja la situación del extremo lejano de la troncal. Cuando la terminal E está aterrizada, se debe a que se recibe una señal desde el otro extremo. Cuando la central está libre, existe la condición de cero señal, se dice entonces que la terminal E está abierta o no aterrizada. La terminal M transmite la situación en el extremo cercano de la troncal. Se aterriza cuando la central está libre o siempre que el teléfono del abonado del extremo cercano está colgado, en cuyo caso no se emplea señal. Cuando se ocupa la troncal o el abonado llamado levanta su microteléfono, el potencial de batería se sustituye por tierra en la terminal M, transmitiendo la señal hacia el otro extremo de la troncal.

La aplicación de los sistemas de señalización a c.a. que emplean frecuencias en el rango de voz, se conocen como sistemas de señalización dentro de banda. En estos sistemas se emplea una misma trayectoria para la información de voz y de señalización, por lo que se debe evitar la interferencia mutua.

La señalización fuera de banda emplea frecuencias fuera de la banda de frecuencia vocal, generalmente el rango de frecuencias de este tipo de señalización es de 3400 a 3700 Hz, con lo cual se evita la interferencia de voz. Además, permite el empleo de niveles más altos de tonos.

El tipo de señalización dentro de banda más usado es el monofrecuente o de frecuencia única (FU), que utiliza la frecuencia de 2600 Hz en ambas direcciones, para troncales que operan a base de cuatro hilos. Para la operación a dos hilos, se emplean dos frecuencias, 2600 Hz en una dirección y 2400 Hz en la dirección opuesta, ya que en este caso sólo hay una trayectoria de transmisión. Las señales de c.d. que se reciben del equipo troncal, se convierten a tonos de 2600 Hz para su transmisión sobre el canal de voz, regresándose a señales de c.d. en el

extremo distante.

La principal aplicación de la señalización fuera de banda se encuentra en los enlaces troncales interurbanos de corto alcance. La principal característica de estos sistemas es que emplean frecuencias de señalización adyacentes pero fuera de la banda de voz. Las frecuencias de uso más comunes son: 3400, 3550 y 3700 Hz.

Las principales ventajas de la señalización fuera de banda consisten en la ausencia de interferencia de voz y en su habilidad para emplear niveles más altos de señal, lo que permite mejorar la seguridad de la señalización.

Otro tipo de señalización es la señalización de línea, cuya principal función es la de supervisar la conexión entre centrales. La señalización de línea es una combinación del sistema monofrecuente y la señalización a c.d. El circuito de troncal de la central, genera información de señalización en base a c.d. que se entrega al equipo de OP, en donde se convierte a señales de c.a. para manejar señales de una sola frecuencia, de duración variable que se transmiten hacia el circuito troncal distante. En este extremo, la señal monofrecuente de duración variable regresa a su forma de pulsos de c.d., con la que el circuito troncal realiza las funciones de señalización subsiguientes hacia el equipo de conmutación.

Las señales de c.d. que se generan en el otro circuito troncal para la señalización de línea, son de tres tipos, los cuales se diferencian por su duración. Las troncales emiten estas señales hacia adelante o hacia atrás y según recomendaciones del CCITT, son de la siguiente duración:

Pulso corto	150 ms + 20%
Pulso largo	600 ms + 20%
Señal continua	1000 ms (para bloqueo)

El intervalo de tiempo entre dos señales que se envían en la misma dirección por la misma troncal debe ser al menos de 330 ms.

En base a estos dos elementos, se establece un código de señalización de línea, con el cual se obtienen las siguientes señales:

- Señal de toma. Consiste de un elemento de señal corta e indica el inicio de la operación en la central distante.
- Señal de liberación forzada. Consiste de un elemento de señal largo. Al recibirse en el extremo de salida, se inicia la señalización de liberación hacia adelante.
- Señal de respuesta. Consiste de un pulso corto y se envía hacia la central de origen para indicar que el abonado llamado ha levantado su microteléfono. La función de esta señal es de supervisión o de inicio de cobro.
- Señal de liberación hacia atrás. Consiste de un elemento

de señal largo y su función es la supervisión, se envía para indicar que el abonado llamado ha colgado. Esta señal inicia la temporización para la liberación del equipo que quedó retenido en la central de origen.

- e) Señal de liberación hacia adelante. Consiste de un pulso corto y se envía cuando la llamada termina, con el objeto de liberar la conexión. El envío de esta señal inicia en la troncal de salida una temporización de 5 a 10 segundos, durante la cual se debe recibir desde la otra terminal de la línea la señal de liberación de guardia.
- f) Señal de liberación de guardia. Consiste de un elemento de señal largo y su función es indicar que se ha realizado la liberación de la conexión en el extremo de entrada del circuito.
- g) Señal de bloqueo. Consiste de una señal continua que se envía desde la troncal de entrada para bloquear la troncal de salida en el otro extremo del circuito. La troncal de salida se libera tan pronto como la señal de bloqueo cesa.
- h) Señales de medición. Consisten de un elemento corto que se conoce como pulso de medición. Estas señales son enviadas durante la conversación y su finalidad es determinar la cuota a pagar.

Existe otro método de señalización conocido como señalización multifrecuencial MFC. Este tipo de señalización se emplea en troncales urbanas e interurbanas para la transmisión de información numérica o de selección. En los sistemas de señalización anteriores, la información numérica se envía mediante el método secuencial de marcar los dígitos del número llamado. El equipo asociado con las terminales E y M de la señalización FU maneja los pulsos de selección con una velocidad aproximada de 8 a 12 pulsos por segundo. Como cada dígito requiere de 1 a 10 pulsos, así como pausas entre dígitos, el tiempo que se necesita para transmitir el número llamado es considerable. Las llamadas urbanas pueden requerir solamente la transmisión de cuatro dígitos, las llamadas tandem o interurbanas de corto alcance requieren el envío de 7 dígitos, en tanto que las llamadas interurbanas pueden requerir 10 dígitos si salen del área local, es por esto que se requieren métodos de señalización rápidos, para la transmisión de información numérica entre centrales. El sistema MFC satisface este requisito y se efectúa con frecuencias en el rango de voz. El sistema transmite los dígitos en combinaciones de 2 a 6 frecuencias, 10 combinaciones para los dígitos del 1 al 10 y 5 para señales adicionales.

La velocidad de transmisión promedio de las cifras es de por lo menos 5 dígitos por segundo. Los dígitos se envían bajo el control del equipo receptor por medio de señales de control. En la tabla 2a se ilustran las señales numéricas.

Hz						No. de señal	signifi- cado	Clasificación de las señales
1380	1500	1620	1740	1860	1980			
X	X					1	dig 1	Llamada de op.
X		X				2	2	Llamada de ab.
	X	X				3	3	
X			X			4	4	
	X		X			5	5	
		X	X			6	6	
X				X		7	7	
	X			X		8	8	
		X		X		9	9	
			X	X		10	0	
X					X	11		
	X				X	12		
		X			X	13		
			X		X	14		
				X	X	15		

Fin del num. A

(a)

Hz				No. de señal	Señales A	Señales B
1140	1020	900	780			
X	X			1	Enviar sig. dig.	Abonado libre
X		X		2	Enviar 1er. dig.	Abonado ocupado
	X	X		3	Cambio de señ. B	Intercepción
X			X	4	Congestión	Congestión
	X		X	5		Abonado libre
		X	X	6	Identificación	Número ocupado

(b)

Tabla 2. Señales (a) numéricas, (b) de control.

Se emplean dos tipos de señales de control, las que establecen la conexión con la línea llamada y las que se emplean para indicar el estado de la línea, tabla 2b. El primer tipo se conoce como señales A y el segundo como señales B. Se emplean las mismas frecuencias para ambos tipos de señales.

9.3 Señalización por canal común

En la sección anterior, todos los sistemas de señalización están asociados a los canales de voz, esto es, cada canal de voz lleva consigo su propia señalización de supervisión y registro.

Se ha desarrollado otro método de señalización llamada de canal común (SCC) o sistema de señalización No. 6 del CCITT, en este sistema se separa la información de señalización de la

trayectoria de voz, ordenando la señalización de uno o varios grupos en una sola trayectoria individual y separada, dedicada únicamente a la señalización. La información de la señalización se transmite por medio de datos binarios.

La diferencia básica entre la señalización convencional asociada al canal y la SCC se muestra en la figura 26, en la que se puede observar que la señalización de canal común solo se puede llevar a cabo entre centrales controladas por procesador, más comúnmente conocidas como centrales de programa de control almacenado (SPC). La señalización de canal común en la red telefónica es esencialmente digital para la línea y entre registros.

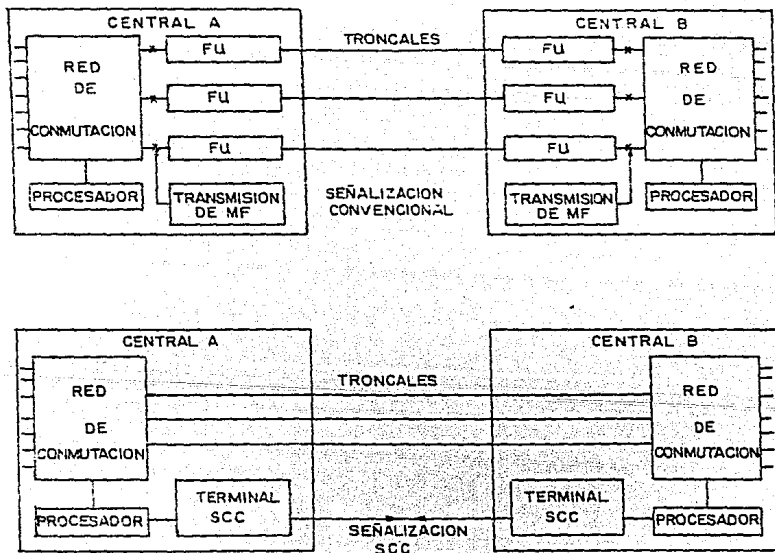


Figura 26. Comparación de las técnicas de señalización convencional y de canal común.

La figura 27 ilustra los componentes básicos de la SCC. Generalmente, un enlace con SCC consiste de un canal de frecuencia de voz a cuatro hilos, dos terminales y dos modems.

Las terminales de señalización almacenan la información que llega en espera de ser procesada y envían la información de señalización que esperaba ser transmitida.

Con la señalización convencional, la trayectoria de señalización y la de voz ocupan el mismo medio. Puesto que los sistemas con SCC no transmiten la señalización sobre las troncales de voz, se efectúa una prueba de continuidad de los circuitos telefónicos mientras se establece la comunicación, con ayuda de un equipo común de prueba.

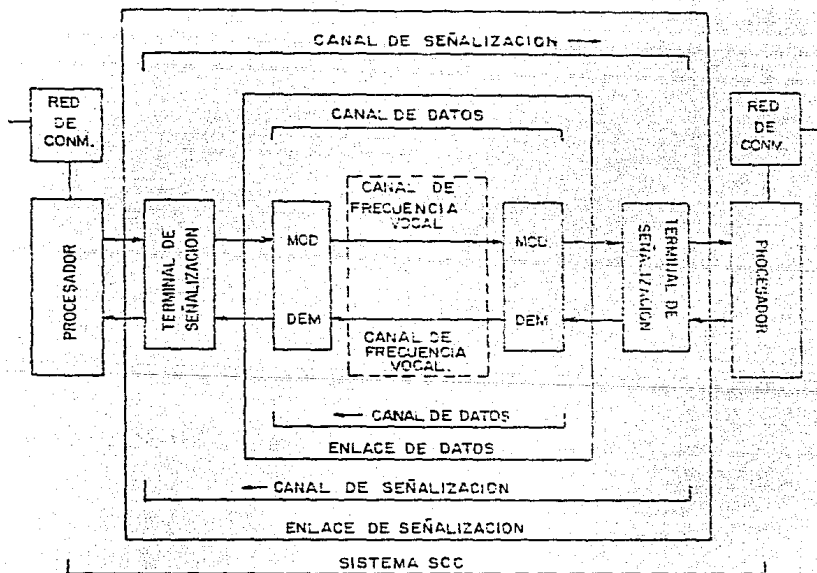


Figura 27. Componentes básicos de un sistema de señalización por canal común (SCC).

Como mencionamos anteriormente, en la SCC la información de señalización se transmite mediante datos binarios en serie. La palabra (dato) básica de señalización en los sistemas SCC se llama unidad de señalización (US). Una unidad de señalización tiene una longitud de 26 bits, de los cuales los primeros 20 contienen la información de señalización y los 6 restantes son para el chequeo de errores. Los mensajes que consisten de una sola unidad se denominan mensajes simples. El formato de este

unidad puede verse en la figura 28. Como se muestra, la "etiqueta" (identificación del circuito telefónico al que se refiere el mensaje) ocupa 11 de los 20 bits de información. Con el fin de aprovechar mejor la capacidad de información, pueden formarse mensajes múltiples, con una sola etiqueta por cada mensaje múltiple. Esto se hace cuando hay que enviar una gran cantidad de información sobre la misma llamada, la figura 29 es un ejemplo de un mensaje múltiple.

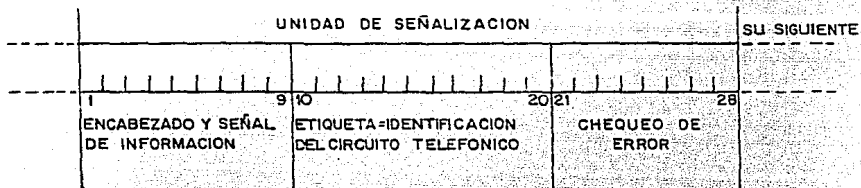


Figura 28. Formato de la unidad básica de señalización por canal común.



Figura 29. Mensaje múltiple con una sola etiqueta.

Los mensajes múltiples contienen una unidad indicadora llamada "unidad inicial de señalización" (UIS), la cual indica que inmediatamente a esta siguen una o más unidades de señalización. Para el establecimiento de una comunicación, siempre se envía un mensaje múltiple inicial de dirección que consta de tres unidades por lo menos.

10. INTERFACES

10.1 Batería

Los sistemas telefónicos, como todo sistema eléctrico y electrónico, requieren de un voltaje de alimentación para su funcionamiento. Los voltajes empleados en telefonía son pequeños, comparados con la alimentación pública.

Muchos aparatos de comunicación, como los transmisores y receptores telefónicos, están diseñados para operar con c.d., sin embargo, la alimentación con la que se cuenta es de c.a., por lo que la rectificación es una de las funciones más importantes dentro de estos sistemas.

En México la alimentación pública tiene una frecuencia de 60 Hz, pero para propósitos de señalización la corriente con la cual suena el timbre telefónico es de una frecuencia de 20 Hz, además de existir otras frecuencias de uso común, tales como los tonos de ocupado y de marcado, los cuales son del orden de 600 Hz, modulados por una frecuencia de aproximadamente 120 Hz.

Dentro de la telefonía, existen dos clases de sistemas de alimentación, el común o centralizado y el descentralizado.

Después de la introducción de las baterías recargables y el tablero conmutador de batería común en 1939, la central eléctrica centralizada ha tenido problemas para ser construida dentro de los tableros de conmutación. La figura 30a muestra el diagrama de bloques de un sistema eléctrico centralizado. Con el advenimiento de los diodos rectificadores así como el uso de los capacitores como filtros de ruido, esto se ha tornado más económico y realizable en muchas aplicaciones al aplicar dichos componentes a los equipos de comunicaciones. Una de estas aplicaciones la constituye precisamente el sistema eléctrico centralizado.

Para proporcionar una firme alimentación, es necesario introducir conmutación en la fuente de c.a., como se muestra en la figura 30b. Esto se lleva a cabo con la continuidad proporcionada por las baterías mostradas en la misma figura. Esto ha originado que se continúe con los sistemas de alimentación de c.d. centralizados, con sus baterías en paralelo.

La introducción del transistor, el cual es capaz de operar con bajos niveles de voltaje de c.d., también influyó en la prolongación del uso de los sistemas eléctricos centralizados.

Los sistemas de comunicación deben contar con alimentación de c.a. y c.d. para realizar un trabajo eficiente. Las centrales eléctricas de c.d. se pueden clasificar de una manera arbitraria como sigue:

Clase A. Son las de bajo voltaje, considerando a este como un valor máximo de 150 volts. Existen dos voltajes de uso común en la clase A de bajo voltaje, 24 y 48 volts. Las centrales eléctricas de 24 volts tienen aplicación en el abastecimiento de los circuitos de transistores y en conmutadores manuales. Las fuentes de 48 volts abastecen a las centrales de conmutación automáticas de toda clase, excepto las de tipo electrónico.

Clase B. De voltaje intermedio.

Clase C. De alto voltaje.

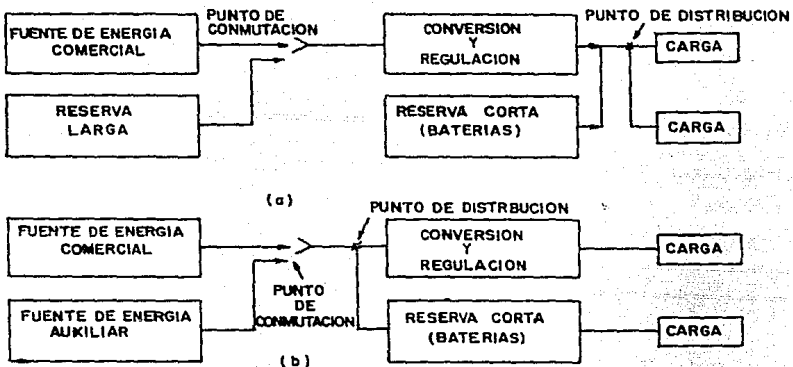


Figura 30. Sistemas de alimentación (a) centralizada, (b) descentralizada.

Por otro lado, las centrales eléctricas de c.a. son las que proporcionan las frecuencias empleadas en la señalización, supervisión, etc. Por ejemplo, existe energía eléctrica de c.a. que hace operar el timbre telefónico, así como los suministros de c.a. a los interruptores que controlan a los tonos audibles.

10.2 Protección

En telefonía, la protección es una de las condiciones que más importancia tienen, ya que debe protegerse tanto al personal como al equipo empleado. Uno de los principales peligros para las conexiones telefónicas lo constituyen las líneas de transmisión trifásicas, las que pueden provocar sobrevoltajes y cortocircuitos. Esta protección debe proporcionar al mismo tiempo una trayectoria eficiente para las frecuencias portadoras o bandas de frecuencia que son transmitidas. Un circuito de portadora puede ser acoplado ya sea de fase a fase o de fase a tierra.

El principal método de protección en este caso, lo constituyen los capacitores de acoplamiento, los cuales presentan una impedancia reactiva muy elevada a bajas frecuencias pero nominal a frecuencias de portadora, este capacitor se conecta directamente al conductor de la línea de transmisión y en caso de acoplamientos de fase a fase se requieren dos capacitores.

El rango de voltajes de un capacitor de acoplamiento es el

voltaje nominal entre fases de la línea de transmisión sobre la cual será empleado. El capacitor debe resistir impulsos de alto voltaje causados por chispazos y algunas veces está sujeto a sobrevoltajes por períodos largos de tiempo.

Algunas formas de protección deben estar presentes en la parte baja de la batería o en la terminal de bajo potencial del capacitor de acoplamiento.

10.3 Llamada

Uno de los circuitos más importantes del sistema de abonado, es el de llamada.

Cuando el abonado llama a la central terminal, convierte la cifra elegida en pulsos, usando la corriente continua de las baterías de la central terminal, figura 31. Cuando el abonado levanta su microteléfono, dejando libre el gancho G, circula una corriente en el circuito formado por el relevador de llamada A, la línea L, el micrófono M y el transformador T del aparato telefónico.

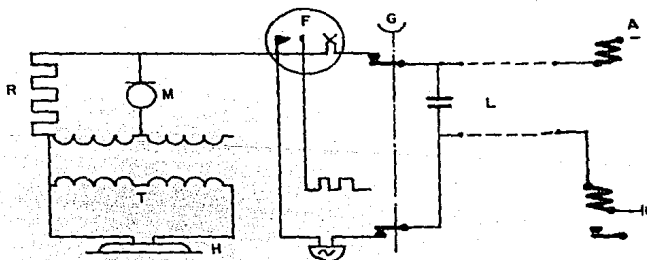


Figura 31. Circuito de llamada del abonado.

El relevador A actúa y pone en funcionamiento a la central, recibiendo el abonado el tono de llamada. Por medio del disco dactilar F se envían los pulsos de marcado a la central. La circulación de corriente en el circuito se interrumpe al compás de los pulsos del disco de marcado y al mismo tiempo se cortocircuita el aparato del abonado, para evitar ruidos molestos en el receptor.

Desde el punto de vista del equipo de señalización, se permite una resistencia máxima de 10 a 20 Kohms como mínimo

10.4 Supervisión

La supervisión está generalmente asociada con la información empleada para indicar las condiciones de ocupado/desocupado. La supervisión puede ser de tipo analógico o digital, aquí solo se tratará la supervisión analógica.

La supervisión analógica puede usar señales de c.d. o c.a., en el primero de los casos, la señal de supervisión se envía como una baja frecuencia, ya sea dentro o fuera de banda. La supervisión dentro de banda es más frecuente para los sistemas de comunicación de voz y datos, mientras que la supervisión fuera de banda tiene una mayor utilidad en sistemas de control.

El mayor problema encontrado en la supervisión a frecuencia vocal (dentro de banda) es la posibilidad de detectar falsamente una señal de voz, confundiéndola con una de supervisión. Como la señal de voz está en su mayor parte concentrada en el rango de 400 a 800 Hz, una frecuencia mayor a estas, como la de 2600 Hz es aceptable para la supervisión dentro de banda. Sin embargo, como esta última es fija y no suficiente para la inmunidad con respecto a la voz, ya que los detectores están aun sujetos a falsear su propia respuesta debido a las armónicas de las fuertes señales de baja frecuencia, generalmente se divide el canal en una banda estrecha centrada alrededor de la frecuencia de supervisión y una banda de resguardo que contiene todas las otras frecuencias vocales, tal y como se muestra en la figura 32. Como las corrientes de voz producen voltajes en las bandas de resguardo y supervisión, esta puede ser detectada cuando la salida de la banda de supervisión es mucho mayor que la salida de la la banda de resguardo.

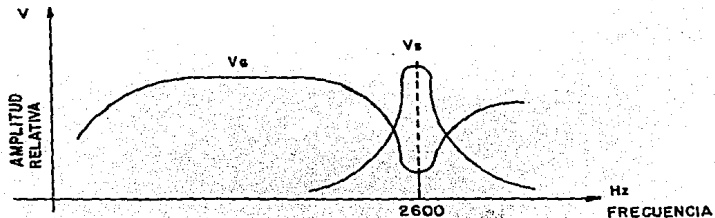


Figura 32. Bandas de supervisión y de resguardo

La supervisión de c.d. es más factible que la c.a., ya que puede ser amplificada más fácilmente. Es también más compatible con los dispositivos de modulación necesarios en los diferentes

medios de transmisión. Por otra parte, es un método rápido de supervisión y su velocidad está limitada por el ancho de banda del circuito de línea o troncal

10.5 Pruebas

La ingeniería de transmisión está aunada a las pruebas de transmisión. Estas son adecuadas para probar los diseños de transmisión pero sin llegar a ser más complicadas o caras que lo necesario. Las pruebas de uso más común en la telefonía son:

- a) Pruebas preliminares. Estas pruebas se realizan en forma individual a todos los equipos, antes de ser conectados a una línea o troncal. Generalmente, las pruebas de este tipo son de transmisión y se realizan antes de llevar a cabo la transmisión completa, con el fin de ahorrar tiempo en la detección de fallas y de prevenir malos ajustes de los componentes de los circuitos, cuando los ajustes finales se realizan. Algunas de las pruebas preliminares son las siguientes:
 - a.1. Calibración de equipos de prueba. Consiste en la calibración de todos los equipos de prueba para evitar al máximo los errores.
 - a.2. Pruebas de c.d. en pares de cable. La finalidad de estas pruebas es checar los cables en corto circuito, circuito abierto y aterrizados.
 - a.3. Alineación de sistemas múltiple y pruebas de transmisión. Se llevan a cabo tan pronto como las líneas de alta frecuencia están disponibles para iniciar el servicio.
 - a.4. Pruebas de equipo de señalización. Este tipo de pruebas es primordial en la sintonización del circuito y para llevar a cabo las pruebas de transmisión.

Existen algunas otras pruebas preliminares que sirven también para checar el estado del equipo que interviene en la transmisión como los supresores de eco, los repetidores, etc.

- b) Pruebas sobre la transmisión completa. Son mediciones hechas en troncales o líneas, de principio a fin, con el objeto de realizar los ajustes finales y satisfacer los requerimientos. Cuando las troncales o líneas son instaladas sin redes igualadoras (ecualización) las mediciones de pérdidas se hacen a 1000 Hz en ambas direcciones. Estas pruebas también se pueden hacer a otras frecuencias, con el objeto de asegurar que el circuito no tiene una característica de frecuencia-atenuación muy mala. El ruido del circuito y el ruido de impulso se pueden medir en todos los circuitos. Cuando las mediciones realizadas están dentro

de los objetivos, los circuitos se consideran satisfactorios. Si están dentro de los límites de mantenimiento, los circuitos pueden ser usados para servicio pero se necesita un trabajo mayor para localizar las fuentes de ruido y mejorar sus niveles. Si la medición de ruido no está dentro de los límites de mantenimiento, el circuito no puede ser puesto en servicio hasta que la falla sea localizada.

c) Pruebas de rutina. Son mediciones repetitivas que sirven para determinar si los circuitos permanecen dentro de los límites de mantenimiento. Estas pruebas pueden ser hechas cada tres meses o menos. Las pruebas de ruido de impulso son realizadas a intervalos menores de tiempo. Las pruebas de equalización necesitan realizarse a intervalos infrecuentes de tiempo, con la finalidad de detectar cambios no reportados en los equipos así como errores humanos.

d) Pruebas de localización de falla. Son procedimientos encaminados a la detección de circuitos en mal estado. Las investigaciones de la falla son realizadas sobre los reportes de la misma así como sobre pruebas de rutina y alarmas. Frecuentemente el reporte de la falla o prueba de rutina pueden revelar la fuente de la falla. Cuando la falla es difícil de detectar, el circuito puede ser seccionado en varias partes hasta su localización.

11. SERVICIOS ESPECIALES

11.1 Transmisión de datos

Al transmitir datos de tipo digital a través de la red telefónica analógica, surgen muchos y complejos problemas, debido a que esta red ha sido diseñada para cumplir con los requisitos inherentes a la transmisión de señales de conversación de tipo analógico. Los niveles permitidos en las diversas perturbaciones presentes en la red, han sido determinadas lógicamente en función de sus efectos sobre la inteligibilidad de la conversación. Esto significa, por ejemplo, que un canal telefónico típico tiene un ancho de banda de 300 a 3400 Hz y tendrá por lo tanto características no lineales de amplitud y de fase con respecto a la frecuencia. Debido a este y otros factores, un canal telefónico se hace indeseable para la transmisión de datos.

Las características requeridas para la transmisión de datos son distintas de las necesarias para la conversación. La principal diferencia estriba en que una señal de datos generalmente tiene un espectro que se extiende hacia abajo, hasta la frecuencia cero.

Por otra parte, a las velocidades de transmisión de datos comúnmente utilizadas en las redes telefónicas, las señales de datos exigen un margen mucho más estrecho en las características de amplitud y fase del canal telefónico. Si se quiere evitar una excesiva interferencia perturbadora. La desviación de frecuencia debida a las características de la línea es inadmisibles para la transmisión de señales de datos.

La incompatibilidad que existe entre las señales de datos y el canal telefónico, ha ocasionado la evolución de los dispositivos llamados MODEM, para convertir las señales de datos en un tipo de señal más adecuada para la transmisión, superando así las imperfecciones del canal telefónico. Estos modems tienen como principal función, la de incrementar al máximo la capacidad del canal para la transmisión de datos.

Existen además, equipos cuya función es la de acondicionar las señales recibidas de los equipos de procesamiento de datos para que dichas señales puedan ser aceptadas por el canal de transmisión, estos equipos son conocidos como DATA-SET.

Un data-set digital reconoce solamente un número limitado de valores discretos, mientras que un data-set analógico reconoce un rango de valores dentro de un límite.

Los data-set pueden manejar los datos en serie o en paralelo. La mayoría de los data-set serie son empleados para la transmisión dúplex, mientras que los data-set paralelo y los analógicos solo se usan en la transmisión símplex. Los equipos data-set de transmisión modulan la señal enviada por los equipos de procesamiento de datos, mientras que los data-set receptores simplemente demodulan la señal. Los equipos data-set que realizan las funciones de transmisión y recepción a la vez, son precisamente los modems. La velocidad de transmisión de un modem se mide en bit/s, bauds o caracteres/s.

Para acondicionar las señales digitales al canal de transmisión, se utilizan las técnicas de modulación de amplitud, frecuencia y fase.

Existen dos formas de transmisión de datos, síncrona y asíncrona. En la transmisión síncrona, el modem acepta el flujo de bits de la máquina procesadora de datos, a intervalos exactos de tiempo. La transmisión asíncrona es aquella que acepta las señales de entrada a velocidades que varían en un cierto rango.

La clasificación de los sistemas de transmisión de datos se puede realizar de acuerdo a su ancho de banda o a la velocidad de transmisión. De acuerdo a su ancho de banda pueden ser: de banda estrecha, de banda de voz o de banda ancha. De acuerdo a su velocidad pueden ser: de baja, media y alta capacidad.

Las instalaciones o equipos de banda estrecha son aquellos que transmiten en un ancho de banda que es menor al de un canal telefónico y son utilizados para la transmisión a baja velocidad, esto es, hasta velocidades de 300 bit/s como máximo.

La transmisión de banda de voz ocupa el espectro de un canal

telefónico, aquí las velocidades de transmisión son medias, con valores comunes de 1200, 2400 y hasta 4800 bit/s.

Las transmisiones de banda ancha son aquellas que ocupan un espectro mayor al de un canal de voz. La unidad de ancho de banda que se presenta después de la del canal telefónico es el grupo básico de 12 canales, esto es, un espectro de 48 KHz de ancho. Las velocidades de transmisión en banda ancha pueden ser de 50 Kbit/s y llegar hasta 100 Kbit/s.

11.2 Teletipos

Los teletipos, también llamados teleimpresores, son aparatos telegráficos provistos de un teclado análogo al de una máquina de escribir. Los teletipos son empleados en los sistemas telegráficos y telex. Las señales emitidas por estas máquinas son simples impulsos de c.d. a una velocidad muy lenta. La parte superior de la figura 33 nos muestra una señal telegráfica de una sola corriente, llamada neutra o unipolar, la información se pone en clave conectando la corriente en períodos determinados de tiempo. La parte inferior de la misma figura muestra la misma señal en un sistema telegráfico de doble corriente o bipolar, en el que se aplican potenciales positivos y negativos en un extremo de la línea, invirtiendo de este modo la dirección del flujo de corriente.

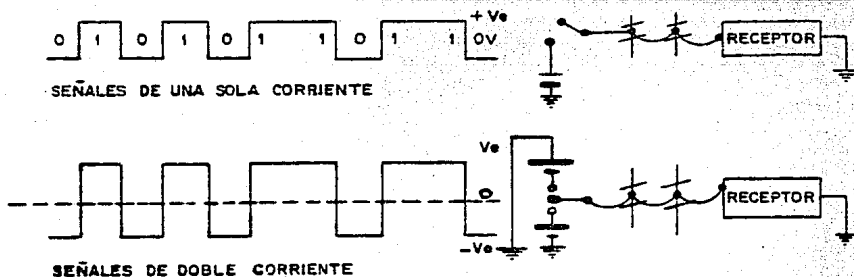


Figura 33. Formas de transmisión en los teletipos.

En algunos circuitos telegráficos, las señales se envían aun en la forma de corriente continua. Sin embargo, con el enorme crecimiento de las redes telefónicas, las líneas con amplificadores diseñados para voz, se hicieron más comunes que

los circuitos de teletipo de c.d. Para poder emplear en forma eficiente las líneas de voz, las señales de c.d. se convierten en señales de corriente alterna con el equipo de línea de voz. A menudo, un canal telefónico se subdivide en 12 o más canales de teletipo (telegráficos o telex). La transmisión telegráfica y telex se realizan mediante códigos tales como el MORSE y el BAUDOT o CCITT No. 2.

11.3 Facsímil

El facsímil es una forma de convertir el material gráfico en una señal eléctrica equivalente y apropiada para transmitirse sobre un circuito telefónico, para ser recuperada a una distancia considerable.

El término facsímil es una palabra compuesta de dos raíces latinas: Facere que significa hacer y Simile, que significa semejante, por lo tanto su significado se aplica a la obtención de una copia o imitación de una firma, dibujo, fotografía, etc. La abreviatura universal del término técnico facsímil es FAX.

Existen cuatro procesos básicos, electromecánicos, de reproducción por facsímil:

Electrolítico. Es el más antiguo y popular de los procesos de reproducción y requiere de un tipo de papel especial, saturado de electrolítico. Cuando una corriente eléctrica pasa a través, este tiende a decolorarse. La cantidad de oscuridad o decoloración es función de la corriente que pasa a través del papel. En los reproductores de facsímil, el papel electrolítico se pasa entre dos electrodos, uno de los cuales es fijo y el otro es un estilete en movimiento.

Electrotérmico. Este proceso es bastante similar al electrolítico, solo que la reproducción se realiza mediante un arco de corriente eléctrica que pasa a través de la hoja.

Electropercusivo. Este tipo de facsímil es muy similar a la grabación de audio. Una señal de facsímil amplificada, es alimentada a un transductor electromagnético que activa un estilete en respuesta a las variaciones de la señal eléctrica. Si se interpone una hoja de papel carbón entre una hoja ordinaria y el estilete, se obtiene una reproducción de carbón sobre el papel ordinario, debido a las variaciones o vibraciones del estilete en función de la variación de la señal.

Electrostático. Este tipo de reproducción por facsímil está basado en la impresión de imágenes desde un tubo de rayos catódicos u otro dispositivo de imagen.

El concepto de "índice de cooperación" en los sistemas de

facsimilar está definido como el producto de la densidad medida del explorador, en líneas por pulgada (LPI), por el tiempo efectivo de pincelada longitudinal. Este es un estándar básico para la transmisión de facsimilar. Si un explorador-transmisor y un receptor—reproductor tienen el mismo índice de cooperación, se consideran compatibles.

La figura 34 muestra un sistema de facsimilar común. La salida de un explorador de facsimilar contiene transiciones eléctricas que representan el cambio de reflexión de la copia explorada. Estas transiciones contienen una componente de frecuencia de subaudio, muy cercana a la c.d. El problema de transmisión que la ingeniería de comunicaciones debe enfrentar es el de convertir este espectro de frecuencia equivalente, para que pueda ser transmitido sobre un circuito telefónico. Para solucionar este

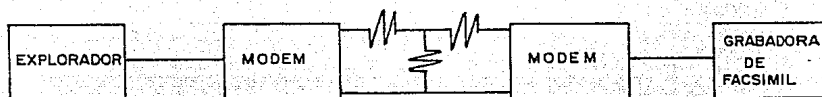


Figura 34. Diagrama de bloques de un sistema de facsimilar común.

problema, se adoptan las técnicas de portadora simple. En la transmisión de facsimilar, la salida del explorador modula a una portadora de audio, con modulación de banda lateral residual con una portadora de 1800 Hz. Cuando es modulada por una señal de facsimilar, la portadora contiene aproximadamente 1300 Hz de información en la banda lateral residual, con la banda lateral residual superior extendida hasta 2300 Hz aproximadamente. Con estas frecuencias a la salida del explorador de facsimilar, se puede realizar la transmisión sobre un canal telefónico.

Para la transmisión de facsimilar, generalmente se emplean técnicas de modulación en frecuencia debido a que esta técnica tiende a ser más inmune al ruido que la modulación en amplitud.

12 ORGANIZACIONES INTERNACIONALES QUE ESTABLECEN ESTANDARES

Las recomendaciones para la telecomunicación internacional e intercontinental, son elaboradas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU, dependiente de la ONU.

La ITU tiene su sede en Ginebra, Suiza. Las organizaciones permanentes dependientes de la ITU son: el Secretariado General, que trata la parte administrativa y económica; la International Frequency Registration Board (IFRB), que se encarga de la coordinación y empleo de todo tipo de frecuencias de radio; el

Comite Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR), que tramita cuestiones de radio y al Comite Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT) que se encarga de todas las cuestiones restantes de telecomunicaciones, en la figura 35 se muestra el organigrama general de la ITU.

Estas organizaciones permanentes son dirigidas por un consejo administrativo, compuesto por 25 miembros, los cuales son elegidos por los países participantes. Este consejo se reúne una vez al año para coordinar el trabajo de las organizaciones. Cada una de estas tiene una conferencia de alcance mundial cada cuatro años, en ella se asignan grupos dirigidos a estudiar cuestiones de tipo técnico, de servicio, de tarifas, etc.

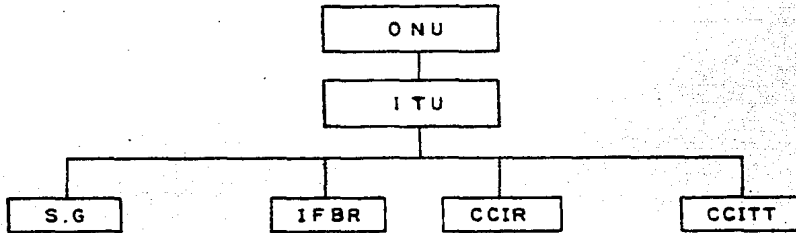


Figura 35. Organizaciones mundiales de telecomunicaciones.

El CCIR y el CCITT cooperan muy estrechamente en varios campos, con el fin de promover recomendaciones para las telecomunicaciones mundiales. Existen también organismos que dictan normas a nivel continental y nacional.

CAPITULO II
MODULACION POR PULSOS CODIFICADOS (PCM)

1. MODULACION POR AMPLITUD DE PULSOS (PAM)

1.1 Muestreo

El primer paso en la digitalización de una forma de onda analógica, consiste en establecer valores discretos de tiempo, durante los cuales la señal de entrada se muestrea. El significado eléctrico práctico, es tomar valores de la señal analógica a intervalos de tiempo iguales, esto es, las técnicas de digitalización están basadas en el empleo de tiempos de muestreo periódicos y regularmente espaciados. Si las muestras aparecen con suficiente frecuencia, la forma de onda original puede ser recuperada completamente a partir de la secuencia de muestras, usando un filtro de paso bajo. En la figura 36 se puede observar los conceptos básicos del muestreo, una forma de onda analógica se muestrea a una frecuencia $f_s=1/T$ y se reconstruye empleando un filtro de paso bajo. En la misma figura se puede observar que el proceso de muestreo es equivalente al proceso de modular un tren de pulsos de amplitud constante.

La técnica mostrada en la figura 36 se conoce más comúnmente como Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM).

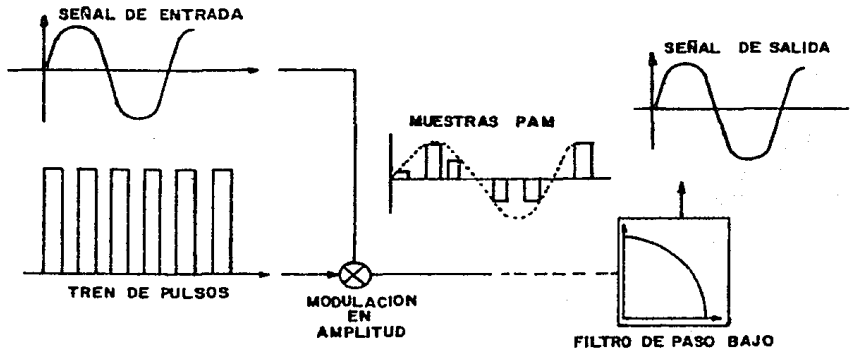


Figura 36. Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM).

En 1933 Harry Nyquist dedujo la frecuencia mínima de muestreo, requerida para extraer toda la información de una forma de onda continua y variable en el tiempo. El resultado, conocido como el criterio de Nyquist, está definido por la relación:

$$f_s \geq 2BW$$

donde:

f_s = frecuencia de muestreo
 BW = ancho de banda de la señal original

la deducción de este resultado se muestra en la figura 37, la cual retrata el espectro de la señal de entrada y el espectro resultante del tren de pulsos PAM. El espectro PAM puede deducirse observando que un tren continuo de pulsos tiene un espectro de frecuencias consistente de términos discretos a múltiplos de la frecuencia de muestreo. La señal de entrada modula en amplitud esos términos en forma individual. Como consecuencia, se produce un espectro de doble banda lateral alrededor de cada uno de los términos de frecuencia en el espectro del tren de pulsos.

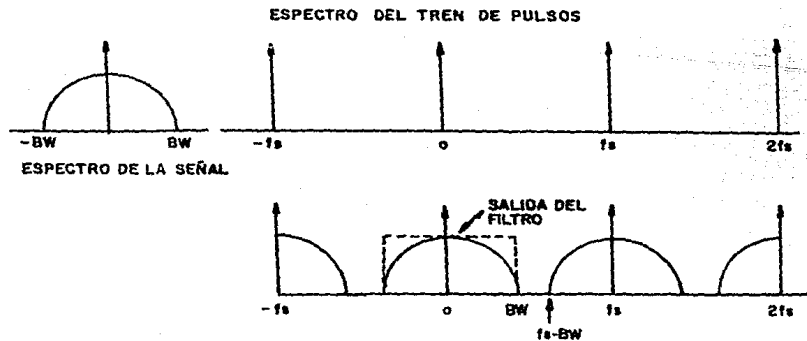


Figura 37. Espectro de la señal modulada por amplitud de pulsos.

La forma de onda original se recupera mediante un filtro de paso bajo, diseñado para eliminar todo aquello que se encuentra después del espectro de la señal original. Como se observa en la figura 37, el filtro debe tener una frecuencia de corte entre f_s y $f_s - BW$. Esta separación es posible únicamente si $f_s - BW$ es

mayor que BW.

1.2 Aspectos que hay que considerar en un muestreo práctico.

Con el fin de obtener buenos resultados durante el muestreo, es preciso considerar algunos aspectos prácticos, con respecto a la frecuencia de muestreo, el filtro, etc.

Si la forma de onda de un sistema PAM se muestrea con una frecuencia menor que la frecuencia de muestreo de Nyquist, la forma de onda no puede ser recuperada sin distorsión.

En la figura 38 se muestra la distorsión de traslape que se produce debido a que el espectro de frecuencia centrado alrededor de la frecuencia de muestreo se encima (traslapa) con el espectro original y no pueden ser recuperadas mediante el filtrado. Esto origina que se obtengan frecuencias no deseadas a la salida del sistema, sin embargo, esto se soluciona empeando una frecuencia de muestreo mayor a $2BW$.

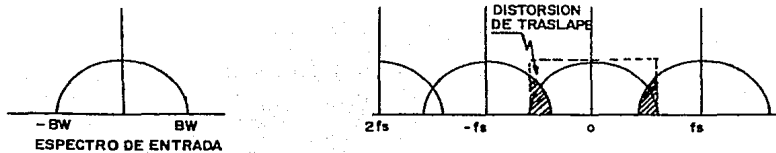


Figura 38. Traslape producido por un submuestreo a la entrada.

Otro de los problemas que se presentan con el empleo de una frecuencia de muestreo menor, es el "enmascaramiento" o interferencia de espectros. En este fenómeno, aparecen señales de salida que difieren en mucho de la señal de entrada. La figura 39 muestra un proceso de interferencia de espectros que ocurre en una conversación, si una señal de 5.5 KHz se muestrea a una velocidad de 8 KHz. Los valores de las muestras son idénticos a los obtenidos de una señal de entrada de 2.5 KHz. En consecuencia después de que la señal muestreada pasa a través del filtro de salida de 4 KHz, aparece una señal de 2.5 KHz, la cual no sale de la fuente. Este ejemplo, muestra que la entrada debe ser limitada en banda, antes del muestreo, con el fin de eliminar los términos de frecuencia mayores de $f_s/2$.

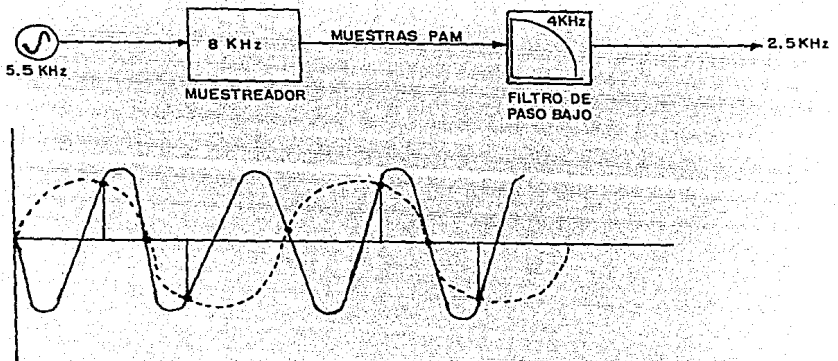


Figura 39. "Enmascaramiento" de una señal de 5.5 KHz en una señal de 2.5KHz.

Por lo tanto, un sistema PAM completo debe incluir un filtro limitador de banda antes del muestreo, para asegurar que no aparecerán señales falsas. La entrada de este filtro puede ser también diseñada para cortar las frecuencias muy bajas, con el fin de eliminar las interferencias de las líneas de energía eléctrica de 60 Hz.

La figura 40 describe la recuperación de la señal, mediante un circuito de muestreo y retención, el cual produce una aproximación en escalera de la forma de onda muestreada. Con el uso de la aproximación de escalera, el nivel de potencia de la señal obtenida a la salida del filtro reconstructivo es aproximado al nivel de la señal de entrada que se muestrea.

Otro de los aspectos a ser tomados en cuenta, es con respecto a los filtros, ya que hasta ahora se han considerado con características ideales. Sin embargo, estos filtros ideales son físicamente irrealizables. Una implementación práctica debe considerar los efectos no ideales. Los filtros prácticos tienen una banda de transición y solo pueden ser usados si la señal de entrada es sobremuestreada, es decir, si la frecuencia de muestreo es mayor que $2BW$, para asegurar que las bandas

espectrales están separadas lo suficiente como para evitar la distorsión ocasionada por el traslape.

Como un ejemplo, los sistemas de voz típicamente muestreados usan filtros limitadores con un corte de 3 dB alrededor de 3.4 KHz y una velocidad de muestreo de 8 KHz.

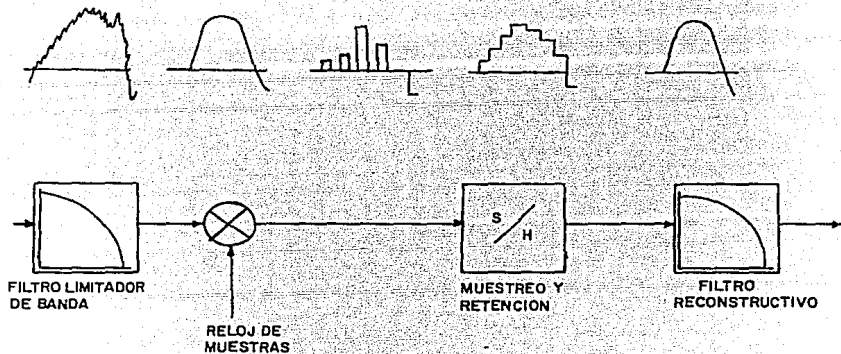


Figura 40. Sistema PAM completo.

Como consecuencia, la señal muestreada está lo suficientemente atenuada a la frecuencia de 4KHz, para reducir adecuadamente el nivel de energía del espectro de traslape.

2. MODULACION POR PULSOS CODIFICADOS (PCM)

La Modulación por Pulsos Codificados (PCM) es una extensión de la PAM, en donde cada uno de los valores de las muestras analógicas es cuantizado en un valor discreto para su representación como una palabra de código digital. El sistema PAM es convertido en un sistema PCM, añadiendo un convertidor analógico/digital (A/D) en el transmisor y un convertidor digital/analógico (D/A) en el receptor, tal y como se muestra en la figura 41. El modulador de pulsos codificados elige una cantidad de pulsos en la señal analógica de conversación, mide sus valores numéricos en escalas que representan la amplitud y el tiempo, además de transmitir dichos valores numéricos sobre la

línea de transmisión, hacia el demodulador PCM. Este último traza una curva uniforme entre los puntos de las muestras, reconstruyendo la señal analógica de conversación transmitida.

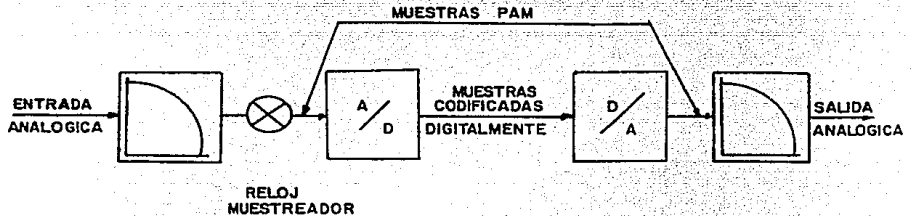


Figura 41. Modulación por Pulsos Codificados (PCM)

En un sistema PCM, es necesario llevar a cabo algunas funciones tales como el ya analizado muestreo, la cuantización, la codificación, la regeneración y la decodificación.

2.1 Cuantización

En el proceso de cuantización, la gama continua de amplitudes de los pulsos se descompone en una cantidad finita de valores, la cual se divide en intervalos. A todas las muestras cuyas amplitudes caen dentro de un intervalo, se les asigna la misma amplitud de salida, figura 42. El redondeo de las muestras provoca un error conocido como error de cuantización. Este error puede reducirse a límites adecuados, haciendo que la cantidad de niveles de amplitud permitidos sea suficientemente grande.

Los límites de los intervalos de cuantificación son conocidos como umbrales de cuantificación.

Una de las mediciones fundamentales de la calidad de un cuantificador o cuantizador es la relación señal a ruido o S/N_q . Para un sistema lineal, la S/N_q es la relación del tamaño de la señal de entrada a $1/4$ del tamaño de un intervalo de cuantización. Esto significa que la S/N_q se incrementa con el incremento de la amplitud de la señal, de modo que las señales grandes tendrán una alta S/N_q (mejor calidad) que las señales pequeñas.

En la figura 43 una señal de amplitud pequeña (igual a 1) tiene una S/N_q de 4, mientras que una señal de amplitud

grande (igual a 5) tiene una S/N_q de 20. Esta condición no es deseable, ya que las señales pequeñas tienen más probabilidad de aparecer que las señales grandes, además de que estas últimas tienden a cubrir el ruido presente.

Una solución a este problema, es ajustar el tamaño de los intervalos de cuantización en relación al nivel de la señal de entrada, de tal forma que los intervalos sean menores para señales pequeñas y grandes para señales de mayor amplitud. Esto ocasiona una relación no lineal entre la entrada y la salida, dando como resultado una salida comprimida con respecto a la entrada.

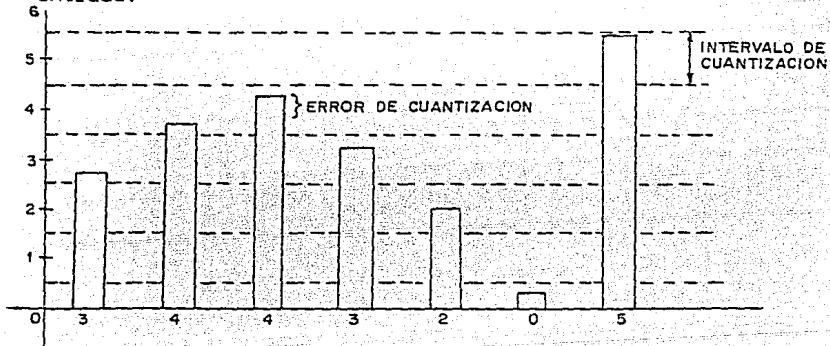
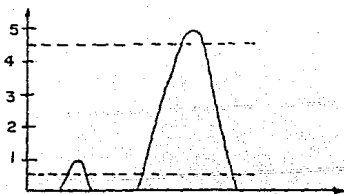


Figura 42. Proceso de cuantización.

La curva correspondiente a este ajuste se muestra en la figura 44, en la cual se nota que una señal de entrada que incrementa su amplitud de $1/2$ a 1 , cambia por 16 en su valor codificado, mientras que una señal que cambia de $1/64$ a $1/32$ cambia por la misma cantidad (16) en su salida codificada, esto es, un cambio en una señal pequeña produce el mismo cambio en la salida que una señal 32 veces mayor.



$$S/N_q = \frac{\text{NIVEL CUANTIZADO DE SEÑAL}}{\text{PROM.}} = \frac{1}{0.25}$$

PARA LA SEÑAL PEQUEÑA:

$$S/N_q = \frac{1}{0.25} = 4$$

$$\text{PARA LA SEÑAL GRANDE: } S/N_q = \frac{5}{0.25} = 20$$

Figura 43. Incremento del S/N_q con el nivel de señal en un codificador lineal.

En el receptor, el decodificador tiene una característica de expansión complementaria, para restaurar la linealidad de la señal. La combinación de características en el codificador y el decodificador es conocida con el nombre de compansor (de COMPRESOR y EXPANSOR). Cuando un compansor es usado, la S/Nq es aproximadamente la misma a través del rango de niveles de la señal de entrada.

En un gran sistema telefónico, es necesario interconectar una gran cantidad de canales telefónicos y todos los bancos de canales deben usar un esquema común para las transformaciones analógico/digital y la compansión requerida. Este esquema es conocido como ley μ . Los circuitos de compansión operan sobre una curva logarítmica, usando la relación:

$$F_{\mu}(x) = \text{sgn}(x) \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)}$$

donde: x es la señal de entrada normalizada (entre -1 y +1)

sgn(x) es el signo de x (+/-)

μ es el parámetro de compansión, establecido como 255 para los sistemas americanos

$F_{\mu}(x)$ es el valor de salida comprimido

CODIGO BINARIO

1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

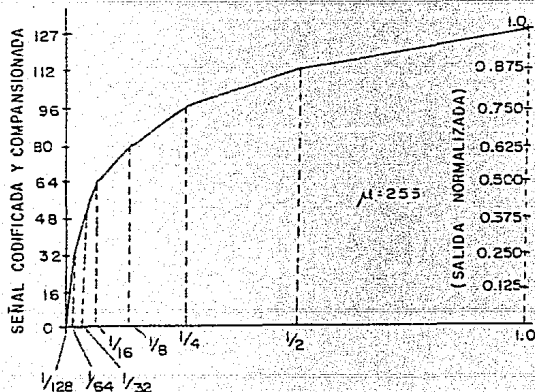


Figura 44. Curva de compansión de la ley μ .

El codificador opera sobre una aproximación lineal

segmentada en la curva logarítmica real, como se muestra en la figura 44. El codificador produce una salida de 8 bits, de los cuales 7 bits son para la magnitud y uno para el signo (el bit más significativo).

El bit de signo es 1 para entradas con valores positivos y cero para valores de entrada negativos, mientras que los bits restantes indican el valor absoluto de la señal de entrada. Ya que la velocidad de muestreo es de 8000 muestras/segundo, la velocidad de datos para un solo canal de voz cuando se codifica usando la técnica de la ley μ es 8000 muestras/segundo por 8 bits/muestra igual a 64000 bits/segundo.

CODIGO BINARIO

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0

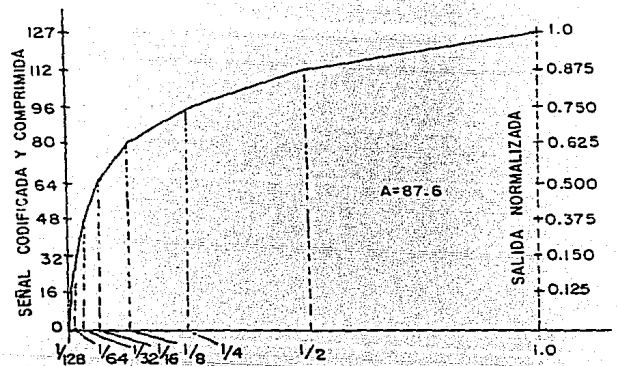


Figura 45. Curva de expansión de la ley A.

La ley μ es de uso normal en Norte America y Japon, mientras que en Europa la expansión es conocida como característica de ley A, cuyas características de compresión están definidas como:

$$F(x) = \text{sgn}(x) \frac{A |x|}{1 + \ln A}$$

cuando $0 \leq x < 1/A$

y

$$F(x) = \text{sgn}(x) \frac{(1 + \ln A |x|)}{(1 + \ln A)}$$

cuando $1/A \leq x \leq 1$

donde: $F(x)$ es el valor de salida comprimido

sgn (x) es el signo de x (+/-)
A es el parámetro de compresión, establecido como 87.6
para Europa

El compansor de ley A también produce 8 bits por muestra de entrada, en el mismo formato que la ley μ , así como también una velocidad de datos de 64000 bps para cada canal. Su curva de compansión segmentada se muestra en la figura 45. El esquema de la ley A produce una relación señal a ruido ligeramente mejor para señales pequeñas pero el esquema de la ley μ tiene menor ruido de canal inactivo.

2.2 Codificación

Las muestras cuantificadas aun no son apropiadas para la transmisión, debido a la dificultad para reconstruir circuitos regeneradores capaces de distinguir entre la gran cantidad de amplitudes de las muestras que se necesitar para las señales de conversación.

Una vez que la muestra de la señal analógica ha sido cuantizada en un número, este debe ser convertido en un conjunto de bits. El circuito que realiza esta conversión se conoce como codificador.

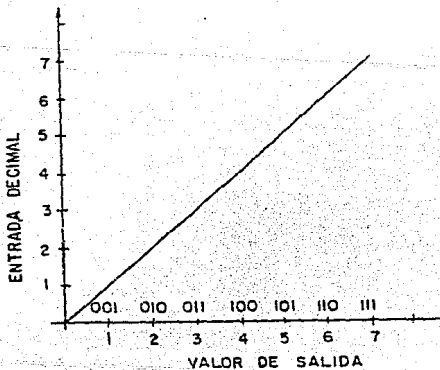


Figura 46. Codificación lineal.

La forma más simple de codificación produce una salida lineal con respecto a la entrada, figura 46. Si el valor de la señal de entrada es el 1 decimal, el codificador produce el

número binario de salida 001. Si el valor de entrada es 2 decimal, entonces el número binario producido es 010, etc.

El número de bits a la salida de un codificador depende del número de intervalos de cuantización. El número de intervalos se incrementa en potencias de 2, de acuerdo a los bits que son aumentados en el código, como se muestra en la tabla 2'.

Número de bits	Número de intervalos
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256

Tabla 2'. Intervalos de cuantización.

Es necesario cuantizar las polaridades positivas y negativas de la señal, por lo tanto, uno de los bits del código debe ser usado para la identificación de la polaridad. Por esta razón, el número de intervalos se reduce en una potencia de 2, esto es, un código de 8 bits puede proporcionar 128 intervalos de cuantización más un bit de signo. El número de bits en el código para un número requerido de intervalos se calcula mediante:

$$n = \log_2 (2 N)$$

donde: n es el número de bits

N es el número de intervalos

N se ve multiplicado por 2 para obtener el bit extra del signo. Así, para 64 intervalos de cuantización se tiene:

$$n = \log_2 (2 \times 64)$$

$$n = \log_2 (128)$$

$$n = 7 \text{ bits}$$

2.3 Códigos de línea

La codificación antes descrita, se realiza mediante códigos llamados de línea los cuales pueden definirse como: El patrón de la forma de onda, de voltaje o corriente, empleado para representar los 1's y los 0's de una señal digital en una línea

de transmisión.

Los códigos de línea, para ser considerados como tales, deben cubrir algunos requerimientos básicos, que son:

- El nivel de c.d. en el medio de transmisión debe ser constante y preferiblemente cero.
- El espectro de energía de la onda debe estar condicionado para evitar frecuencias fuera de la banda disponible.
- La señal debe tener información de sincronía.
- Los errores no deben propagarse y deben ser detectados con facilidad.

La forma más simple de código de línea, es el código NRZ (Non Return to Zero) ya que únicamente emplea dos niveles de voltaje, figura 47, en este caso, los voltajes son +5 V y 0 V. Este código es también conocido como código encendido y apagado (ON/OFF) o código unipolar, debido a su asimetría con respecto al nivel de 0 V. Una de las variantes del código NRZ es la mostrada en la figura 47b, en la cual la forma de onda es simétrica con respecto a 0 V y se conoce como código bipolar.

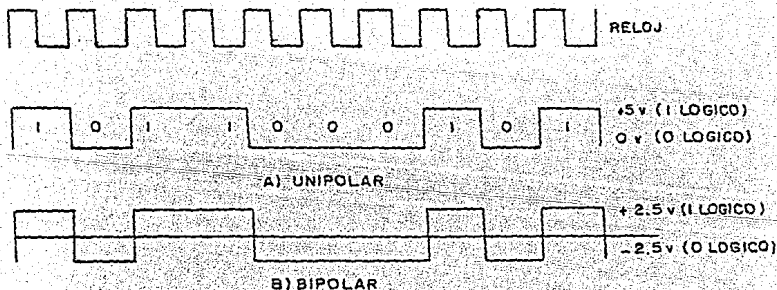


Figura 47. Código NRZ.

Las principales desventajas que presenta el código NRZ son:

- Para cadenas largas de 1's y 0's se pierde la sincronía.
- En la forma unipolar existe una gran cantidad de componente de c.d.

Como puede observarse, en el código NRZ los pulsos de información tienen la misma duración que un ciclo de reloj. Debido a la inexistencia de bajas frecuencias, el código NRZ no

es muy confiable para la transmisión a largas distancias.

Otro código de línea de poco uso, es el código RZ (Return to Zero) que se muestra en la figura 48 y en el cual el bit de información tiene una duración de tan solo la mitad de un ciclo completo de reloj. Con esto, se eliminan las largas cadenas de 1's pero no las de 0's, por lo que los problemas de sincronía persisten en caso de haber largas cadenas de ceros. Además, el ancho de banda se incrementa considerablemente.

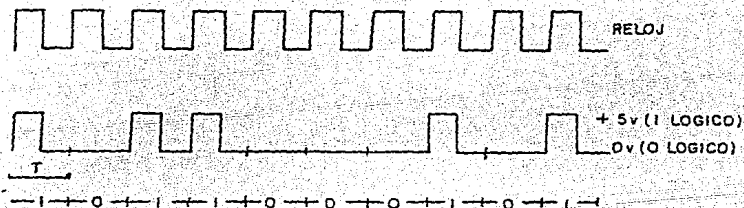


Figura 48. Código RZ.

Existen muchos códigos de línea especiales para eliminar las componentes de c.d. En los códigos de línea se presenta un fenómeno de corrimiento de amplitud de la forma de onda, con respecto a cero volts. Este fenómeno se presenta cuando existen largas cadenas de 1's y 0's, esto es, cuando esta presente una componente de c.d. muy grande, figura 49.

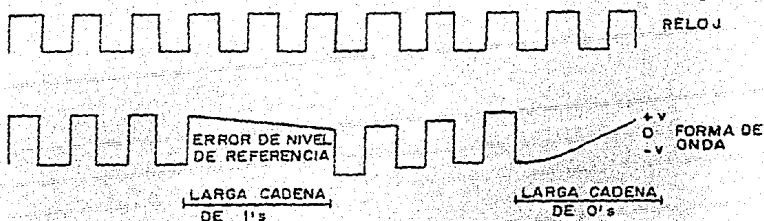


Figura 49. Desviación de c.d.
Cuando esto ocurre, los circuitos de recuperación que son

detectores de 1's y 0's pierden la amplitud de referencia correcta y se presentan errores. Para eliminar este error, llamado error de c.d., existen circuitos especiales.

La codificación bipolar, resuelve el problema de c.d. mediante el empleo de tres niveles de codificación de datos binarios. Un cero lógico se codifica mediante un nivel de voltaje cero, mientras que el uno lógico se codifica alternadamente con voltajes positivos y negativos, por lo que el nivel de voltaje promedio se mantiene en cero con el fin de eliminar las componentes de c.d. Debido a que la codificación bipolar emplea pulsos con polaridad alternada, para la codificación de 1's lógicos, se le conoce también como código AMI (Alternating Mark Inversion) o inversión alternada de marcas, figura 50.

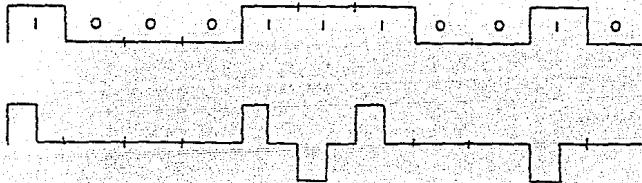


Figura 50. Código AMI.

Debido a que un código bipolar emplea polaridades alternadas para codificar los 1's, las grandes cadenas de estos contienen una fuerte sincronía, no así las largas cadenas de 0's que deben ser excluidas por la fuente.

La forma de onda de los pulsos AMI está condicionada para ocupar la mitad del ancho permisible del pulso. Esto se hace para simplificar los circuitos que recuperan la información de sincronía en los repetidores regenerativos.

Ya que los pulsos sobre la línea son supuestos a alternar en polaridad, la detección de dos pulsos positivos o negativos en forma sucesiva, implicará un error. Esta condición de error se conoce como violación bipolar. Por lo tanto, no puede ocurrir ningún error sin que existe una violación bipolar.

Una aplicación del espacio de código desaprovechado en la codificación bipolar, es la de insertar a propósito violaciones bipolares para indicar códigos especiales que incrementan el contenido de sincronía de las señales de la línea.

Uno de estos tipos especiales de código lo constituye el de Sustitución Binaria de N Ceros (BNZS). Este tipo de códigos tienen una aplicación muy amplia en telefonía, superando al código AMI, ya que este tiene la desventaja de que durante su

transmisión, la densidad de pulsos no es adecuada para la recuperación del reloj, sin que exista corrimiento. Los códigos BNZS resuelven el problema de la densidad de pulsos, ya que se asegura que siempre se tendrán suficientes 1's para proporcionar una exacta sincronización. La técnica empleada en los códigos BNZS, es la insertar violaciones bipolares en largas cadenas de 0's. Los códigos BNZS de mayor aplicación son el B3ZS y el B6ZS.

En el formato B3ZS, cada cadena de tres ceros en los datos fuente, se codifica con 00V o 80V. Un código 00V consiste de dos bits sin pulso (00) seguidos por un pulso que representa una violación bipolar. Un código 80V consiste de un pulso sencillo (8) de acuerdo con la alternación bipolar, seguido por un bit sin pulso (0) y termina con una violación bipolar.

La decisión para sustituir una cadena de ceros con 00V o 80V se toma de tal forma que el número de pulsos inviolados (8) entre violaciones (V) sea impar. Por lo tanto, si un número impar de 1's ha sido transmitido desde la última sustitución, se emplea 00V para reemplazar tres ceros. En caso contrario, si el número de 1's es par, se sustituye con 80V. De esta forma, todas las violaciones intencionadas contienen un número impar de pulsos bipolares entre ellas. Además, cada violación bipolar esta inmediatamente precedida por un cero. La tabla 3 resume el algoritmo de sustitución para el código B3ZS.

Polaridad del pulso anterior	Número de pulsos bipolares (unos) desde la última sustitución	
	Impar	Par
-	00-	-0-
+	00-	-0-

Tabla 3. Reglas de sustitución para el código B3ZS.

El código B6ZS, a diferencia del anterior, realiza sustituciones sobre cadenas de seis ceros y también depende de la polaridad del último pulso transmitido. Este algoritmo produce violaciones en el segundo y en el quinto pulsos. La tabla 4 muestra las reglas de sustitución del código B6ZS.

Polaridad del último pulso	Sustitución
	0--0--
	0+-0--

Tabla 4. Reglas de sustitución para el formato B6ZS. Otro formato de codificación BNZS recomendado por el CCITT es la codificación de alta densidad bipolar (HDB). La versión HDB

de uso más frecuente, reemplaza cadenas de cuatro ceros, conteniendo una violación bipolar en el último bit sustituido. La tabla 5 presenta el algoritmo básico de sustitución del código HDB3.

Polaridad del último pulso	Número de pulsos bipolares desde la última sustitución	
	Impar	Par
-	000-	+00-
+	000+	-00

Tabla 5 . Sustitución HDB3.

Otro de los tipos de código BNZS, lo constituye el Par Ternario Seleccionado (PST). El proceso de codificación PST toma forma mediante el apareamiento de los datos binarios de entrada, para producir una secuencia de palabras o código de dos bits que son transformados a dos dígitos ternarios para su transmisión. Puesto que hay nueve códigos ternarios de dos dígitos, pero únicamente cuatro códigos de dos bits, existe una considerable flexibilidad en la selección de códigos. El más útil de los formatos de codificación PST se muestra en la tabla 6. El formato PST no solamente asegura una buena componente de sincronía, sino que también elimina la componente de c.d. mediante modos de conmutación, para mantener un balance entre pulsos positivos y negativos. Los códigos son seleccionados de una columna hasta que se transmite un pulso sencillo. Entonces, el codificador conmute y selecciona códigos de la otra columna hasta que se transmite un pulso más, de polaridad opuesta.

Entrada binaria	Modo +	Modo -
00	--	++
01	0+	0-
10	-0	-0
11	++	--

Tabla 6 . Codificación del Par Ternario Seleccionado (PST).

Como las codificaciones bipolar y PST usan un espacio de código ternario, para transmitir datos binarios, con ello no se consigue una buena velocidad de transmisión como sería posible con el uso más eficiente del espacio de código. Por ejemplo, un código ternario de 8 elementos es capaz de representar $3^8 = 6561$ códigos diferentes, mientras que 8 bits de datos producen únicamente $2^8 = 256$ códigos binarios. El código ternario por lo

tanto, tiene la ventaja de un mayor contenido de información.

Un procedimiento de codificación ternaria, involucra un mapeo sucesivo de grupos de 4 bits en 3 dígitos ternarios (4B3T). Como las palabras binarias de 4 bits únicamente requieren 16 de 27 palabras de código de 3 dígitos ternarios, existe flexibilidad considerable en la selección de códigos ternarios. La tabla 7 presenta un posible procedimiento de codificación. Las palabras de la columna intermedia son balanceadas en su contenido de c.d., mientras que las de la primera y tercera columnas son seleccionadas alternadamente para mantener el balance de c.d. Si han sido transmitidos más pulsos positivos que negativos, se selecciona la primera columna. Cuando la disparidad entre pulsos positivos y negativos cambia, se selecciona la tercera columna. Debido a que la palabra código de ceros no se emplea, se obtiene una buena sincronía.

Palabra binaria	Palabra ternaria		
	Disparidad acumulada		
	-	0	+
0000	- - -		+ + +
0001	- - 0		+ + 0
0010	- 0 -		+ 0 +
0011	0 - -		0 + +
0100	- - +		- + -
0101	- + -		- + -
0110	+ - -		- + -
0111	- 0 0		+ 0 0
1000	0 - 0		0 + 0
1001	0 0 -		0 0 +
1010		0 + -	
1011		0 - +	
1100		+ 0 -	
1101		- 0 +	
1110		+ - 0	
1111		- + 0	

Tabla 7. Codificación 4B3T.

La codificación bipolar y sus extensiones BNZS y PST emplean niveles de codificación extra para tener flexibilidad en la consecución de los medios deseables, tales como: transmisión de sincronía, no desviación de c.d. así como funcionamiento monitoreable. Estos medios se obtienen a través del incremento del espacio de código y no por el incremento del ancho de banda.

Muchas de las variedades de los códigos de línea consiguen una fuerte sincronización y no desviación de c.d., incrementando el ancho de banda, mientras usan únicamente dos niveles para

datos binarios. Uno de los más comunes de estos códigos, que proporciona una fuerte sincronía y no tiene desviación de c.d., es el código bifásico digital también conocido como código difásico o Manchester.

El código Manchester, emplea un ciclo de onda cuadrada, en una fase particular, para codificar un 1 y un ciclo de fase opuesta para codificar un cero. La figura 51 muestra una secuencia en codificación bifásica, se puede notar que existe una transición en el centro de cada intervalo de señalización. Como las señales lógicas 1 y 0 contienen igual número de polaridades, la desviación de c.d. no existe.

El código bifásico tiene la desventaja de contener redundancia para monitorear el funcionamiento.

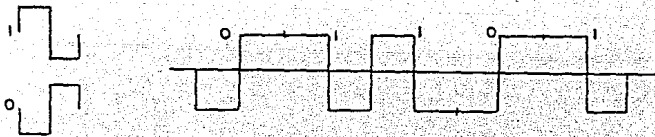


Figura 51. Forma de onda del código bifásico o Manchester.

2.4 Regeneración

Todos los medios de transmisión atenuan y distorsionan las señales transmitidas a través de ellos, por lo tanto, es necesario colocar regeneradores a distancias determinadas, para asegurar una recepción satisfactoria al final de la línea.

Estos dispositivos regeneradores, proporcionan la amplificación necesaria y la debida corrección de la distorsión (por medio de filtros diseñados adecuadamente), para permitir que el reconocimiento de la señal en el receptor se realice en forma aceptable.

El número de repetidores y el espaciamiento entre ellos, depende del tipo de medio de transmisión empleado, de la distorsión de fase, de la atenuación y de la longitud total de la trayectoria.

En algún lugar de la línea, donde la señal debe ser restaurada, se coloca un regenerador. Este, primero analiza el tren de pulsos deformados para determinar si el nivel binario es 1 ó 0, para luego regenerar y retransmitir los pulsos. La figura 52 presenta un repetidor regenerativo típico de un sistema PCM.

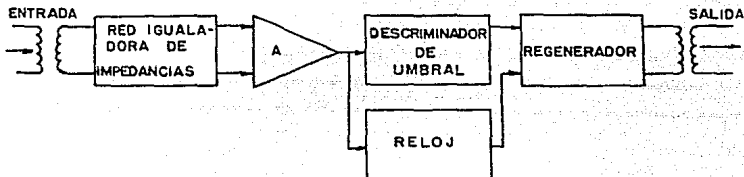


Figura 52. Repetidor regenerativo PCM.

Considerando una secuencia de pulsos binarios que se transmite por una línea, la señal experimenta distorsiones en amplitud y en frecuencia, por lo que deben introducirse redes de filtros, llamados comúnmente redes igualadoras, que compensan la distorsión del espectro.

Además de la distorsión, durante la transmisión se introduce ruido e interferencia. De estos, el ruido es sin duda el que presenta el mayor problema, ya que aunque la distorsión de la señal puede compensarse hasta un grado tan fino como se quiera, es el ruido lo que finalmente establece un límite en la detección de la señal. Además de la distorsión de amplitud y de frecuencia que introduce la línea, existe una atenuación total del nivel de la señal. Si se permite que este nivel disminuya por abajo de un cierto límite, los errores debidos al ruido comienzan a limitar la capacidad de transmisión del sistema.

La amplificación podría realizarse en el receptor, sin embargo, el nivel de ruido también se amplificaría, por lo tanto, la única solución para impedir que el nivel de la señal disminuya demasiado en relación con el ruido, es realizar un acondicionamiento repetido de la señal a intervalos pequeños a lo largo de la línea, para mantener la señal por encima del nivel de ruido. Esta es la justificación de los regeneradores. Por otro lado, la distorsión de frecuencia introducida por una pequeña sección de la línea es obviamente menor que la producida en una longitud mayor de la misma. Por lo tanto, la igualación de amplitud y de fase se realiza más fácilmente en cada uno de los repetidores, que al final de la línea.

2.5 Decodificación

En los sistemas PCM, los procesos de codificación y decodificación se realizan en forma similar, esto es, se emplean circuitos semejantes para codificar y decodificar. En la figura 53 se muestra el proceso de decodificación en un sistema PCM. Como puede observarse, las palabras del código generan pulsos, cuyas alturas son iguales a las de las muestras cuantificadas que

generan las palabras del código. Después de pasar por el decodificador se recupera el tren de muestras cuantificadas.

La señal analógica se reconstruye mediante un filtro de paso bajo, con una frecuencia de corte igual al ancho de banda de la señal transmitida.

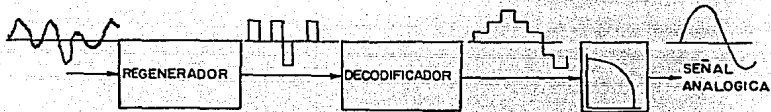


Figura 53. Proceso de decodificación en un sistema PCM.

3. MODULACION POR PULSOS CODIFICADOS DIFERENCIAL

La modulación por pulsos codificados diferencial (DPCM) está diseñada específicamente para tomar ventajas de las redundancias muestra-a-muestra en una forma de onda típica de conversación. Ya que el rango de las diferencias entre las muestras es menor que el rango de las amplitudes de las muestras en forma individual, se necesita un menor número de bits para la codificación de las diferencias entre las amplitudes individuales.

La velocidad de muestreo en un sistema DPCM es frecuentemente la misma que en un sistema convencional PCM, debido a que el filtro limitador de banda en el codificador y el filtro de salida plana en el decodificador son básicamente iguales.

La forma más simple para generar las diferencias entre muestras de un sistema DPCM, es almacenar la muestra previa de entrada directamente en un circuito de muestreo y retención y usar un sustractor analógico para medir el cambio, el cual es cuantizado y codificado para su transmisión.

En la figura 54 se muestra un sistema DPCM más complicado, puesto que el valor previo de entrada se reconstruye mediante una malla de realimentación, que integra las diferencias de las muestras codificadas. En esencia, la señal de realimentación es una estimación de la señal de entrada, obtenida por la integración de las diferencias de las muestras codificadas.

La ventaja que se obtiene al implementar la realimentación es que los errores de cuantización no se acumulan indefinidamente. Si la señal de realimentación viaja desde la señal de entrada, como resultado de la acumulación de errores de

cuantización, la siguiente codificación de la diferencia de la señal automáticamente compensa el error acumulado. En un sistema sin realimentación, la salida producida por el decodificador en la otra terminal, podría acumular un error de cuantización sin límite. Como en los sistemas PCM, el proceso de conversión analógico/digital puede ser uniforme o compansionado.

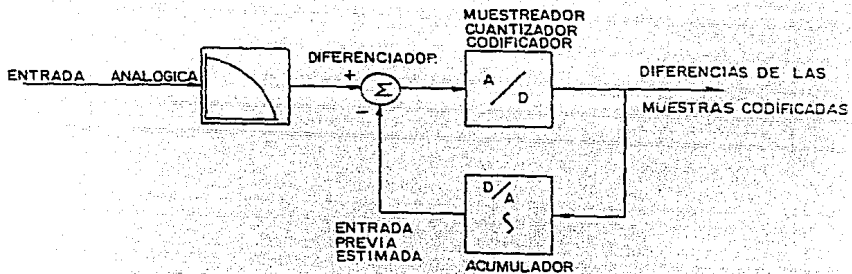
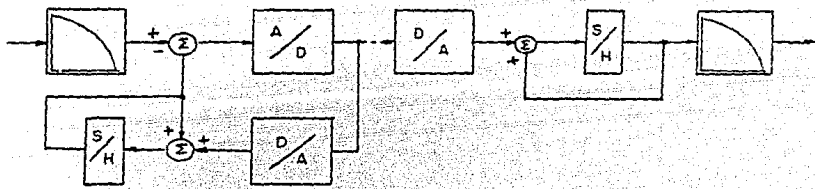


Figura 54. Diagrama de bloques de un sistema DPCM.

Los codificadores PCM diferenciales pueden ser implementados en una gran variedad de formas, dependiendo de la manera en que las funciones de procesamiento serán divididas entre los circuitos analógico y digital. En un extremo pueden ser implementadas las funciones de diferenciación e integración, mientras que en el otro, se puede implementar todo el proceso de la señal en forma digital, empleando muestras PCM convencionales como entrada.

La figura 55a describe un sistema DPCM que usa integración y diferenciación analógica. La conversión analógica/digital (A/D) se ejecuta sobre las diferencias de la señal y la conversión digital/análogica (D/A) para la malla de realimentación, se realiza sobre el código de diferencias de rango limitado. La sumatoria y el almacenamiento analógicos en el circuito de muestreo y retención son usados para preparar la integración.

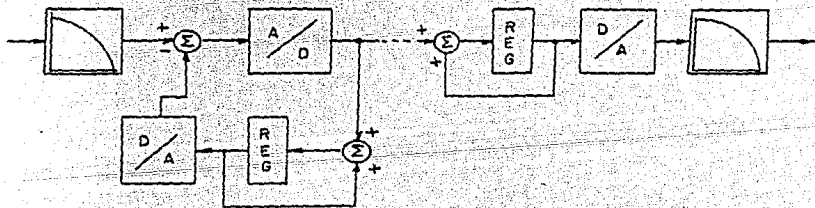
La figura 55b, muestra un sistema que ejecuta la función de integración en forma digital. En lugar de convertir inmediatamente el código de diferencias en analógico para la realimentación, lo suma y almacena en un registro de datos para generar una representación digital de la muestra de entrada previa.



CODIFICADOR

(a)

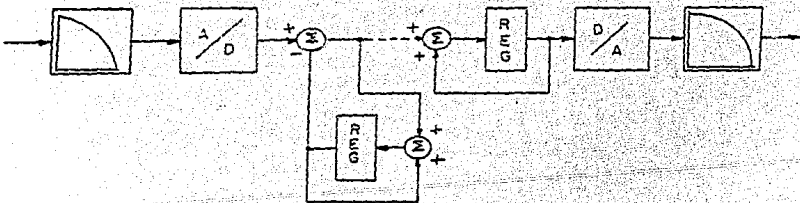
DECODIFICADOR



CODIFICADOR

(b)

DECODIFICADOR



CODIFICADOR

(c)

DECODIFICADOR

Figura 55. Implementaciones OPCM. a) Integración analógica.
b) Integración digital. c) Diferenciación digital.

Un convertidor D/A de escala completa se emplea para producir la señal analógica de realimentación para la diferenciación.

La figura 55c. presenta un sistema en el cual todo el procesamiento de la señal se lleva a cabo mediante circuitos lógicos digitales. El convertidor A/D produce muestras codificadas, con rango de amplitud completa. Nótese que el convertidor A/D, en este caso, debe codificar el rango dinámico completo de la entrada, si los convertidores de las otras versiones operan solamente sobre las señales de las diferencias.

Las ventajas de las implementaciones digitales, se basan en la fuerza y reproductividad de los circuitos digitales, así como su aplicabilidad para implementaciones con circuitos integrados a gran escala (LSI). Para implementaciones con componentes normales, las versiones analógicas son más simples. Además el costo del equipo de conversión A/D decrece, así como también decrece el rango de conversión.

4. MODULACION DELTA (DM)

La Modulación Delta (DM) es otra de las técnicas de digitalización que aprovecha la redundancia muestra-muestra, en una forma de onda digital de conversación. En realidad, la DM se puede considerar como un caso especial de la DPCM, usando un solo bit por muestra en la señal de diferencias. Esto es, el bit único especifica solamente la polaridad de la diferencia entre muestras y de este modo, se sabe si la señal se ha incrementado o ha disminuido desde la última muestra.

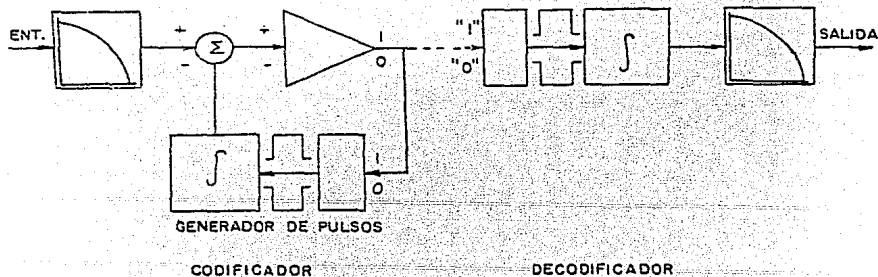


Figura 56a. Sistema de Modulación Delta (DM).

En la figura 56a se muestra un sistema DM. El comparador percibe si el nivel de entrada analógica de voz es mayor o menor que la señal de realimentación. La salida del comparador pasa por un generador de pulsos para formar un tren de pulsos continuo, estos pulsos son integrados y realimentados al comparador. El sistema de realimentación es tal que el integrador salta hacia arriba y hacia abajo para reproducir una aproximación de la forma de onda.

Dicha aproximación se reproduce subiendo en un nivel de cuantización cuando la diferencia es positiva "1" y bajando cuando la diferencia es negativa "0". De esta forma, la entrada es codificada como una secuencia de "subidas" y "bajadas" en forma de escalera. La figura 56b muestra una aproximación DM de una forma de onda típica. Se puede observar que la señal de realimentación salta en una dirección hasta cruzar a la señal de entrada, en ese instante la señal de realimentación invierte la dirección hasta que la señal de entrada es cruzada nuevamente.

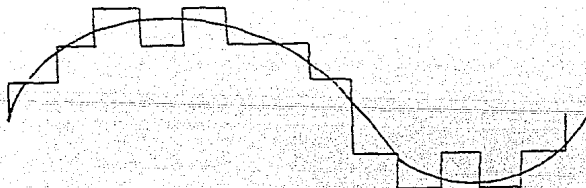


Figura 56b. Forma de onda codificada mediante modulación delta.

5. MODULACION DELTA ADAPTIVA (ADM)

Una de las limitaciones más serias en los sistemas DM, es el hecho de no ser capaces de mantenerse con cambios rápidos en la señal de entrada. Cuando esto sucede, se dice que el modulador delta experimenta sobrecarga de pendiente, figura 57.

Básicamente, la sobrecarga de pendiente ocurre cuando la velocidad de cambio de la entrada excede la velocidad máxima de cambio que puede ser generada por la malla de realimentación.

Numerosos investigadores han estudiado y proporcionado una gran variedad de algoritmos para la adaptación del tamaño del salto de un modulador delta. Generalmente, todos los algoritmos incrementan el tamaño del salto cuando el principio de la

sobrecarga de pendiente se detecta y reduce el salto cuando la pendiente de la entrada decrece.

Uno de los procesos ADM de mayor uso, es la modulación delta con pendiente continuamente variable (CVSD). En este proceso, se agregan un modulador sencillo y un segundo integrador. Bajo condiciones de una señal reducida en la entrada, el segundo integrador no tiene entrada y la función del circuito es idéntica a la del modulador delta sencillo.

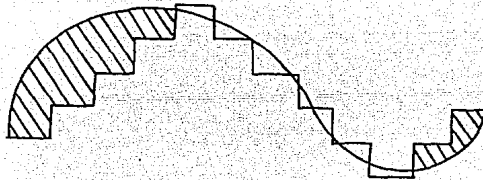


Figura 57. Sobrecarga de pendiente (zona oscura).

Una señal de entrada más grande, se caracteriza por grandes secuencias de 1's y 0's en los datos, mientras el integrador intenta rastrear la entrada. Cuando se generan más 1's ó 0's consecutivos, se incrementa la amplitud del salto hasta alcanzar cierto límite.

6. MULTICANALIZACION POR DIVISION DEL TIEMPO

Análogamente a la FDM, en el Múltiplex por División de Tiempo (TDM), se pueden concentrar varias conversaciones en un mismo medio de transmisión. Para entender el proceso TDM podemos basarnos en la figura 58. En esta, se puede observar como tres señales PAM se multicanalizan por división de tiempo sobre una misma línea de transmisión. Los pulsos de las tres señales son entrelazados abriendo las compuertas de muestreo una por una y en forma cíclica. Durante un ciclo, la línea de transmisión recibe un pulso de cada una de las señales participantes. Al conjunto de pulsos se le denomina trama.

El intervalo de tiempo que ocupa cada uno de estos pulsos se denomina intervalo de tiempo. En la figura se ejemplifican tramas con tres intervalos de tiempo.

En el lado de recepción, los pulsos son distribuidos nuevamente abriendo y cerrando cíclicamente las compuertas de muestreo en el lado receptor.

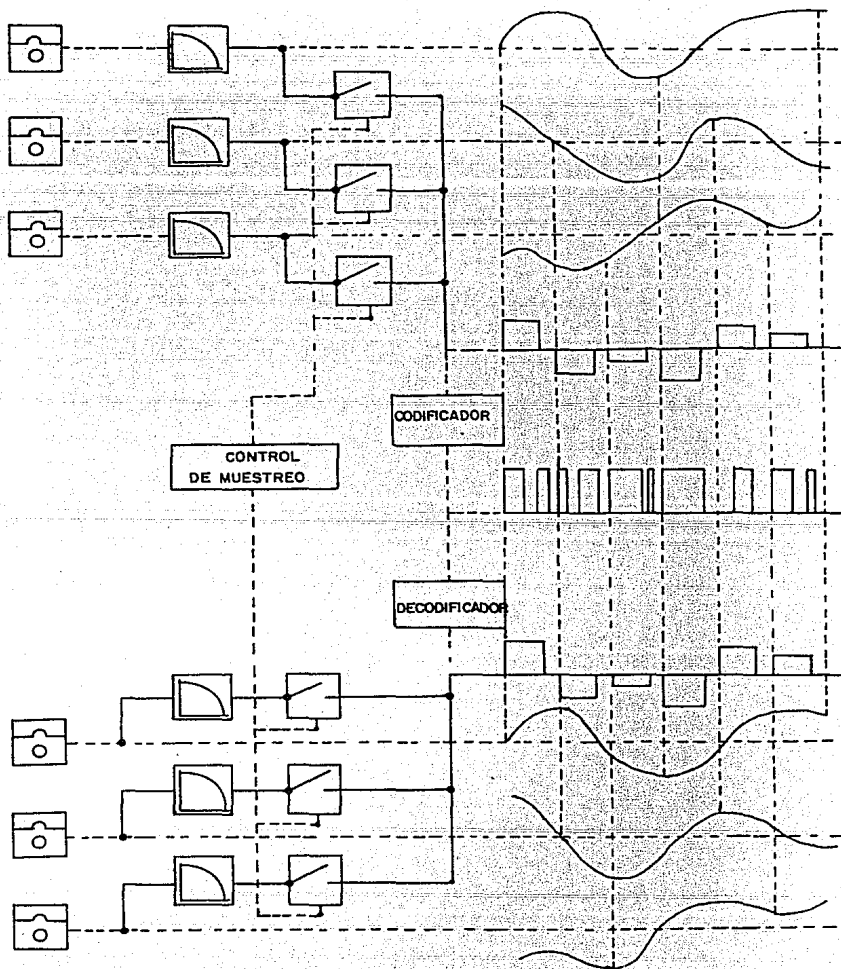


Figura 56. Sistema de transmisión PCM-TDM.

En el caso de las señales PCM, la multicanalización por división de tiempo, se efectúa más frecuentemente antes de que las muestras sean codificadas por pulsos, es decir, las muestras de las señales analógicas participantes se combinan en una línea de transmisión con modulación por amplitud de pulsos (PAM) común.

En la misma figura 58 se observa que los pulsos PCM no son entrelazados pulso por pulso, sino palabra PCM por palabra PCM. Esto a menudo se denomina entrelazado de intervalos de tiempo.

El CCITT recomienda dos sistemas de primer orden o primarios para uso en telefonía: el sistema europeo de 30 canales y el norteamericano de 24 canales.

Para llevar a cabo la multicanalización por división de tiempo, la señal digital se divide en tramas, con una velocidad de repetición de 8000 tramas por segundo, esto se debe a que la frecuencia de muestreo es de 3000 Hz y por el hecho de que la trama contiene una muestra codificada proveniente de cada una de las señales analógicas, figura 59. Cada trama consiste de 32 intervalos de tiempo de 8 bits para el sistema europeo y de 24 intervalos de tiempo para el sistema americano.

Los canales PCM transportan señales analógicas dentro de la banda de 300 a 3400 Hz, codificadas de acuerdo con las leyes A y μ para los sistemas europeo y americano respectivamente.

En los sistemas europeos, el intervalo de sincronización (intervalo de tiempo 0) en cada trama, contiene 8 bits y su propósito es el de formar una señal de reconocimiento para el receptor, con el fin de mantener a este sincronizado con el transmisor, de modo que cada canal PCM pueda ser correctamente identificado.

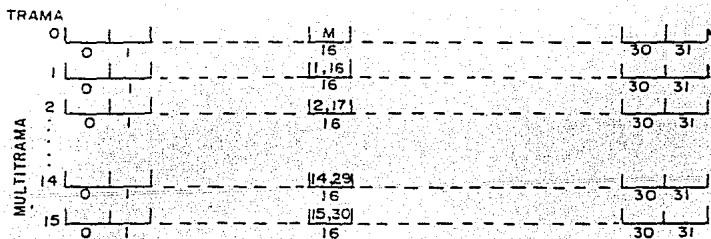


Figura 59. Estructura del esquema de señalización asociada por canales, para el sistema PCM de 30 canales.

El intervalo de tiempo de señalización, el número 16, puede usarse de muchas formas. La gran capacidad de señalización (64

Kbits/s) ofrece flexibilidad en la elección de esquemas adecuados para diferentes propósitos.

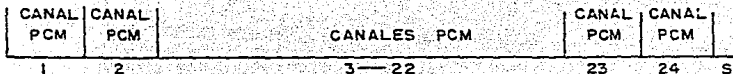
El esquema de señalización en los sistemas europeos usa los intervalos de tiempo 16, en secuencias de 16 tramas denominadas multitramas, como se ve en la figura 59.

En la primera trama de la secuencia (trama 0) el intervalo de tiempo 16 transporta una palabra del multitramado, es decir, una señal de reconocimiento que indica al receptor que se ha iniciado una multitrama. Los 8 bits del intervalo de tiempo 16, trama 1, están divididos de modo que los primeros cuatro bits llevan información de señalización asociada al canal PCM 1 y los últimos cuatro bits llevan información de señalización asociada con el canal 17. En la trama 2, el intervalo de tiempo 16 lleva información de señalización para los canales 2 y 18, así hasta llegar a la trama 15, la última de la multitrama, que lleva la información para los canales 15 y 31.

El sistema PCM norteamericano de 24 canales, tiene una estructura diferente a la estructura europea, como puede observarse en la figura 60.



(A)



S: BIT DE SINCRONIA

(B)

Figura 60. Estructura de la trama. a) sistema europeo, b) sistema norteamericano.

No se asigna ningún intervalo de tiempo a la señalización. Un sistema de señalización asociada por canales se logra tomando el bit menos significativo en cada canal PCM para propósitos de señalización cada 6 tramas. Para la sincronía, se introduce un bit extra en la trama que puede usarse también para la señalización por canal común.

Las líneas de transmisión PCM, usadas para interconectar

multiplex primarios, son la mayoría de las veces pares de cables ya existentes, usados para la transmisión de frecuencia vocal en forma analógica. Para una línea PCM se necesitan dos pares, uno para cada dirección de transmisión, como se muestra en la figura 61. La línea debe estar equipada con repetidores regenerativos cada 1.5 a 2.3 Km, dependiendo del tipo de cable. Esta distancia es aproximadamente la misma que existe entre las bobinas de carga en los circuitos analógicos.

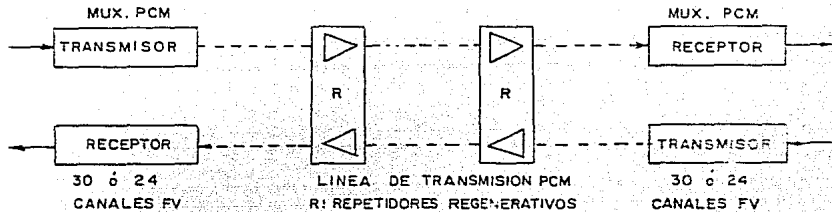


Figura 61. Sistema PCM-TDM de primer orden.

Los sistemas PCM de primer orden están destinados para aplicaciones de corta distancia. En la red de media y larga distancia, donde se exige alta capacidad de canales, es más económico y práctico agrupar una gran cantidad de canales PCM en una línea de transmisión común, formando así sistemas de mayor orden, como el sistema de segundo orden mostrado en la figura 62.

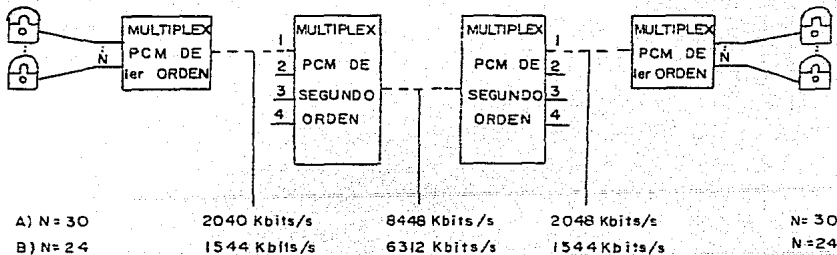


Figura 62. Multiplex digital de segundo orden. a) europeo, b) norteamericano.

o aun de mayor orden como el mostrado en la figura 63, de cuarto orden. Nótese que a cualquier nivel, una señal de datos a la velocidad de entrada que se indica, debe ser multicanalizada con las otras señales de entrada a la misma velocidad. El multicanalizador T1, aunque diseñado originalmente para manejar 24 circuitos digitales de voz, (sistema norteamericano), no se encuentra restringido solamente a la multicanalización de señales de voz. Cualquier señal de 64 Kbits en el formato adecuado podría transmitirse como uno de los 24 canales de entrada que se muestran. Análogamente, en el nivel superior no todas las entradas tienen que ser salidas de un multicanalizador de nivel inferior. En el nivel T3, por ejemplo, algunas de los 6.312 Mbits de entrada podrían ser señales digitalizadas de TV que aparecen

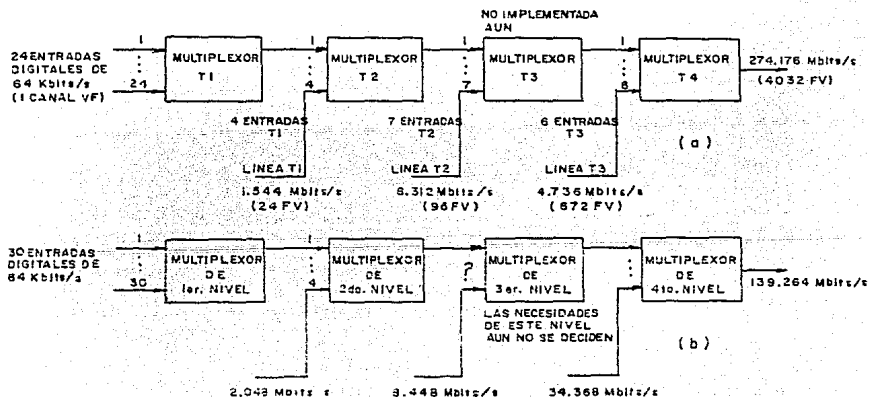


Figura 63. Sistema TDM de cuarto orden, a) americano, b) europeo.

directamente a esta velocidad; otras podrían ser señales multicanalizadas T1 en grupos de 4 señales T2 que transmiten información de voz; otras más, podrían haberse derivado por multicanalización jerárquica y combinaciones apropiadas de algunas señales de datos de tráfico de menor velocidad.

C A P I T U L O I I I

C O N M U T A C I O N D I G I T A L

1. FUNCIONES DE LA CONMUTACION

De los tres elementos básicos en una red de telefonía (terminales, medios de transmisión y conmutadores), los equipos de conmutación son los más desconocidos para los usuarios, no obstante que representan el elemento más importante en términos de la disponibilidad de servicio.

Los sistemas de conmutación han tenido un desarrollo, que va de la mano con el de otras áreas, por ejemplo, la electrónica. Así es como se ha visto pasar desde los primeros sistemas de conmutación mecánicos y manuales, hasta los más sofisticados sistemas digitales, pasando por los conmutadores electromecánicos y semielectrónicos.

El uso de la computadora para controlar las funciones de conmutación, ha permitido realizar la designación de "conmutación electrónica". Sin embargo, las matrices de conmutación de las primeras generaciones de conmutadores electrónicos, actualmente son electromecánicas por naturaleza. La primera vez que se usaron matrices de conmutación electrónicas, fué en Francia en 1971, mientras que en E.E.U.U. fueron introducidas a la red pública en 1976, con la aparición del conmutador digital No. 4ESS de la Bell System.

A principios de 1978, numerosas compañías telefónicas de los E.E.U.U. empezaron a instalar conmutadores digitales en las centrales terminales, la mayoría para reemplazar los viejos conmutadores de paso a paso.

Esta nueva generación de conmutadores proporcionaría, en un principio, solo aquellos servicios disponibles en los primeros sistemas SPC.

Las principales ventajas que presenta la conmutación digital, son los reducidos costos de operación, los cuales son derivados del reducido mantenimiento, el ahorro de espacio, la expansión simplificada, costos reducidos en la interface TDM y pequeños costos de fabricación.

En contraste con la red pública, las redes privadas han empezado a desarrollarse usando transmisión y conmutación digital exclusivamente. En algunos sistemas PBX la digitalización se lleva a cabo en el teléfono mismo. En consecuencia, estos sistemas pueden ser usados eficientemente tanto para la comunicación de datos como de voz.

Obviamente, la función básica de cualquier conmutador, es la de enlazar y liberar conexiones entre canales de transmisión. Sin embargo, la estructura y operación de un conmutador varía en forma significativa, dependiendo de sus aplicaciones particulares. Las tres principales categorías de conmutación para circuitos de voz son: la conmutación local (línea a línea), la conmutación de tránsito (tandem) y la distribución de llamada.

La función más común del conmutador involucra las conexiones directas entre la red de abonado y la central terminal o entre la extensión y el PBX. Estas conexiones necesitan establecer una trayectoria a través del conmutador, desde el circuito de origen hasta un circuito terminal específico. Cada circuito debe ser accesible a cualquier otro de la red. Este nivel de conmutación es algunas veces referido como conmutación línea a línea o conmutación de línea.

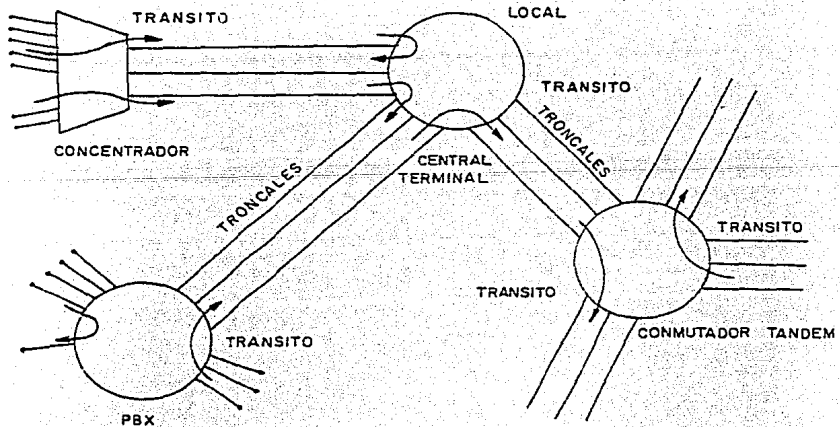


Figura 64. Ejemplos de conmutación de tráfico local y de tránsito.

Las conexiones de tránsito requieren el establecimiento de una trayectoria desde una línea específica de entrada (origen) hasta una línea de salida o grupo troncal. Normalmente, se puede aceptar más de un circuito de salida y por lo tanto, la

estructura de conmutación de tránsito se puede simplificar, debido a que existen alternativas para seleccionar las líneas de salida. Además, no es necesario que también cualquier línea de salida sea accesible desde cualquier línea de entrada. Las funciones de conmutación de tránsito se requieren en todos los sistemas de conmutación de la red telefónica. En la figura 64, se pueden observar los conceptos de conmutación de línea y conmutación de tránsito.

Los distribuidores de llamada frecuentemente se implementan con el mismo equipo básico de los PBX. El modo de operación (software) es, sin embargo, significativamente diferente en el aspecto de que las llamadas de entrada pueden ser enrutadas a cualquier línea disponible. Normalmente, el software de un distribuidor automático de llamada está diseñado para distribuir igualmente las llamadas de llegada a través de las líneas. Aunque no es un requerimiento inherente que cada línea de llegada sea conectable a cualquier otra línea, los distribuidores de llamada están normalmente diseñados para proporcionar accesibilidad a todas las líneas. Además, es deseable que existan funciones de desbloqueo (no importa que trayectorias de conmutación se encuentren en uso, se puede atender una nueva llamada si se encuentra disponible alguna línea auxiliar).

2. CONMUTACION POR DIVISION DE ESPACIO

Conceptualmente, la estructura más simple de conmutación es un arreglo rectangular de puntos de cruce, como se muestra en la figura 65.

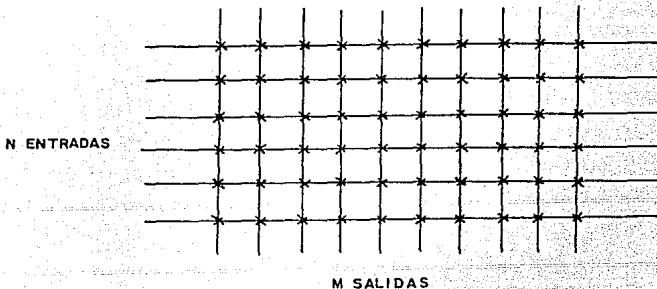


Figura 65. Arreglo rectangular de puntos de cruce.

Esta matriz de conmutación puede ser usada para conectar cualquiera de las N entradas a cualquiera de las M salidas. Si las entradas y salidas se conectan a circuitos de dos hilos, solamente se requiere un punto de cruce por conexión.

Los arreglos de puntos de cruce rectangulares están diseñados para proporcionar conexiones de intergrupos (tránsito) únicamente, esto es, desde un grupo de entrada a un grupo de salida. Las aplicaciones de este tipo de operación se tienen en: distribuidores de llamada, la porción de un PBX o conmutador de central terminal que proporciona la conmutación de tránsito.

En muchas de las aplicaciones mencionadas, no es necesario que las entradas se conecten a cada salida. En situaciones que involucran grandes grupos de salida, se pueden conseguir considerables ahorros en el total de puntos de cruce, si cada entrada puede acceder a un número limitado de salidas. Cuando esto ocurre, se dice que se tiene "disponibilidad limitada".

Traslapando los grupos de salida disponibles por varios grupos de entrada, se establece la graduación. Un ejemplo de una matriz de conmutación graduada es el mostrado en la figura 66, en donde se puede notar que si las conexiones de salida son juiciosamente seleccionadas, el efecto adverso de disponibilidad limitada se minimiza. Por ejemplo, si las entradas 1 y 8 de la misma figura, requieren una conexión al grupo de salidas, se deben seleccionar las salidas 1 y 3 en lugar de las salidas 1 y 4 para evitar un futuro bloqueo de la entrada 2.

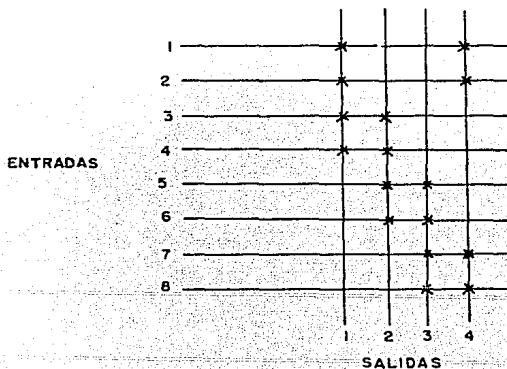


Figura 66. Matriz rectangular de conmutación en forma graduada.

Las estructuras de conmutación graduadas frecuentemente son usadas para acceder a grandes grupos de troncales en conmutadores electromecánicos, donde los puntos de cruce son costosos y los módulos de conmutación individual están limitados en tamaño.

La figura 67 muestra dos estructuras matriciales que pueden ser usadas para interconectar líneas de dos hilos. Las líneas punteadas indican que las correspondientes entradas y salidas de las matrices de conmutación de dos hilos se encuentran actualmente unidas, para proporcionar transmisión bidireccional en circuitos de dos hilos.

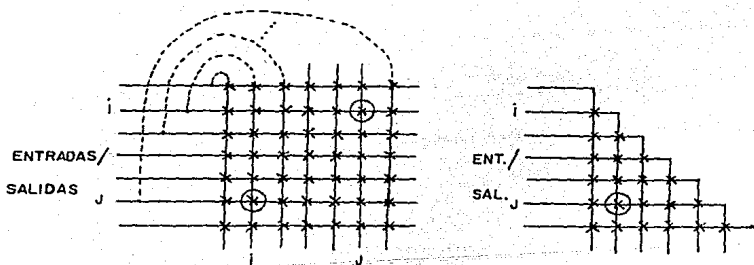


Figura 67. Matrices de conmutación de dos hilos.

Las dos estructuras de la Figura 67 permiten establecer cualquier conexión con la selección de un solo cruce de línea. Sin embargo, la matriz cuadrada permite el establecimiento de cualquier conexión particular en dos direcciones. Por ejemplo, si el enlace de entrada i se encuentra conectado al enlace de entrada j , el punto de cruce seleccionado puede ser: en la intersección de la entrada i y la salida j o en la intersección de la entrada j y la salida i .

En la matriz triangular de la Figura 67, los puntos de cruce redundantes son eliminados, sin que por ello existan complicaciones. Antes de establecer una conexión entre las entradas i, j el elemento de control debe determinar cual de los dos es mayor, i o j . Si el mayor es i , se selecciona el punto de cruce (i, j) , pero si por el contrario, i es el menor, se selecciona el punto de cruce (j, i) .

Los conmutadores de cuatro hilos requieren conexiones separadas para la entrada y la salida de las ramas de un circuito.

Las estructuras de conmutación mencionadas hasta ahora, se conocen como conmutadores de un solo estado, debido a que una entrada se conecta directamente a una salida, mediante un solo punto de cruce. Los conmutadores de un solo estado tienen la propiedad de que cada punto de cruce solo puede ser usado para interconectar un par entrada/salida en particular. Ya que el número de entradas/salidas es igual a $N(N - 1)/2$ para el arreglo triangular y $N(N - 1)$ para un arreglo rectangular, el número de puntos de cruce requeridos para un conmutador de gran tamaño es prohibitivo. Otra deficiencia fundamental de los conmutadores de un solo estado, es la necesidad que tienen de un punto de cruce específico para cada conexión específica.

El análisis de un gran conmutador de un solo estado, revela que los puntos de cruce son ineficientemente utilizados, ya que solamente un punto de cruce de cada renglón o columna de un conmutador cuadrado está siempre en uso.

Con el fin de incrementar la eficiencia de los puntos de cruce y así reducir el número total, es necesario que cualquier punto de cruce pueda ser empleado por más de una conexión potencial. Sin embargo, si los puntos de cruce son compartidos, es también necesario que exista más de una trayectoria para cualquier conexión potencial, de tal forma que no exista bloqueo. Las trayectorias alternas sirven para eliminar o reducir el bloqueo, además de proporcionar protección contra fallas. La partición de los puntos de cruce para trayectorias potenciales a través del conmutador se realiza mediante la conmutación multietapas.

El conmutador de la figura 63 es un conmutador de tres estados, en el cual las entradas y salidas son particionadas en subgrupos de n entradas y n salidas cada uno. Los arreglos de entrada (primer estado) son arreglos de $n \times k$, donde cada una de las k salidas está conectada a uno de los k arreglos del estado central. El tercer estado consiste de $k \times n$ arreglos rectangulares, que proporcionan conexiones desde cada arreglo del estado central a los grupos de n salidas.

Los arreglos del estado central son arreglos de $N/n \times N/n$, los cuales proporcionan conexiones desde cualquier arreglo del tercer estado. Nótese que si todos los arreglos proporcionan disponibilidad completa, existen k trayectorias posibles a través del conmutador, para cualquier conexión particular entre las entradas y salidas.

El número de puntos de cruce N_x requerido por un conmutador de tres estados como el mostrado en la figura 63, está dado por:

$$N_x = 2Nk + k(N/n)^2 \dots \dots \dots (1)$$

donde: N es el número de entradas/salidas
 n es el tamaño de cada grupo de entradas/salidas
 k es el número de arreglos del estado central

Con los conmutadores de tres estados se emplea un número de puntos de cruce significativamente menor que los necesarios cuando se emplean conmutadores de un solo estado.

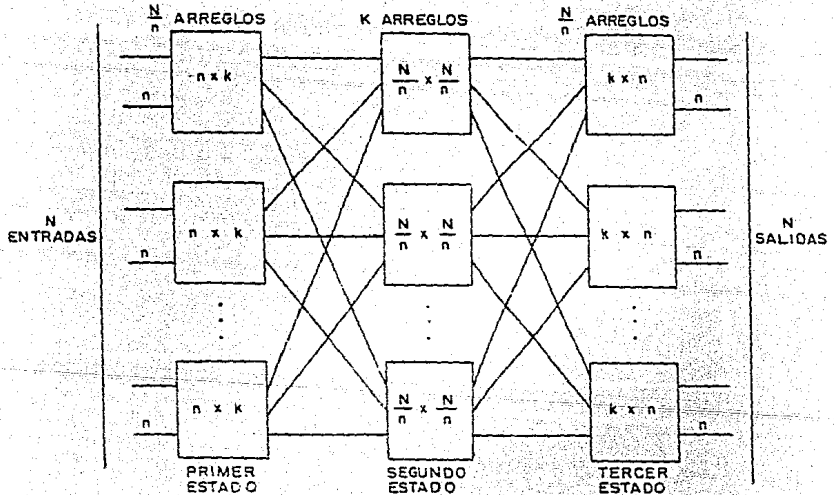


Figura 68. Matriz de conmutación de tres estados.

3. CONMUTADORES DE DESBLOQUEO

Una buena característica de los conmutadores de un solo estado, es que son estrictamente de desbloqueo. Si la parte de llamada está inactiva, la conexión deseada siempre puede establecerse, seleccionando el punto de cruce particular dedicado al par entrada/salida. Sin embargo, cuando los puntos de cruce son compartidos, la posibilidad de bloqueo se incrementa. En un conmutador de tres estados, si cada arreglo es de desbloqueo y el número de k estados centrales es igual a $2n - 1$, el conmutador es estrictamente de desbloqueo.

La condición para la operación de desbloqueo se deriva en primer lugar de la observación de la conexión que se requiere a través del conmutador de tres estados, para localizar un arreglo

del estado central con un enlace libre desde el primer estado y una conexión libre para el tercer estado. Ya que los arreglos individuales son por si mismos de desbloqueo, la trayectoria deseada puede ser establecida en cualquier momento hacia el estado central y puede ser localizada con los enlaces libres apropiados. Un punto clave en la derivación, es observar que ya que cada arreglo del primer estado tiene n entradas, solamente $n - 1$ de estas entradas pueden ser ocupadas cuando la entrada correspondiente a la conexión deseada está ocupada. Si k es mayor que $n - 1$, se entiende que a lo más $n - 1$ enlaces hacia los arreglos del estado central pueden ser ocupados si la salida de la conexión deseada se encuentra ocupada.

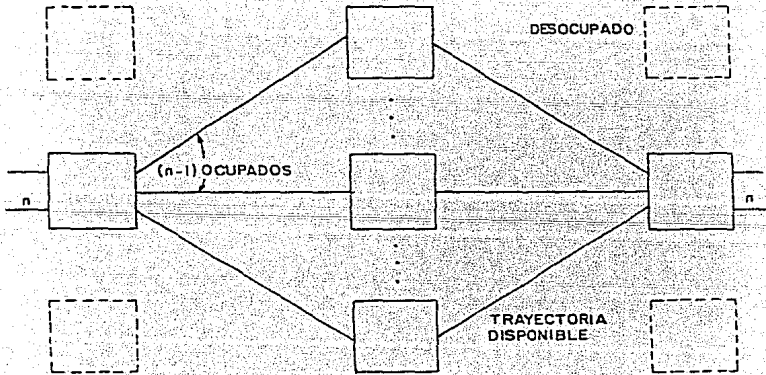


Figura 69. Matriz de conmutación de desbloqueo de tres estados.

La peor situación de bloqueo ocurre como se muestra en la figura 69, si todos los $n - 1$ enlaces se encuentran ocupados desde los arreglos del primer estado que conducen a un conjunto de arreglos del estado central y si todos los $n - 1$ enlaces ocupados para el arreglo del tercer estado vienen de un conjunto separado de arreglos del estado central. Por lo tanto, esos dos conjuntos del estado central no están disponibles para la

conexión deseada. Sin embargo, si existe un arreglo más en el estado, los enlaces de entrada y salida deben estar desocupados y el estado central puede ser usado para establecer la conexión. Por consiguiente, si $k = (n - 1) + (n - 1) + 1 = 2n - 1$, el conmutador es estrictamente de desbloqueo. Sustituyendo este valor de k en la ecuación anterior, revela que para una estricta operación de desbloqueo en un conmutador de tres estados se necesita que:

$$N_x = 2N(2n - 1) + (2n - 1)(N/n)^2 \dots\dots\dots(2)$$

De acuerdo a esta ecuación, el número de puntos de cruce en un conmutador de desbloqueo de tres estados, depende de como están particionadas las entradas y las salidas en grupos de tamaño n . El número mínimo de puntos de cruce para un conmutador de desbloqueo de tres estados esta dado por:

$$N_{x\min} = 4N(\sqrt{2N} - 1) \dots\dots\dots(3)$$

donde N es el número total de entradas/salidas

La tabla 8 proporciona una tabulación de $N_{x\min}$ para varios tamaños de conmutadores de desbloqueo de tres estados y la comparación con la cantidad de puntos de cruce en una matriz cuadrada de un solo estado. Ambas estructuras de conmutación proporcionan inherentemente capacidades de cuatro hilos, lo cual es de mayor interés ya que los circuitos digitales de voz implican circuitos de cuatro hilos.

Número de líneas	Número de puntos de cruce para tres estados	Número de puntos de cruce para un estado
128	7680	16256
512	63488	261632
2048	516096	4200000
8192	4200000	67000000
32768	33000000	1000000000
131072	268000000	17000000000

Tabla 8. cantidad de puntos de cruce para conmutadores de desbloqueo.

4. PROBABILIDADES DE BLOQUEO: GRAFICAS DE LEE

Estrictamente, los conmutadores de desbloqueo rara vez son necesarios en la mayor parte de las redes telefónicas a frecuencia vocal. Tanto los sistemas de conmutación como el número de circuitos en los grupos troncales son dimensionados para cumplir con la mayoría de los requerimientos que pueden ocurrir, sin embargo, economizar implica limitar las capacidades que ocasionalmente se exceden durante las horas de mucho tráfico. El equipo para la red pública telefónica está diseñado para proporcionar un cierto máximo de probabilidad de bloqueo para la hora de mayor ocupación en el día.

Un típico teléfono residencial está ocupado de un 5 al 10% del tiempo durante la hora de mayor tráfico, mientras que un teléfono comercial frecuentemente tiene un alto porcentaje de ocupación durante la hora de mayor carga. En ambos casos, la ocurrencia de bloqueo de la red es del orden del 1% durante la hora de mayor tráfico y no representa una reducción considerable en la capacidad de comunicar, ya que las líneas se encuentran de cualquier forma ocupadas. Bajo estas circunstancias, los conmutadores de las centrales terminales y en menor grado los PBX, pueden ser diseñados con significantes reducciones en los puntos de cruce, permitiendo probabilidades de bloqueo.

Existe una gran variedad de técnicas que pueden ser usadas para evaluar la probabilidad de bloqueo de una matriz de conmutación. Dichas técnicas varían de acuerdo a la complejidad, exactitud y aplicabilidad a las diferentes estructuras de la red. Las gráficas de Lee es una de las más versátiles y conceptualmente, de mayor acercamiento en el cálculo de probabilidades de bloqueo. Aunque esta técnica requiere varias aproximaciones simplificadas, puede proporcionar resultados razonablemente exactos, particularmente cuando las comparaciones de estructuras alternas son más importantes que los números absolutos.

En el siguiente análisis se determinan las probabilidades de bloqueo de varias estructuras de conmutación, empleando los porcentajes de utilización de los enlaces individuales.

Cuando cualquiera de los n enlaces paralelos puede ser usado para completar una conexión, la probabilidad compuesta de bloqueo B es la probabilidad de que todos los enlaces estén ocupados y se determina mediante:

$$B = p^n \dots\dots\dots(4)$$

donde p representa la fracción de tiempo en que un enlace en particular esta en uso, mientras que la probabilidad de que un enlace se encuentre desocupado es:

$$q = 1 - p \dots\dots\dots(5)$$

Quando se necesita toda una serie de n enlaces para completar una conexión, la probabilidad de bloqueo se determina más fácilmente como uno menos la probabilidad de que todos estén disponibles:

$$B = 1 - q^n \dots\dots\dots(6)$$

Una gráfica de probabilidad de una red de tres estados, es la que se muestra en la figura 70. Esta gráfica relaciona el hecho de que cualquier conexión particular puede ser establecida con k diferentes trayectorias, una a través de cada arreglo del estado central.

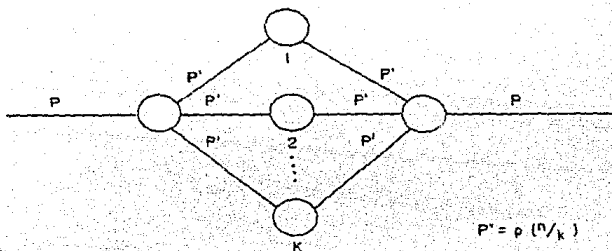


Figura 70. Gráfica de probabilidad de una red de tres estados.

La probabilidad de que cualquier enlace entre estados esté ocupado, se denota mediante p' . La probabilidad de bloqueo para una red de tres estados se puede determinar como:

$$\begin{aligned} B &= \text{La probabilidad de que todas las líneas estén ocupadas} \\ &= (\text{La probab. de que una trayectoria arbitraria esté ocupada})^k \\ &= (\text{La probab. de que al menos un enlace en la trayectoria esté ocupado})^k \\ &= (1 - q')^k \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

donde k es el número de arreglos del estado central y $q' = 1 - p'$ es la probabilidad de que un enlace entre estados se encuentre desocupado.

Si la probabilidad p de que una entrada esté ocupada es conocida, la probabilidad p' de que un enlace entre estados esté ocupado, se puede determinar mediante:

$$p' = p/\beta \dots\dots\dots(8)$$

donde $\beta = k/n$. La ecuación presenta el hecho de que cuando algún número de entradas o salidas estén ocupadas, el mismo número de salidas del primer estado (o entradas del tercer estado) estén también ocupadas. Sin embargo, existen $\beta = k/n$ tantas veces como líneas de entrada y salida entre estados.

El factor β está definido como si k fuera mayor que n , lo cual implica que el primer estado del conmutador está proporcionando expansión de espacio.

En realidad, β puede ser menor que 1, lo que indica que en la primera etapa está concentrado el tráfico de entrada. Generalmente, la concentración en la primera etapa se emplea en conmutadores de centrales terminales o PBX, donde las entradas son poco usadas. En las centrales tandem y centrales de distribución, las troncales de entrada son densamente utilizadas y la expansión generalmente se necesita para proporcionar probabilidades adecuadas de bajo bloqueo.

Sustituyendo la ecuación (8) en la ecuación (7), se obtiene una expresión completa para la probabilidad de bloqueo de un conmutador de tres etapas, en términos de la utilización ρ de la entrada. La relación obtenida es:

$$B = (1 - (1 - \rho/\beta)^2)^k \dots\dots\dots(9)$$

La tabla 9 tabula los números de puntos de cruce obtenidos de la ecuación (1) para el mismo tamaño del conmutador presentado en la tabla 8. El número de arreglos del estado central fue seleccionado en cada caso para proporcionar una probabilidad de bloqueo del orden de 0.002.

Conmutador de tamaño N	n	k	β	Puntos de cruce	Puntos de cruce en desbloqueo
128	8	5	0.625	2560	7680 (k=15)
512	16	7	0.438	14536	63408 (k=31)
2048	32	10	0.313	81920	516096 (k=63)
8192	64	15	0.234	491520	4200000 (k=127)
32768	128	24	0.188	3100000	33000000 (k=255)
131072	256	41	0.160	21500000	268000000 (k=511)

Tabla 9. Diseño de conmutadores de 3 etapas, para probabilidades de bloqueo de 0.002 y utilización de entrada de 10%.

Los diseños de conmutadores de la tabla 9, asumen que las entradas están ocupadas solamente el 10% del tiempo como debe ser

el caso de un conmutador de central terminal o de un PBX. Los grandes ahorros en los puntos de cruce para conmutadores de gran tamaño, se producen mediante la introducción de factores de concentración ($1/\rho$) en la etapa media. Cuando la utilización de entrada es mayor, tal como ocurre en los conmutadores tandem, no son posibles los altos factores de concentración y por lo tanto, los requerimientos de puntos de cruce se incrementan. La tabla 10 lista los requerimientos de puntos de cruce y los parámetros de implementación, para cargas de entrada del 70%.

Conmutador de tamaño N	n	k	ρ	puntos de cruce	Puntos de cruce en desbloqueo
128	8	14	1.75	7168	7680 (k=15)
512	16	22	1.38	45056	63488 (k=31)
2048	32	37	1.16	303104	516096 (k=63)
8192	64	64	1.00	2100000	4200000 (k=127)
32768	128	116	0.91	15200000	33000000 (k=255)
131072	256	215	0.84	113000000	268000000 (k=511)

Tabla 10. Conmutador diseñado para probabilidades de bloqueo de 0.002 y utilización de entrada del 70%.

Los resultados presentados en las tablas 9 y 10 indican que los conmutadores muy grandes requieren altas cantidades de puntos de cruce, aun y cuando se permita el bloqueo.

Si las tres etapas centrales de un conmutador de cinco etapas, como el mostrado en la figura 71, son estrictamente de desbloqueo ($k_2 = 2n_2 - 1$), el diseño proporciona un ahorro de 8704 puntos de cruce en cada arreglo de la etapa central, de las 32768 líneas que tenían los conmutadores de tres etapas presentados anteriormente. Por lo tanto, se ahorran un poco más de un millón de puntos de cruce en el conmutador tandem de 32768 líneas de la tabla 10.

Ya que los estados centrales no introducen bloqueo, el funcionamiento de este conmutador de cinco etapas es idéntico al funcionamiento del conmutador de tres etapas que se analizó anteriormente.

La gráfica del conmutador de cinco etapas se muestra en la figura 72. De dicha gráfica, la probabilidad de bloqueo se determina de la siguiente forma:

$$B = (1 - (q_2)^2 (1 - (1 - q_1^2)^{k_2}))^{k_1} \dots \dots \dots (10)$$

donde: $q_1 = 1 - p_1$ y $q_2 = 1 - p_2$

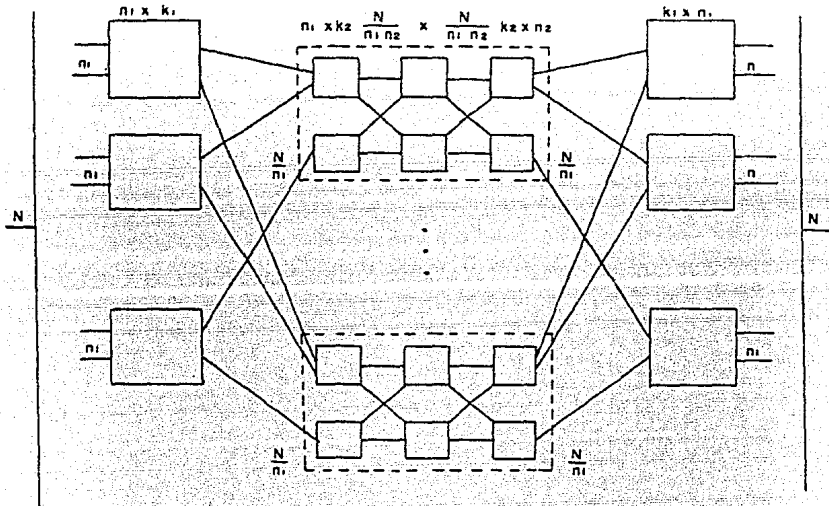


Figura 71. Red de conmutación de cinco etapas.

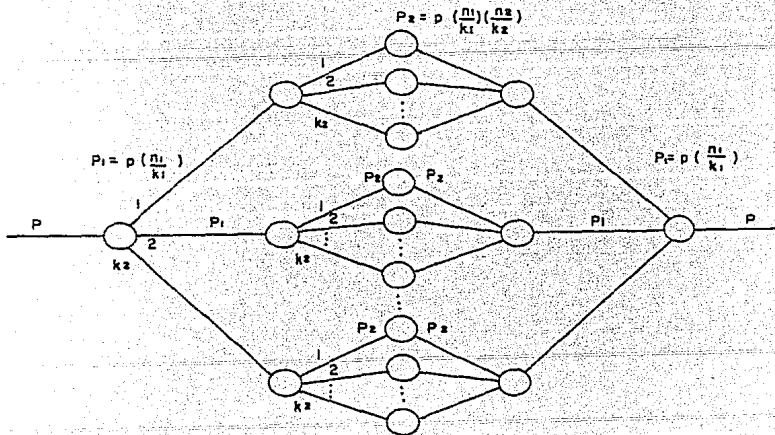


Figura 72. Gráfica de probabilidad de la red de cinco etapas.

Incluso se pueden tener grandes reducciones de puntos de cruce si se emplean más etapas para reemplazar los grandes arreglos de la primera y última etapas.

5. PROBABILIDADES DE BLOQUEO DE JACOBÆUS

Las fórmulas de probabilidad de bloqueo obtenidas de las gráficas de probabilidad, contienen varias hipótesis simplificadas. Una de estas hipótesis involucra la expresión de la probabilidad de bloqueo compuesta de las trayectorias alternas como el producto de las probabilidades de bloqueo de cada trayectoria individual. En realidad, las probabilidades no son independientes, particularmente cuando se presentan cantidades significativas de expansión. Considerando una matriz de conmutación con $k = 2n - 1$, la ecuación (9) produce una probabilidad de bloqueo finita, aún cuando se sabe que el conmutador es estrictamente de desbloqueo. La inexactitud resulta debido a que cuando $2n - 2$ trayectorias están ocupadas, las trayectorias restantes presumiblemente están ocupadas con una probabilidad de $1 - p^2$. Realmente, las trayectorias restantes están necesariamente desocupadas.

En general, cuando existe expansión de espacio, la suposición de probabilidades independientes individuales producen mayores probabilidades de bloqueo que las actuales.

Un análisis más verdadero pero no exacto de las matrices de conmutación multietapas, fue presentado por C. Jacobæus en 1950. Realizando una cantidad considerable de manipuleos matemáticos, se llega a la siguiente ecuación:

$$B = \frac{(n!)^2}{k!(2n - k)!} p^k (2 - p)^{2n-k} \dots\dots(11)$$

donde: n es el número de salidas de la tercera etapa (o entradas de la primera etapa)
 k es el número de arreglos de la segunda etapa
 p es el uso de las entradas

La tabla 11 muestra la comparación de los dos métodos, ecuaciones (9) y (11), para los conmutadores de tres etapas con cantidades variables de expansión de espacio. Esta tabla revela que los dos análisis están completamente de acuerdo para factores de expansión cercanos a la unidad.

En realidad, si p es exactamente igual a la unidad, las dos fórmulas producen resultados idénticos. Como puede observarse, el análisis gráfico de Lee, ecuación (9), produce valores pesimistas para las probabilidades de bloqueo cuando p es mayor que la unidad.

Etapas centrales k	Expansión de espacio p	Ecuación de Lee (9)	Ecuación de Jacobaeus (11)
14	0.875	0.548	0.598
16	1.000	0.221	0.221
20	1.250	0.014	0.007
24	1.500	3.2×10^{-4}	2.7×10^{-5}
28	1.750	3.7×10^{-6}	7.7×10^{-9}
31	1.940	8.5×10^{-8}	1.0×10^{-12}

Tabla 11. Análisis comparativo de la probabilidad de bloqueo para
N = 512; n = 16; p = 0.7.

Como una comparación extra entre las dos aproximaciones, se presenta la tabla 12, para demostrar el uso de las ecuaciones (9) y (11) en conmutadores con cantidades significativas de concentración, las cuales se hacen posibles mediante un uso de la entrada de 0.1.

Etapas centrales k	Expansión de espacio p	Ecuación de Lee (9)	Ecuación de Jacobaeus (11)
6	0.375	0.0097	0.027
8	0.500	2.8×10^{-4}	2.6×10^{-6}
10	0.625	4.9×10^{-6}	1.5×10^{-5}
12	0.750	5.7×10^{-8}	1.4×10^{-7}
14	0.875	4.0×10^{-10}	7.3×10^{-10}
16	1.000	2.9×10^{-12}	2.9×10^{-12}

Tabla 12. Análisis comparativo de la probabilidad de bloqueo para
N = 512; n = 16; p = 0.1.

La tabla 12 muestra que el análisis gráfico de Lee subestima la probabilidad de bloqueo cuando existe concentración. Sin embargo, el análisis de Jacobaeus representado por la ecuación (11) también subestima la probabilidad de bloqueo si se usan grandes factores de concentración y altas probabilidades de

bloqueo.

Los usuarios de los PBX algunas veces experimentan altas probabilidades de bloqueo, pero el bloqueo en estos casos surge de unas cuantas líneas incorporadas hacia otras localidades o de algunos circuitos troncales hacia la red pública.

Hasta ahora, el análisis de probabilidad de bloqueo ha supuesto que una entrada específica será conectada a una salida específica. También se ha supuesto que los requerimientos de servicio sobre líneas individuales son independientes. Estas suposiciones generalmente son válidas para la conmutación de una línea de abonado a otra en un conmutador de una central terminal o para conectar una extensión a otra en un PBX. Sin embargo, cuando las conexiones son hacia o desde troncales, dichas suposiciones no son válidas.

La probabilidad de bloqueo para un circuito específico es únicamente tan importante como su significancia en el bloqueo total para el grupo troncal. La probabilidad de bloqueo para cualquier circuito particular en un grupo troncal puede ser relativamente grande y aun así lograr una baja probabilidad de bloqueo compuesto para el grupo troncal como un todo. Si las probabilidades de bloqueo para las troncales individuales son independientes. Sin embargo, las trayectorias para los circuitos troncales individuales involucran algunos enlaces comunes. Por esta razón, las probabilidades de bloqueo individuales generalmente son dependientes, lo cual se debe considerar en un análisis de probabilidad que tenga más exactitud.

Otro aspecto de los grupos troncales que debe ser considerado cuando se diseña un conmutador o se analizan las probabilidades de bloqueo, involucra la interdependencia de actividad en los circuitos individuales dentro de un grupo troncal. En contraste con las líneas de abonado o extensiones de PBX, los circuitos individuales en una troncal no son independientes en términos de sus probabilidades de estar o no ocupados. Si se prueba un cierto número de circuitos en una troncal y se encuentra que están ocupados, la probabilidad de que los circuitos restantes estén también ocupados se incrementa. Hasta aquí, sólo es necesario señalar, que estas dependencias acusan un incremento en las probabilidades de bloqueo, si las troncales individuales están compitiendo por trayectorias individuales en el conmutador. Así mismo, el efecto de estas dependencias se minimiza mediante la asignación de las troncales individuales hacia arreglos de entrada separados, tal que las trayectorias independientes estén involucradas en conexiones hacia y desde el grupo troncal.

Cuando el conmutador se divide en subgrupos y el tráfico se concentra mediante arreglos de conmutación de la primera etapa, algunos abonados sobreactivos pueden degradar significativamente el servicio para otros abonados en el subgrupo.

Las compañías operadoras han solucionado el problema de los abonados sobreactivos, asignándoles específicamente líneas más

activas (comerciales) para separar los grupos de entrada del conmutador.

Con un cierto número de técnicas, es posible reducir las probabilidades de bloqueo en una red de conmutación dada, mediante la elección juiciosa de las trayectorias a través del conmutador cuando se establecen nuevas conexiones. La trayectoria que impone las mínimas restricciones sobre otras conexiones potenciales debe ser seleccionada. Por ejemplo, si existe una decisión en un conmutador de tres etapas, para seleccionar una trayectoria a través de un arreglo de la etapa central que ya está en uso contra una trayectoria a través de un arreglo que no está en uso, se debe seleccionar la primera. Si todo un arreglo de la etapa central se encuentra disponible, a cualquier requerimiento de conexión subsecuente se le puede dar servicio. A este procedimiento se le conoce como empaquetamiento de llamadas.

Generalmente hablando, el empaquetamiento de llamadas implica que las nuevas conexiones deberían usar las porciones más congestionadas de un conmutador. Una implicación desafortunada de probar primero las líneas más congestionadas es que los tiempos de exploración promedio se incrementan, ya que los intentos iniciales para encontrar una trayectoria son menos probables de suceder que si las trayectorias son probadas al azar.

Otra técnica que se puede usar para reducir la probabilidad de bloqueo de una matriz dada, es la de reacomodar las conexiones existentes que de otro modo serían bloqueadas. Esta técnica tiene un gran potencial para reducir la probabilidad de bloqueo, debido a que esencialmente permite al "paquete" saber cual será la siguiente llamada.

6. CONMUTADORES DE CUATRO HILOS

Los conmutadores multietapas pueden ser usados para operaciones de conmutación tanto de dos como de cuatro hilos. La figura 73, describe una conexión de cuatro hilos a través de un conmutador de cuatro etapas. Nótese que se deben establecer dos trayectorias para una conexión completa.

Las dos trayectorias mostradas en la figura demuestran una relación particularmente útil: una trayectoria es una imagen de espejo de la otra. Si el diagrama del conmutador se dobla sobre su línea vertical del centro, las trayectorias coinciden. De aquí que este método para establecer conexiones es algunas veces conocido como operación de doblez. Cuando se establecen todas las conexiones en el conmutador con una relación de doblez, se obtienen algunos beneficios.

Primero que nada, solo se necesita una operación de exploración ya que la trayectoria inversa está automáticamente disponible como una imagen de espejo de la trayectoria. En esencia, todos los puntos de cruce de un lado están aparejados

con otro punto de cruce en un arreglo correspondiente del lado opuesto del conmutador.

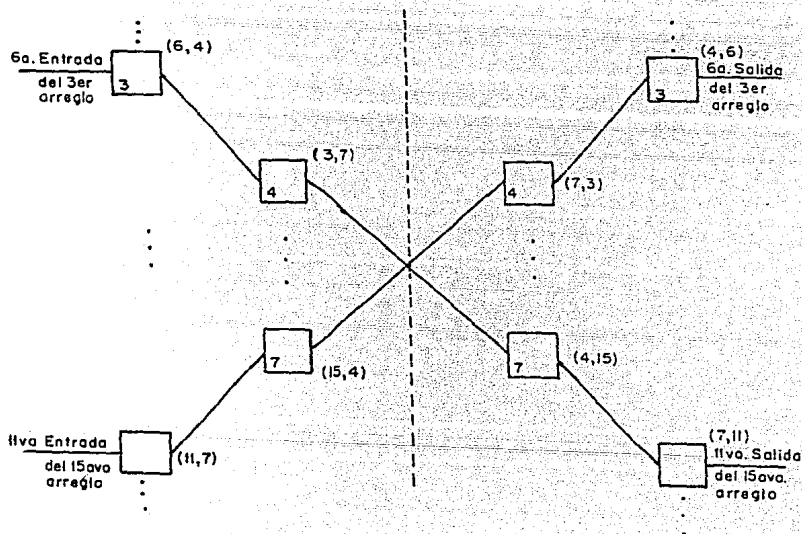


Figura 73. Conexión a cuatro hilos a través de un conmutador de cuatro etapas.

Siempre que un punto de cruce de un par es usado en una conexión, el otro punto de cruce del par también es usado.

Una segunda ventaja de la operación a cuatro hilos doblada, resulta porque la cantidad de información que especifica el estado del conmutador puede ser partido a la mitad. Únicamente se necesita el estado de cada par de puntos de cruce o la unión asociada para encontrar una trayectoria disponible a través del conmutador.

Otro de los beneficios de la estructura doblada, ocurre debido a que la probabilidad de bloqueo es la mitad de la probabilidad de encontrar dos trayectorias independientes bloqueadas. Podría parecer que apertando los puntos de cruce en

la forma descrita, restringiría las trayectorias disponibles para una conexión particular. Pero por el contrario, los puntos de cruce apereados garantizan que una trayectoria inversa está automáticamente disponible para cualquier comunicación asignada a esa dirección.

7. EXPLORACION

La determinación de una trayectoria a través de un conmutador de una sola etapa es virtualmente automática, ya que el punto de cruce necesario es especificado únicamente por el par entrada/salida que debe ser conectado. En contraste, la disponibilidad de más de una trayectoria en un conmutador multietapas complica el proceso de selección de la trayectoria en varias formas. Primero, el elemento de control de un conmutador debe mantener el orden de las trayectorias potenciales que estén disponibles para una conexión en particular. Con la conmutación controlada por computadora, la información de las trayectorias de conmutación que están disponibles se retiene en la memoria y se la refiere como un estado de almacén. Una rutina de exploración programada es usada para procesar la información del estado de memoria y seleccionar una trayectoria disponible. Siempre que se establece una nueva conexión o se libera una anterior, el estado de almacén se actualiza con la información apropiada.

Las operaciones de exploración que se implementan en un programa almacenado en computadora o en equipo especializado, involucran el uso de equipo común y deben por lo tanto ser analizadas para determinar la velocidad a la que deben ser procesados los requerimientos de conexión. El tiempo requerido para encontrar una trayectoria disponible es directamente dependiente de la cantidad de trayectorias potenciales que son probadas antes de que se encuentre una disponible. Algunos sistemas son capaces de probar varias trayectorias en paralelo y por lo tanto acortan el tiempo de procesamiento. Ya que el número de trayectorias potenciales que deben ser probadas para encontrar una trayectoria libre es una función de la utilización de los enlaces, los tiempos de exploración se incrementan cuando el equipo de control común está más ocupado.

Suponiendo que la probabilidad de que una trayectoria a través del conmutador se encuentre ocupada se denote por p . Si cada una de la k trayectorias posibles a través del conmutador tiene una probabilidad de estar ocupada igual e independiente, el número esperado N_p de trayectorias que deben ser probadas antes de encontrar una libre, se determina por:

$$N_p = (1 - p^k)/(1 - p) \dots\dots\dots(12)$$

8. CONTROL DE LA MATRIZ DE CONMUTACION

Cuando se determina una trayectoria disponible a través del elemento de control en la red de conmutación, el elemento de control del conmutador transfiere la información necesaria a la red, para seleccionar los puntos de cruce asociados. La selección de puntos de cruce dentro de una matriz se realiza en una de dos formas. El control puede estar asociado con las líneas de salida y por lo tanto especifica cuales entradas deben ser conectadas a las salidas asociadas o la información de control puede estar asociada con cada entrada y en forma subsecuente especifica a cuales salidas deben ser conectadas las respectivas entradas. A la primera forma se le conoce como control asociado a la salida mientras que la segunda es conocida como control asociado a la entrada. Estas dos implementaciones de control se muestran en la figura 74.

El control asociado a la entrada es inherentemente requerido en los conmutadores paso a paso, donde la información (pulsos de discado) llega en el enlace de entrada y se usa para seleccionar directamente los enlaces para cada etapa sucesiva. Sin embargo, en los sistemas de control común la información dirigida a la línea de origen y la línea terminal está disponible simultáneamente y por lo tanto se puede establecer la conexión, iniciando en la salida deseada y regresando a través del conmutador mientras se seleccionan las entradas para cada etapa.

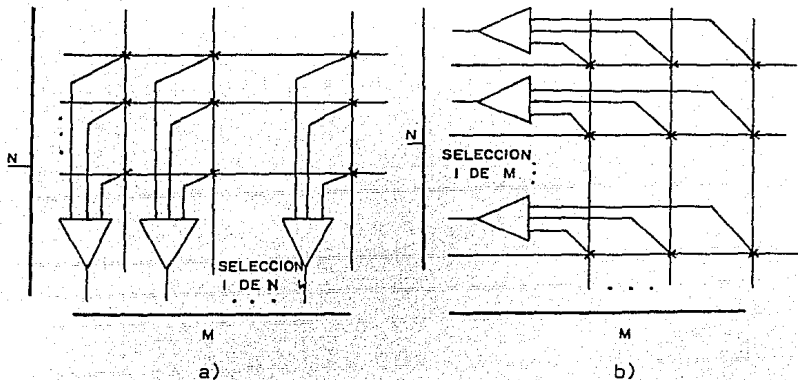


Figura 74. Control de la matriz de conmutación. a) Asociado a la salida b) Asociado a la entrada.

En la figura 75 se muestra la implementación de los dos tipos de arreglos de puntos de cruce digitales. El control asociado emplea un multiplexor/selector convencional de datos para cada salida de la matriz. El número de bits requerido para controlar cada uno de los selectores de datos es $\log_2 N$, donde N es el número de entradas. En consecuencia, el número total de bits requeridos para completar la configuración de la conexión es: $M \log_2 N$.

El control asociado a la entrada se puede implementar mediante el empleo de multiplexores/decodificadores de línea convencionales. Las salidas son comunes, usando una función lógica "or alambrada". Así que las compuertas de salida de cada circuito decodificador deben ser de dispositivos de tres estados o colector abierto si se emplea lógica TTL. El número total de bits requerido para especificar la configuración de la conexión, es en este caso $N \log_2 M$.

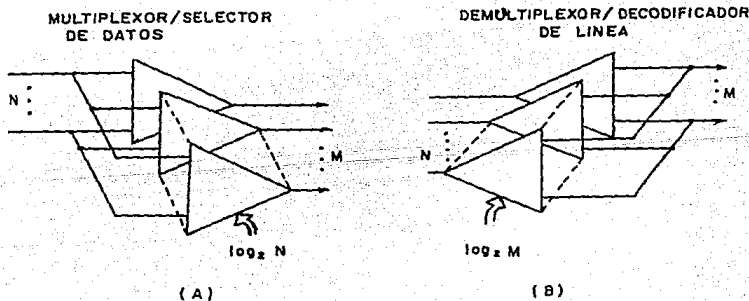


Figura 75. Implementación con componentes normales, de los arreglos de puntos de cruce digitales. a) Control asociado a la salida, b) Control asociado a la entrada.

Una desventaja significativa del control asociado a la entrada, surge de la necesidad de inhabilitar las entradas fuera de uso, para evitar conexiones cruzadas cuando otra entrada selecciona la misma salida. Con el control asociado a la salida, las salidas sin usar pueden permanecer conectadas a una entrada, sin impedir que esta sea seleccionada por otra salida. Por esta

razón, y más generalmente para obtener mayores velocidades de operación, las redes de conmutación digital emplean control asociado a la salida. Sin embargo, se puede notar que la cantidad de información necesaria para especificar la configuración de una conexión con control asociado a la entrada es menor que el control a la salida si el número de entradas N es mucho mayor que que el número de salidas M .

9. CONMUTACION POR DIVISION DE TIEMPO

Como se puede notar en la conmutación multietapas, la participación de los puntos de cruce en más de una conexión potencial, proporciona ahorros significativos en los costos de implementación de los conmutadores por división de espacio. En los casos mostrados, los puntos de cruce de los conmutadores por división de espacio multietapas son compartidos de una conexión a la siguiente, pero un punto de cruce asignado a una conexión en particular es dedicado únicamente a esa conexión durante su duración.

La conmutación por división de tiempo involucra el compartimiento de los puntos de cruce durante cortos períodos de tiempo, tal que los puntos de cruce individuales y sus enlaces entre etapas asociadas son reasignados continuamente a las conexiones existentes. Cuando los puntos de cruce son compartidos en esta forma, se obtienen ahorros mucho mayores en cuanto a los mismos puntos de cruce. En esencia, los ahorros se obtienen mediante la multiplexación por división de tiempo de los puntos de cruce y los enlaces entre etapas, en la misma forma que los enlaces de transmisión son multiplexados por división de tiempo para compartir los cables de cable entre las centrales.

La conmutación por división de tiempo es igualmente aplicable a señales analógicas como a señales digitales. La conmutación por división de tiempo analógica es atractiva cuando se interfazca con medios de transmisión analógicos ya que las señales solamente son muestreadas y no codificadas digitalmente. Sin embargo, los grandes conmutadores por división de tiempo experimentan las mismas limitaciones que los enlaces analógicos por división de tiempo: las muestras PAM son particularmente vulnerables al ruido y a la distorsión. En los conmutadores digitales las señales de voz son regeneradas cada vez que pasan a través de una compuerta lógica.

9.1 Conmutación analógica por división de tiempo.

La figura 76 describe una estructura simple de conmutación analógica por división de tiempo. Un bus de conmutación sencillo soporta a un número múltiple de conexiones interponiendo muestras PAM desde las interfaces de las líneas receptoras a las interfaces de las líneas transmisoras. La operación se describe

como si las interfaces receptoras estuvieran separadas de las interfaces transmisoras. Cuando son conectadas líneas analógicas de dos hilos, las dos interfaces se implementan en un módulo común. Además, en algunos sistemas PAM-PBX, las muestras analógicas son transferidas simultáneamente en ambas direcciones entre las interfaces.

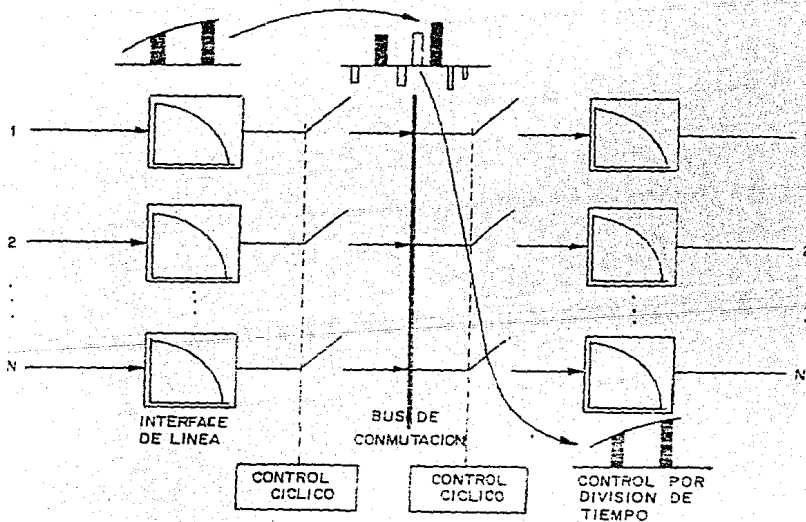


Figura 76. Conmutación analógica por división de tiempo.

En la figura 76 se incluyen dos memorias de control cíclico, la primera controla las compuertas de entrada hacia el bus, con una muestra a la vez, la segunda memoria de control opera la sincronía con la primera y selecciona la línea de salida apropiada para cada muestra de entrada. Un conjunto completo de pulsos, uno de cada línea de entrada activa, se concibe como una estructura. La velocidad de las estructuras es igual a la velocidad de cada línea.

9.2 Conmutación digital por división de tiempo.

La matriz de conmutación analógica descrita en la sección

anterior, es esencialmente una matriz de conmutación por división de espacio. Cambiando continuamente las conexiones por períodos cortos de tiempo, en forma cíclica, en la configuración del conmutador por división de espacio, se duplican una vez por cada intervalo de tiempo. A este modo de operación se le conoce como conmutación multicanalizada en tiempo. Mientras que este modo de operación puede ser completamente útil para las señales tanto analógicas como digitales, las señales digitales multicanalizadas por división de tiempo generalmente requieren conmutación entre intervalos de tiempo, así como entre líneas físicas.

Esta segunda forma de conmutación representa una segunda dimensión de conmutación y se le conoce como conmutación de tiempo.

Los requerimientos básicos de una red de conmutación por división de tiempo se muestran en la figura 77. Como un ejemplo de conexión, el canal 3 del primer enlace TDM se conecta al canal 17 del último enlace TDM. La conexión indicada implica que la información que llega en el intervalo de tiempo número 3 del primer enlace se transfiere al intervalo de tiempo número 17 del último enlace. Ya que el proceso de digitalización de voz implica inherentemente una operación de cuatro hilos, se requiere y se realiza una conexión de regreso mediante la transferencia de información desde el intervalo 17 del último enlace de entrada al intervalo de tiempo 3 del primer enlace. En consecuencia, cada conexión requiere dos transferencias de información, cada una involucrando traslaciones en tiempo y espacio.

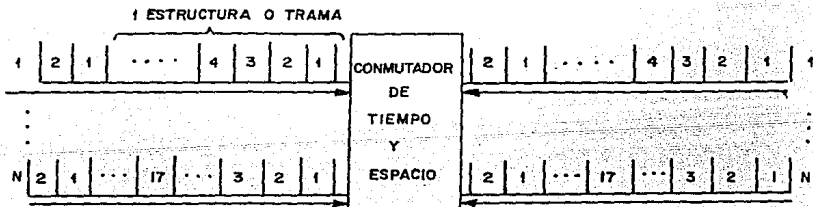


Figura 77. Conmutación por división de tiempo y espacio.

Básicamente, un conmutador de tiempo opera escribiendo los datos dentro y leyendolos fuera de una memoria simple. En el proceso, la información en intervalos de tiempo seleccionados, se intercambia como se muestra en la figura 78. Cuando las señales digitales pueden ser multicanalizadas dentro de un solo formato

TDM, se pueden implementar varios conmutadores con tan solo conmutación en tiempo. Sin embargo, las limitaciones prácticas en la velocidad de memoria limitan a su vez el tamaño de un conmutador de tiempo, por lo tanto se necesita una cierta cantidad de conmutación por división de espacio en los grandes conmutadores.

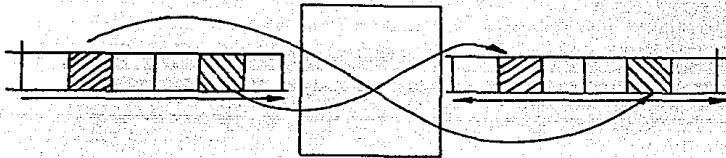


Figura 78. Operación de intercambios de intervalos de tiempo.

La operación básica funcional de un conmutador de memoria se muestra en la figura 79. Los circuitos individuales de mensaje digital son multiplexados y demultiplexados en una forma fija para establecer un solo enlace TDM para cada trayectoria. Las funciones de multiplexaje y demultiplexaje pueden ser consideradas como parte del mismo conmutador o pueden ser implementadas en terminales remotas de transmisión. Si se implementan localmente, el multiplexor y el demultiplexor se pueden conectar en paralelo directamente a la memoria. De otra forma, se debe usar un convertidor serie-paralelo para acumular la información en un intervalo de tiempo, antes de ser escrita en la memoria. En ambos casos se requiere un acceso de memoria escrita para cada intervalo de tiempo de entrada y un acceso de lectura de memoria para cada intervalo de tiempo de salida.

El cambio de información entre dos intervalos de tiempo diferentes se realiza mediante una memoria de intercambio de intervalos de tiempo (TSI). En el TSI de la figura 79, los datos de los intervalos de tiempo son escritos dentro de las localidades secuenciales de la memoria. Los datos de los intervalos de tiempo de salida sin embargo, son leídos de la dirección de la TSI obtenida de una memoria de control. Como se indica en la memoria de control asociada, una conexión dúplex entre el canal i TDM y el canal j TDM implica que la dirección i de la TSI es leída durante el intervalo de tiempo de salida j y viceversa. La memoria TSI es accesada dos veces durante cada intervalo de tiempo de enlace. Primero, alguna circuitería de control selecciona el número de intervalo de tiempo como una dirección de escritura, en seguida, el contenido de la memoria de

control para ese intervalo de tiempo en particular, se selecciona como una dirección de lectura.

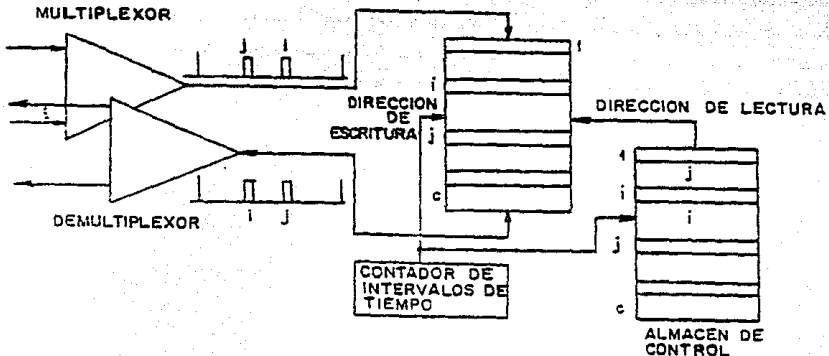


Figura 79. Circuito de intercambio de intervalos de tiempo.

Ya que se requiere una lectura y una escritura para cada canal de entrada y salida de la memoria TSI, el número máximo de canales que pueden ser soportados por un sólo conmutador de memoria es:

$$c = 125/2t_c \dots\dots\dots(13)$$

donde 125 es el tiempo de trama, en microsegundos, para voz muestreada a 3 KHz y t_c es el tiempo del ciclo de memoria en microsegundos.

Como ejemplo, considere el uso de una memoria de 500 ns. Empleando la ecuación (13) se obtiene que el conmutador de memoria puede soportar hasta 125 canales dúplex (62 conexiones) en un modo de operación estrictamente de desbloqueo. La complejidad del conmutador es completamente moderada; la memoria TSI almacena una trama de datos organizada como C palabras de 8 bits cada una. La memoria de control también requiere de C palabras, pero cada palabra con una longitud igual a $\log_2 C$. Por lo tanto, ambas funciones de memoria pueden estar provistas de

128 x 8 bits de memoria de acceso aleatorio (RAM).

Si la combinación de multiplexor y demultiplexor de la figura 79 puede ser mejorada para proporcionar concentración y expansión, el sistema puede dar servicio a un mayor número de líneas de entrada, dependiendo del tiempo de utilización del circuito.

Las etapas de conmutación de tiempo requieren de alguna forma de elementos de retardo para proporcionar los intercambios de intervalos de tiempo deseados. Los retardos se pueden implementar fácilmente si se usan memorias de acceso aleatorio. Si una localidad de memoria es distribuida para cada intervalo de tiempo en el formato de trama TDM, la información de cada canal TDM puede ser almacenada hasta por una trama completa sin trasladarse.

Existen dos formas básicas para controlar las memorias de las etapas de tiempo: escribiendo secuencialmente y leyendo en forma aleatoria o escribiendo en forma aleatoria y leyendo secuencialmente. La figura 80 describe ambas formas de operación e indica como son accesadas las memorias, para trasladar la información del intervalo de tiempo 3 al intervalo de tiempo 17. Nótese que los modos de operación usan una memoria de control cíclico que es accesada en sincronía con el contador de intervalos de tiempo.

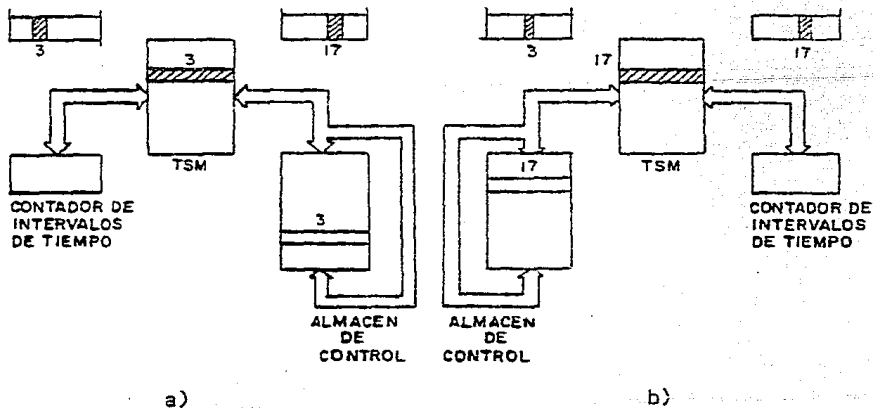


Figura 80. Modos de operación de las etapas de tiempo.

- a) Escritura secuencial/Lectura aleatoria.
- b) Escritura aleatoria/Lectura secuencial.

El primer modo de operación de la figura 80 implica que las localidades de memoria están dedicadas a los respectivos canales del enlace TDM de entrada. El dato para cada intervalo de tiempo de llegada es almacenado en localidades secuenciales de la memoria, mediante el incremento de un contador con cualquier intervalo de tiempo. Como se indica, el dato recibido durante el intervalo de tiempo 3 se almacena automáticamente en la tercera localidad de la memoria. En la salida, la información recuperada de la memoria de control especifica que dirección debe ser accesada para ese intervalo de tiempo en particular. Como puede observarse, la palabra 17 de la memoria de control contiene el número 3, lo que significa que el contenido de la memoria de la etapa de tiempo (TSM) dirección 3 se transfiere al enlace de salida durante el intervalo de tiempo de salida número 17.

El segundo modo de operación de la figura 80 es exactamente el opuesto del primero. El dato de entrada se escribe en las localidades de memoria, como lo especifica la memoria de control, pero el dato de salida se recupera secuencialmente bajo el control de un contador de intervalos de tiempo de salida. Como se indica en el ejemplo, la información recibida durante el intervalo de tiempo 3 se escribe directamente en la dirección 17 del TSM, de donde se recupera automáticamente mediante la salida del canal TDM número 17.

10. CONMUTACION BIDIRECCIONAL

Los grandes conmutadores digitales requieren operaciones de conmutación de espacio y tiempo. Existe una gran variedad de configuraciones de red que cumplen con estos requerimientos. Por ejemplo, considérese la estructura de conmutación de la figura 81 este conmutador consiste de únicamente dos etapas: una etapa de tiempo T seguida de una etapa de espacio S, por lo tanto, a esta estructura se le conoce como conmutador de tiempo-espacio TS.

La principal función de la etapa de tiempo es la de retardar la información en los intervalos de tiempo de llegada, hasta que ocurra un intervalo de tiempo de salida. En este tiempo, la información retenida se transfiere a través de la etapa de espacio al enlace de salida apropiado.

En el ejemplo mostrado, la información contenida en el intervalo de llegada 3, del enlace 1, es retardada hasta que aparece el intervalo de salida número 17. La trayectoria de regreso requiere que la información que llega en el intervalo de tiempo número 17 del enlace N se retarde en el intervalo de tiempo 3 de la siguiente trama de salida. Nótese que una etapa de tiempo puede proporcionar retardos que van desde un intervalo de tiempo hasta una trama completa.

Asociada con la etapa de entrada se tiene una memoria de control que contiene la información necesaria para especificar la

configuración de la etapa de espacio para cada intervalo de tiempo de una trama. Esta información de control es accesada cíclicamente en la misma forma que la información de control del conmutador por división de tiempo analógico.

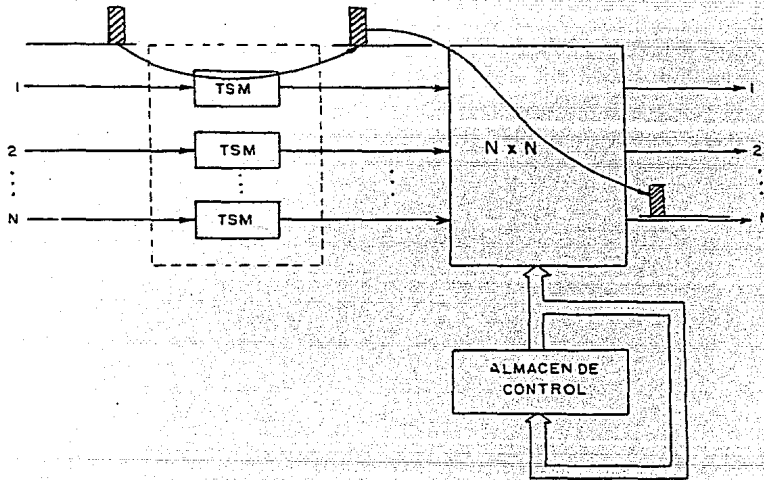


Figura 81. Matriz de conmutación Tiempo-Espacio TS.

Por ejemplo, durante cada intervalo de tiempo de entrada 3, la información de control es accesada para que especifique que el enlace entre etapas número 1 se conecta al enlace de salida N. Durante otros intervalos de tiempo, el conmutador de espacio es completamente reconfigurado para soportar otras conexiones. Un medio conveniente para representar una memoria de control, es un registro de corrimiento paralelo de vuelta completa. El ancho del registro de corrimiento es igual al número de bits requerido para especificar toda la configuración del conmutador de espacio durante un solo intervalo de tiempo. La longitud del registro de corrimiento conformará al número de intervalos de tiempo en una

trama. Naturalmente, es necesario un cambio de información en la memoria de control, tal que se puedan establecer nuevas conexiones. En la práctica, la memoria de control se puede implementar con RAM y contadores que direccionan en una forma cíclica.

Las estructuras de conmutación por división de espacio, generalmente son comparadas en función del número total de puntos de cruce requeridos para proporcionar un cierto grado de servicio. Sin embargo, otros factores que deben ser considerados en un buen análisis son: la modularidad, requerimientos de exploración, efectos de las fallas, serviciabilidad, requerimientos de interconexión o alambrado, etc.

En el caso de matrices de conmutación electrónicas de estado sólido en general y en la conmutación por división de tiempo en particular, el número de puntos de cruce es tan solo una medida insignificante del costo de implementación. Las estructuras de conmutación que utilizan circuitos integrados con números relativamente grandes de puntos de cruce internos generalmente son de mayor costo efectivo que otras estructuras que pueden tener menos puntos de cruce pero más empaques. Por lo tanto, un parámetro de diseño más relevante para conmutadores de estado sólido, puede ser el número total de piezas de circuitos integrados. Si se implementan diseños alternos de un grupo común de circuitos integrados, el número de piezas puede reflejar el número de puntos de cruce.

Otro parámetro de costo que es muy útil, es el número total de conexiones (pines) requeridas en una implementación en particular. Aunque este parámetro está muy relacionado con el número total de piezas, generalmente es más útil ya que refleja más exactamente el costo de piezas y los requerimientos de área en las tarjetas de circuito impreso.

Los circuitos integrados de media escala típicamente proporcionan el equivalente de un punto de cruce (puerta AND) por 1 1/2 conexiones externas para acceder el punto de cruce.

En adición al número de puntos de cruce en las etapas por división de espacio, un conmutador digital por división de tiempo, emplea cantidades significantes de memoria, las que deben ser incluidas en un costo total estimado. La demanda de memoria incluye los arreglos de memoria de la etapa de tiempo y las memorias de control para ambas etapas, de espacio y de tiempo. Asumiendo que 100 bits de memoria corresponden a 1 1/2 interconexiones de circuito integrado (una RAM de 1024 bits generalmente requiere 14 conexiones externas), se pueden relacionar los costos de memoria con los costos de los puntos de cruce, mediante un factor de 100 bits por punto de cruce. El análisis de la complejidad en la implementación para matrices de conmutación digital por división de tiempo incluye el número total de puntos de cruce y el número total de bits de memoria dividido entre 100.

La complejidad de la implementación se expresa de la

siguiente forma:

$$\text{Complejidad} = N_x + (N_B/100) \dots\dots\dots(14)$$

donde N_x es el número de puntos de cruce en la etapa de espacio
 N_B es el número de bits de memoria

Por otro lado, se puede obtener una menor complejidad si se combinan grupos de enlaces de entrada en señales multiplex de mayor nivel antes de ser conmutadas. Esto significa una reducción efectiva en el costo de un conmutador por división de tiempo. Sin embargo, existen límites prácticos con respecto a cuantos canales pueden ser multiplexados dentro de un enlace común TDM en la etapa de tiempo. Cuando dichos límites son alcanzados, las reducciones en la complejidad de la implementación únicamente se pueden obtener mediante el uso de etapas múltiples.

El sistema más parecido a ST o TS pero más efectivo, involucra la separación de las etapas de tiempo mediante una etapa de espacio, e inversamente, la separación de dos etapas de espacio mediante una etapa de tiempo. A la primera estructura se le conoce como conmutador de tiempo-espacio-tiempo (TST), mientras que la segunda estructura es conocida como conmutador de espacio-tiempo-espacio (STS).

11. CONMUTACION STS

La figura 92 muestra un diagrama de bloques de un conmutador STS. A cada uno de los conmutadores de espacio se les considera como conmutadores de una sola etapa (de desbloqueo). Para conmutadores de gran tamaño, puede ser deseable implementar los conmutadores de espacio con etapas múltiples. El establecimiento de una trayectoria a través de un conmutador STS requiere que se encuentre un arreglo en el conmutador de tiempo con acceso de escritura disponible durante el intervalo de tiempo de entrada y un acceso de lectura durante el intervalo de tiempo de salida deseado. Cuando cada etapa individual (S, T o S) es de desbloqueo, la operación es equivalente a la operación de un conmutador de espacio de tres etapas. Por lo tanto la gráfica de probabilidad, figura 83, de un conmutador STS es idéntica a la gráfica de probabilidad de un conmutador de espacio de tres etapas. Correspondientemente, la probabilidad de bloqueo de un conmutador STS es:

$$B = (1 - q'^2)^k \dots\dots\dots(15)$$

donde: $q' = 1 - p' = 1 - p/\beta$; $\beta = k/n$
 k es el número de arreglos en el conmutador de tiempo de la etapa central.

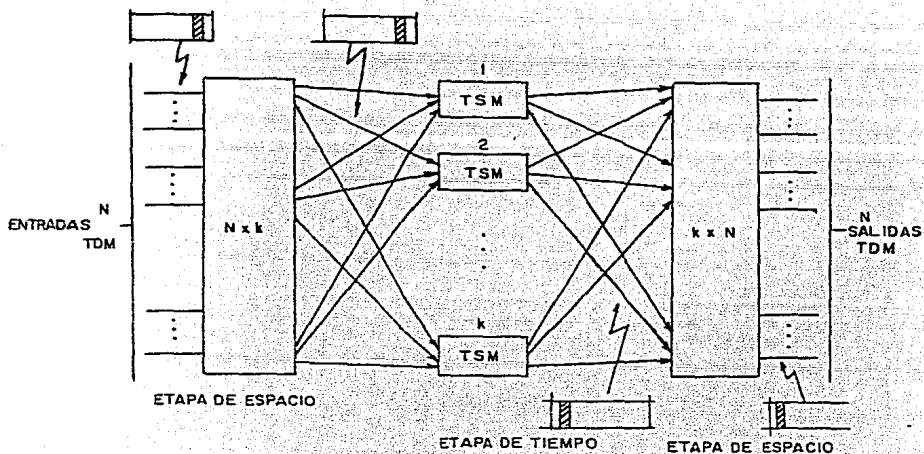


Figura 82. Estructura de conmutación espacio- tiempo-espacio (STS) .

Considerando que los conmutadores de espacio son arreglos de una etapa y que cada enlace TDM tiene c canales de mensaje, se puede determinar la complejidad de la implementación de un conmutador STS como:

$$\begin{aligned}
 \text{Complejidad} &= (\text{número de puntos de cruce en la etapa de espacio}) \\
 &+ ((\text{número de bits de control de la etapa de espacio}) \\
 &+ (\text{número de bits de memoria de la etapa de tiempo}) \\
 &+ (\text{número de bits de control de la etapa de tiempo}))/100 \\
 &= \frac{2kN + (2kc \log_2 N + 3kc + kc \log_2 c)}{100} \dots \dots \dots (16)
 \end{aligned}$$

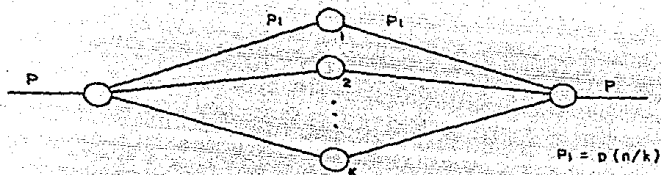


Figura 83. Gráfica de probabilidades del conmutador STS con etapas de desbloqueo.

12. CONMUTACION TST

Una segunda forma de conmutación de etapas múltiples de tiempo y espacio, lo constituye el conmutador conocido como TST (conmutador de tiempo-espacio-tiempo) y que se muestra en la figura 84. La información que llega en un canal TDM de un enlace de entrada, se retarda en la etapa de tiempo hasta que se tiene disponible una trayectoria apropiada en la etapa de espacio. Entonces, la información se transfiere a través de la etapa de espacio a la salida apropiada de la segunda etapa de tiempo, donde se retiene hasta que se presenta el intervalo de tiempo de salida deseado.

Suponiendo que las etapas de tiempo proporcionan una completa disponibilidad, entonces cualquier intervalo de tiempo de la etapa de espacio puede ser usado para establecer una conexión.

La gráfica de probabilidad de la estructura se muestra en la figura 85.

Una característica importante de los conmutadores TST es que la etapa de espacio opera en un modo de tiempo dividido, independientemente de los enlaces TDM externos. De hecho, el número de intervalos de tiempo L de la etapa de tiempo no tiene que coincidir necesariamente con el número de intervalos de tiempo TDM externos C .

Si la etapa de espacio es de desbloqueo, entonces el bloqueo en un conmutador TST ocurre únicamente si no hay un intervalo de tiempo en la etapa de espacio durante el cual el enlace de la etapa de tiempo de entrada y el enlace de la etapa de tiempo de salida estén ambos desocupados. Obviamente, la probabilidad de

bloqueo se minimiza si el número de intervalos de tiempo L en la etapa de espacio se hace más grande.

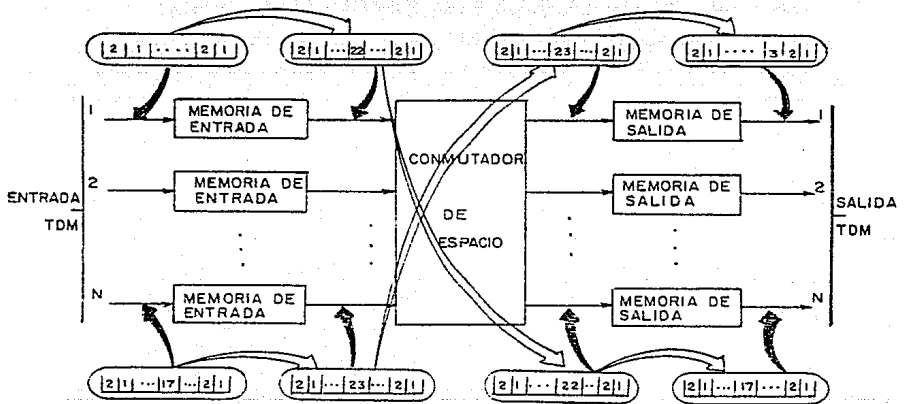


Figura 84. Estructura de conmutación tiempo-espacio-tiempo (TST).

En realidad, como una analogía directa con los conmutadores de espacio de tres etapas, el conmutador TST es directamente de desbloqueo si $L = 2c - 1$. La expresión general de la probabilidad de bloqueo para un conmutador TST con etapas de desbloqueo individuales (T, S o T) es:

$$B = (1 - q_1)^L \dots \dots \dots (17)$$

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

α = expansión de tiempo (1/c)

L = número de intervalos de tiempo en la etapa de espacio

La complejidad de la implementación de un conmutador TST se puede obtener como sigue:

$$\text{Complejidad} = N^2 + \frac{(N_1 \log_2 N + 2Nc8 + 2N_1 \log_2 c)}{100} \dots \dots \dots (18)$$

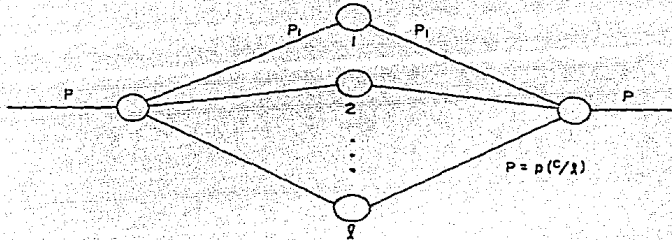


Figura 85. Gráfica de probabilidad de un conmutador TST con etapas de desbloqueo.

Una arquitectura TST es más compleja que una arquitectura STS. Sin embargo, el conmutador TST opera con concentración de tiempo, mientras que el conmutador STS opera con concentración de espacio. Como la utilización de los enlaces de entrada se incrementa, entonces se acepta una menor concentración. Si la carga del canal de entrada es bastante grande, entonces se requiere tanto la expansión de tiempo en el conmutador TST como la expansión de espacio en el conmutador STS, para mantener las bajas probabilidades de bloqueo.

13. CONMUTADORES TSSST

Quando la etapa de espacio de un conmutador TST es lo bastante grande para justificar una complejidad de control adicional, se pueden emplear múltiples etapas de espacio para reducir la cantidad total de puntos de cruce. En la figura 86 se muestra la estructura TST con un conmutador de espacio de tres etapas. Puesto que las tres etapas medias son etapas de conmutación de espacio, esta estructura es comúnmente conocida como conmutador TSSST.

La complejidad de la implementación de un conmutador TSSST puede ser determinada de la siguiente forma:

$$\text{Complejidad} = N_x + \frac{(N_{Bx} + N_{BT} + N_{BC})}{100} \dots \dots \dots (19)$$

donde: N_x es el número de puntos de cruce = $2Nk + k(N/n)^2$

N_{ax} es el número de bits de la memoria de control en la etapa de espacio
 N_{at} es el número de bits en las etapas de tiempo
 N_{arc} es el número de bits de la memoria de control de la etapa de tiempo

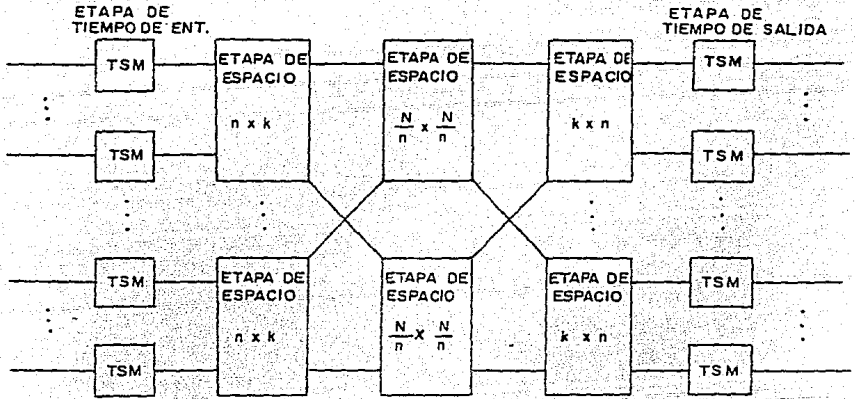


Figura 36. Estructura de conmutación TSSST.

La gráfica de probabilidad de un conmutador TSSST como la mostrada en la figura 87, es funcionalmente idéntica a la gráfica de probabilidad de un conmutador de espacio de cinco etapas. Empleando la gráfica de probabilidad de la figura 37, se puede determinar la probabilidad de bloqueo de un conmutador TSSST como:

$$B = (1 - q_1^2(1 - (1 - q_2^k)))^L \dots \dots \dots (20)$$

donde: $q_1 = 1 - p_1 = 1 - \rho/\alpha$
 $q_2 = 1 - p_2 = 1 - \rho/\alpha\beta$

Los conmutadores de muy grande capacidad se pueden implementar con técnicas digitales de división de tiempo con niveles prácticos de complejidad.

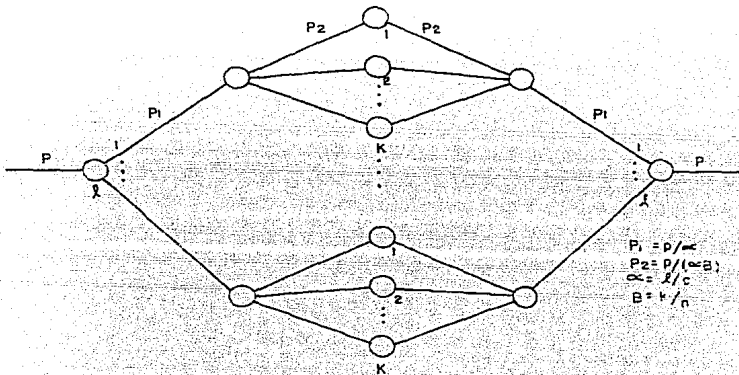


Figura 87. Gráfica de probabilidad de un conmutador TSSST.

14. ESTRUCTURAS MODULARES DE CONMUTACION

De las dos estructuras básicas de conmutación para conmutadores digitales por división de tiempo (STS y TST), la más popular ha sido la TST, sin embargo, algunos fabricantes se han desviado de estas estructuras básicas con el fin de emplear un tipo de módulo para todas las etapas de conmutación. Un sólo módulo tiene la conmutación de tiempo y espacio.

Obviamente, una de las principales atracciones de los módulos es la gran capacidad para implementar un amplio rango de tamaños de conmutador. Otras ventajas son, la fabricación, el mantenimiento, las pruebas simplificadas así como los reducidos costos de redundancia. Sin embargo, la principal desventaja de los conmutadores modulares es la introducción de largos retardos a través del conmutador. En promedio, una etapa de tiempo introduce un retardo de medio tiempo de trama en cada mensaje del circuito. Una multiplicidad de las etapas de tiempo incrementa el promedio de retardo a través de los conmutadores. Los retardos de menos de 1 ms (8 tramas) no tienen consecuencia directa para el tráfico de voz. Sin embargo, los retardos de propagación correspondientes a unas cuantas tramas pueden conducir a condiciones de murmullo en conexiones locales, que anteriormente solo ocurrían en circuitos de larga distancia.

Los retardos de propagación a través de múltiples etapas de tiempo pueden ser minimizados en la trayectoria y en el proceso de selección del intervalo de tiempo o bien, las etapas de tiempo

se pueden implementar con menos de una trama completa de memoria.

15. DISEÑOS DE CONMUTADORES USUALES

Los ejemplos de conmutadores presentados anteriormente, se pueden implementar con memoria normal y componentes lógicos. Aquí se mencionan los procesos de diseño para mostrar los potenciales de la moderna tecnología, si los circuitos integrados más usuales son diseñados específicamente para funciones de conmutación. Ya que el costo de las redes digitales de conmutación, implementadas con componentes de fácil disponibilidad, es un pequeño porcentaje del costo de un conmutador típico, esto es razonable para preguntar el porqué los circuitos usuales son de interés. Las respuestas pueden ser resumidas de la siguiente forma:

1. Menos componentes y en particular menos interconexiones, incrementan la confiabilidad de la implementación.
2. El costo de uno o más niveles de redundancia viene a ser menos importante, así que los módulos de respaldo o las tramas de respaldo se pueden realizar.
3. La probabilidad de bloqueo se puede reducir a niveles menores que los económicamente realizables con componentes normales.

Los circuitos usuales no contienen todas las características deseables, para hacerlos adaptables a una gran variedad de aplicaciones. Sin embargo, demuestran las características funcionales más importantes que se desean en una aplicación en particular. Específicamente, la memoria de control está integrada con los elementos de conmutación, tal que la información de control para cada intervalo de tiempo se transfiere internamente al circuito integrado. Cuando las memorias de control se implementan por separado, el ancho de banda del control puede ser tan alto como el ancho de banda del mensaje transmitido. Una segunda característica de la implementación es que únicamente se requieren unos cuantos tipos de circuitos para implementar una red de conmutación de tiempo y espacio completa. De hecho, una matriz de conmutación para un total de 32000 canales se implementa con dos tipos de circuitos usuales y un tipo de circuito normal.

En la figura 88 se muestra un elemento de conmutación de espacio usual. Este dispositivo consiste de únicamente un selector de entrada de 16×1 que es controlado en forma de tiempo compartido, usando la información que llega de un registro de corrimiento que se sincroniza con la velocidad del intervalo de tiempo mientras que el dato es recorrido a través del selector a la velocidad del bit.

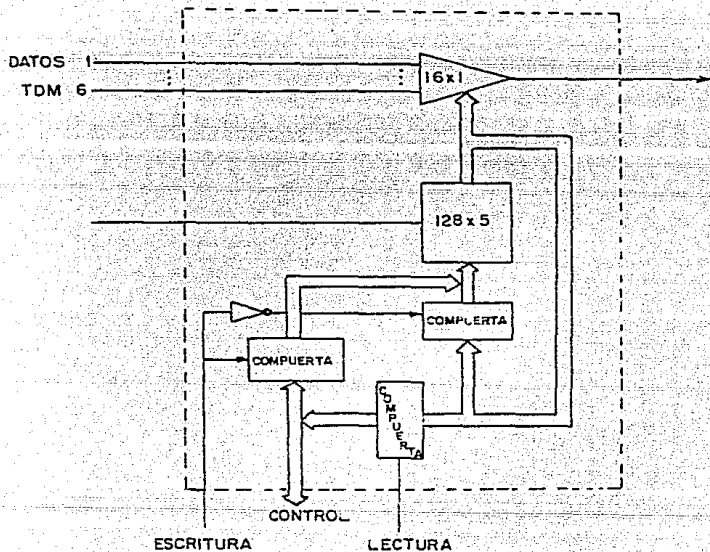


Figura 88. Elemento conmutador de espacio por división de tiempo.

Como se indica, la longitud del registro de corrimiento es para una trama de 128 canales. Cada palabra de control está representada por cinco bits, de los cuales 4 son para la selección del punto de cruce y un bit para indicar si el enlace de salida se encuentra ocupado durante un intervalo de tiempo en particular. La circuitería restante proporciona la capacidad para cambiar o simplemente leer la información de control.

En general, las entradas para 16 elementos de conmutación de espacio se pueden implementar para formar una matriz de conmutación por tiempo dividido de 16×16 como la mostrada en la figura 39. La única circuitería adicional que se requiere, son dos selectores de 1×16 , usados para enviar comandos de lectura o escritura de la memoria de control a elementos individuales.

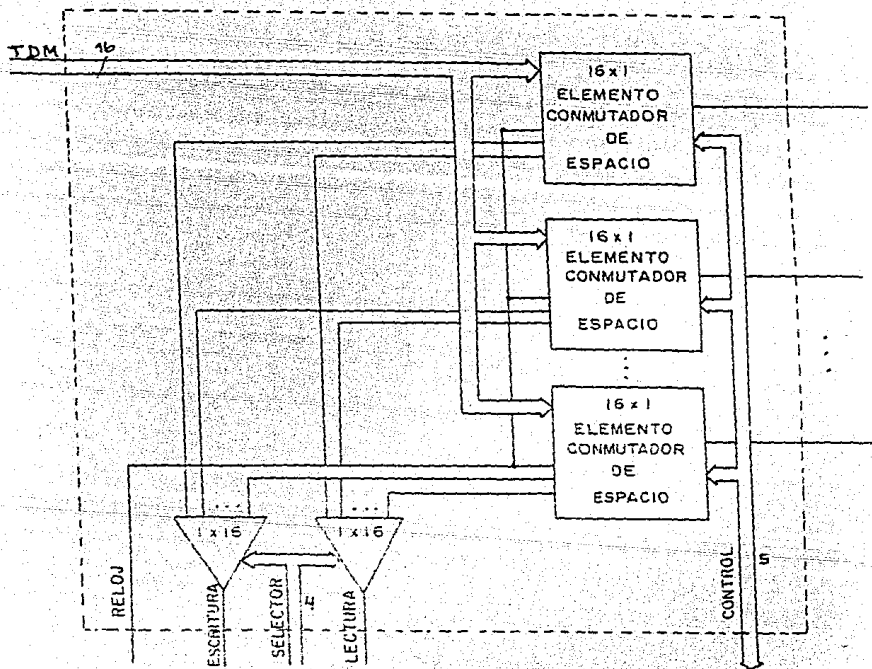


Figura 89. Conmutador de espacio por división de tiempo de 16 x 16.

La figura 90 muestra el diagrama de un elemento conmutador de tiempo que puede ser implementado con un sólo circuito LSI. La memoria de control de este circuito opera en forma similar a la memoria de control del elemento conmutador de espacio. La principal diferencia es la inclusión de una señal de control externa, para seleccionar entre el contador de intervalos de tiempo y la información de control. El contador de intervalos de

tiempo se selecciona para acceso secuencial y la memoria de control se selecciona para acceso aleatorio.

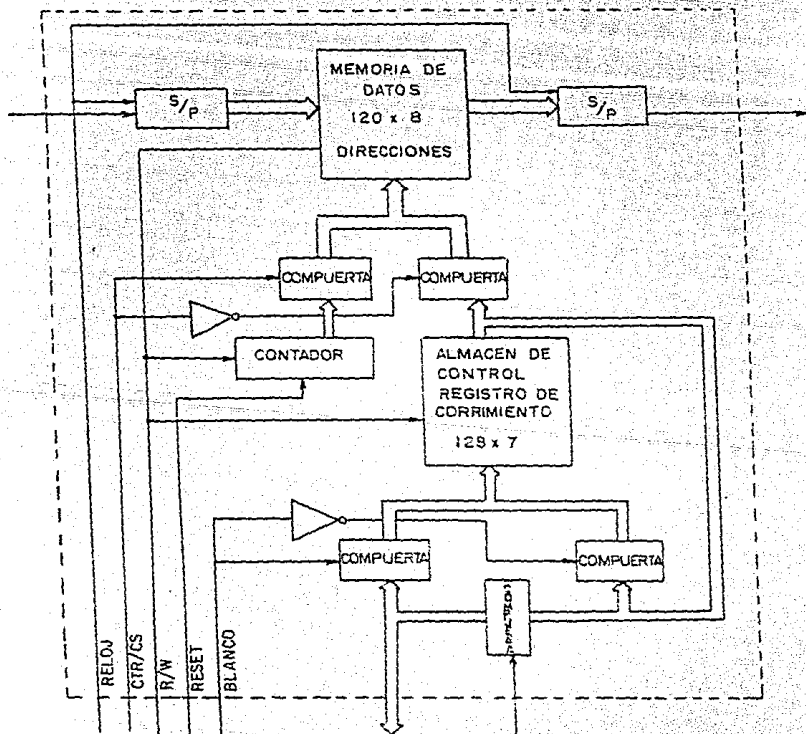


Figura 90. Elemento de conmutación de tiempo.

Los datos de entrada y salida de la memoria TSI deben pasar a través de convertidores serie/paralelo y paralelo/serie para minimizar la cantidad de conexiones. Como puede observarse en la figura 90, la memoria TSI está diseñada para 120 canales de información, mientras que la memoria de control tiene capacidad para 128 palabras de control lo que implica una expansión de tiempo de 128/120.

Las matrices de conmutación completas se pueden implementar usando los dos circuitos usuales descritos y un pequeño arreglo de componentes estándar para la selección de elementos y señales del abanico de salida. Un ejemplo más específico de las estructuras de conmutación se muestra en la figura 91, los componentes usados en esta estructura son:

- 1) 256 Elementos conmutadores de tiempo (etapa de tiempo de entrada)
- 2) 768 Elementos de conmutación de espacio (conmutador de espacio de tres etapas)
- 3) 256 Elementos conmutadores de tiempo (etapa de tiempo de salida)
- 4) 170 Selectores de 1 x 16

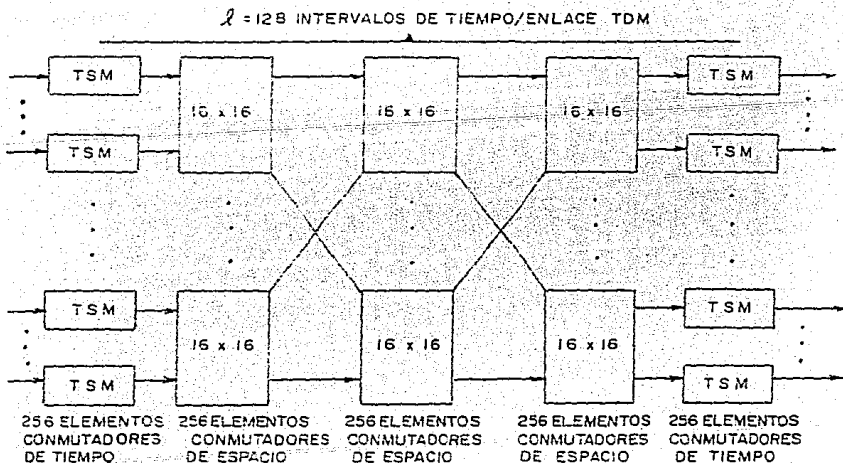


Figura 91. Diseño de un conmutador TSSST con circuitos usuales.

La matriz de conmutación de la figura 91 proporciona servicio a 256 entradas TDM con 120 canales por entrada, para un total de 30720 canales. El diseño LSI consiste de aproximadamente 1500 circuitos integrados con un poco más de 30000 interconexiones. Un conmutador por división de espacio, con capacidad comparable, requiere de varios millones de puntos de cruce.

16. CONMUTACION DIGITAL EN UN MEDIO AMBIENTE ANALOGICO

Quando se instalan conmutadores digitales de centrales terminales en un medio ambiente analógico, las interfaces analógicas para los circuitos locales necesariamente son incambiables. La transmisión digital local puede expresarse como los sistemas portadores digitales de abonado están integrados al conmutador. Aunque algunos circuitos pueden usar adecuadamente señales digitales con un ancho de banda superior, los problemas de conversión varían, dependiendo de las implementaciones analógicas y de mantener prácticas eficientes. Algunas de las actuales prácticas que complican esta conversión son: el uso de bobinas de carga, las redes exteriores, derivaciones de línea, alta resistencia o uniones intermitentes y protección contra sobrevoltajes. Además, las consideraciones de interferencia para un sistema digital pueden requerir cables separados para cada dirección de transmisión o tipos de cable más recientes, con un campo interno para aislar las dos direcciones de transmisión.

Como ya se mencionó, un sistema de conmutación y transmisión digital no agrega una degradación considerable a la calidad de la voz digitalizada entre terminales. En particular, la señal analógica de salida que se deriva de un decodificador puede ser ajustada al mismo nivel que el presentado en el decodificador de la otra terminal.

Los conmutadores analógicos de la central terminal son conmutadores de dos hilos, diseñados para interconectar circuitos de abonado bidireccionales de dos hilos. Sin embargo, la digitalización de voz inherentemente requiere la separación de las trayectorias de ida y regreso de las señales involucradas en la conexión. En consecuencia, cuando un conmutador digital requiere ser insertado en un medio analógico de dos hilos, se requieren bobinas híbridas para separar las dos direcciones de transmisión. Como se muestra en la figura 92, los híbridos en cada terminal de la sustra digital interna producen un circuito de cuatro hilos con los inherentes problemas de voz. La inestabilidad crece como resultado del desbalance de impedancias en los híbridos, causando acoplamientos indeseables de la porción del receptor de la conexión de cuatro hilos. El desbalance de impedancias se presenta debido a la variabilidad en las longitudes y al tamaño del cable de los circuitos de abonado. En particular, los pares de alambre cargado y descargado tienen

marcadas diferencias en sus impedancias características.

Los problemas de inestabilidad están compuestos con ciertas cantidades de retardo artificial que son requeridas en un conmutador por división de tiempo digital. Aunque el retardo a través del conmutador digital no es notable para el abonado, este representa el equivalente a entre 48 y 65 Km de alambre. Este retardo incremental tiene el efecto de aminorar las frecuencias de oscilación que de otro modo pueden estar fuera de la banda de voz y efectivamente removidas mediante filtros del codificador/decodificador.

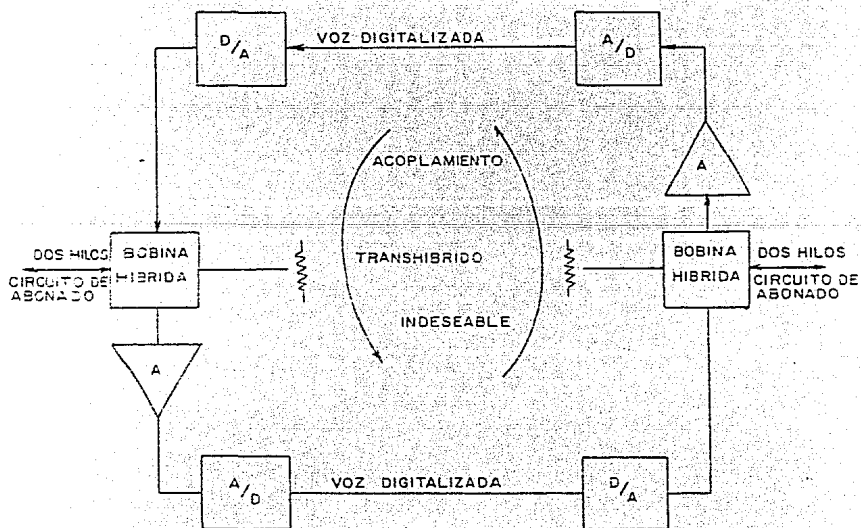


Figura 92. Circuito de un conmutador digital de cuatro hilos con interfaces analógicas de dos hilos.

Como se mencionó anteriormente, los híbridos son usados donde el medio de transmisión es de cuatro hilos. En estos casos, la inestabilidad del circuito de cuatro hilos se controla

diseñando el sistema con una cantidad prescrita de atenuación
neta en la trayectoria de transmisión de los circuitos más cortos
de la red. En circuitos más largos, los ecos y el murmullo se
eliminan mediante supresores de eco.

Una de las soluciones para los problemas de inestabilidad es
el uso de atenuaciones seleccionables. La pérdida necesaria se
inserta en la trayectoria de conversación para conexiones locales
pero no para llamadas de larga distancia, en las cuales ya
existen pérdidas de diseño. Una segunda solución involucra el
balance de impedancias en los híbridos más cercanos.

C A P I T U L O I V

CENTRALES DIGITALES

1. CENTRAL DIGITAL AXE 10 DE ERICSSON

El diseño y capacidad de una red telefónica ejercen una considerable influencia sobre los costos totales de la red. Sin embargo, la conmutación digital integrada y la transmisión PCM hacen posible que se tengan estructuras nuevas y económicas. La operación y el mantenimiento centralizados dan como resultado un mejor servicio con un costo bajo. Además, la conmutación digital amplía la posibilidad de tener nuevas funciones y servicios en la red telefónica.

Sobre el costo total de operación ejercen gran influencia los costos por manejo. La experiencia obtenida en los primeros sistemas de conmutación SPC demuestra que se subestimó el aspecto del manejo y en especial todas las actividades que están relacionadas con el software, es decir, el hecho de reducir a un mínimo los costos del hardware no necesariamente da como resultado un sistema económico.

En el caso del sistema AXE 10 de ERICSSON, el objetivo más importante en el diseño es la optimización del sistema para su manejo, lo cual se logra con una modularidad funcional del mismo sistema, esta característica reduce considerablemente los costos por manejo, además de proporcionar seguridad en el software.

El sistema AXE 10 es un sistema de conmutación telefónica que emplea SPC. El sistema está diseñado para operar como central local, tandem, de tránsito y combinada. Para llevar a cabo una central local, se puede emplear la conmutación distribuida por medio de concentradores.

El sistema de control es un sistema de procesamiento de datos con dos niveles y una lógica parcialmente distribuida. Existe un nivel central de procesamiento, constituido por un máximo de ocho procesadores centrales duplicados que colaboran con un sistema para la comunicación entre procesadores. En el otro nivel, existen varios procesadores pequeños, llamados procesadores regionales, que también están duplicados. Los procesadores centrales trabajan de un modo síncrono paralelo, mientras que los procesadores regionales trabajan de acuerdo con el método de distribución de carga.

Mediante la descentralización del sistema de procesamiento de datos se crea una estructura que resulta económica en

aplicaciones a pequeña escala, al tiempo que satisface los requerimientos para una elevada capacidad. Para una central local con un par de procesadores, el número máximo de líneas de abonado es de 40000, mientras que con un máximo de ocho pares de procesadores centrales la máxima dimensión de la central es de aproximadamente 200000 líneas de abonado o para el caso de una central de tránsito, de aproximadamente 65000 troncales. La figura 93 muestra un diagrama de bloques de la estructura del hardware del sistema. En dicho figura puede observarse una matriz de conmutación IST mencionada en secciones anteriores, esta matriz pertenece al subsistema GSS (subsistema de selector de grupo) que junto con el reloj triplicado CLM y el multienlace MAD se usa en comunicaciones colectivas y en el ofrecimiento de troncal.

Además del subsistema GSS, en la estructura pueden observarse otros subsistemas, tales como:

Subsistema de paso de abonado (SSS), con un máximo de 16 unidades de módulo conmutador de línea (LSM), cada uno de los cuales conecta a 128 abonados.

Subsistema de troncal y señalización (TSS), que incluye los circuitos para las conexiones de circuitos analógicos y digitales así como los dispositivos de señalización de grupo. Los circuitos para las troncales analógicas están agrupados en almacenes de 32 dispositivos en los que se incluye la conversión MD. Los dispositivos emisor de código (CDS) y receptor de código (CRD) se emplean en la señalización multifrecuencia. SP es la terminal de señal en el caso de la señalización por canal común.

En el subsistema de mantenimiento (MAS), se puede observar la unidad de mantenimiento (MAU), que se encarga supervisar la operación sincrónica de cada par de procesadores.

En el subsistema de entrada salida (IOS), se muestran las interfaces de algunos dispositivos I/O típicos: pantalla (PLD), casetera (CTD), mientras que OSD permite la conexión entre el enlace de datos y un centro de operación y mantenimiento. PTU es la unidad de prueba de los procesadores.

La característica más notable del sistema AXE es su modularidad, ejemplo de ello es, a nivel subsistema, el suministro opcional en SSS y SSS de bloques de conmutación del tipo analógico o bien digital. Las interfaces del sistema están estandarizadas, por lo que a partir de un conjunto de subsistemas es posible obtener una gran cantidad de combinaciones para la planeación de las distintas centrales. El sistema está provisto también de una modularidad tecnológica integrada, esto es, se pueden incorporar gradualmente los avances tecnológicos del futuro sin la necesidad de afectar a otras partes del sistema.

La capacidad modular es el último de los requisitos básicos y su función es adaptar el sistema a un amplio margen de tamaños

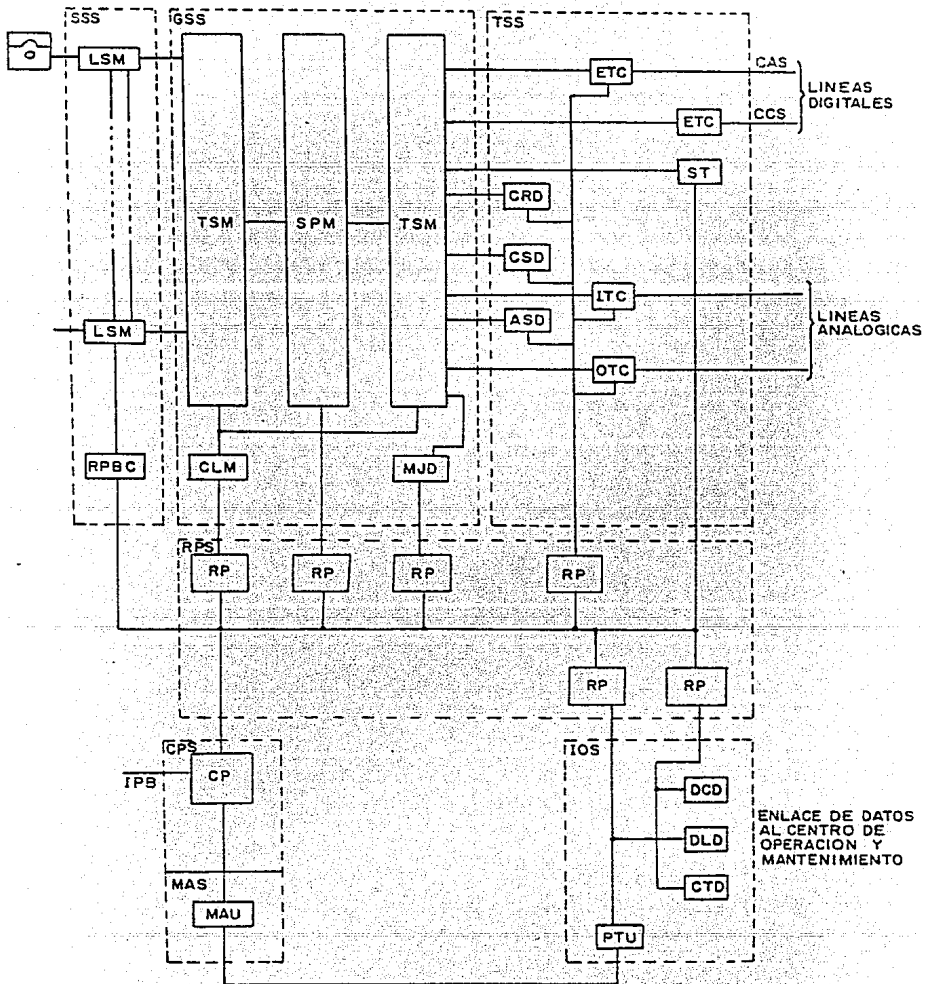


Figura 93. Diagrama de bloques del hardware del sistema AXE 10.

y condiciones de tráfico. En el sistema AXE se ha dado respuesta a estas necesidades mediante una estructura y una modularidad funcionales y estrictas. Esto permite un manejo racional del sistema durante todas sus etapas: diseño, planeación, producción, instalación, interconexión y mantenimiento, también permite la utilización del sistema en toda la gama de aplicaciones.

El concepto de modularidad funcional se refleja claramente en la estructura funcional del sistema AXE que se ilustra en la figura 94. El sistema se construye mediante bloques de configuración agrupados en cuatro niveles jerárquicos. Como puede observarse, en su nivel jerárquico más alto, el sistema AXE está constituido por el sistema de conmutación APT 210 y por el sistema de procesamiento de datos APZ 210.

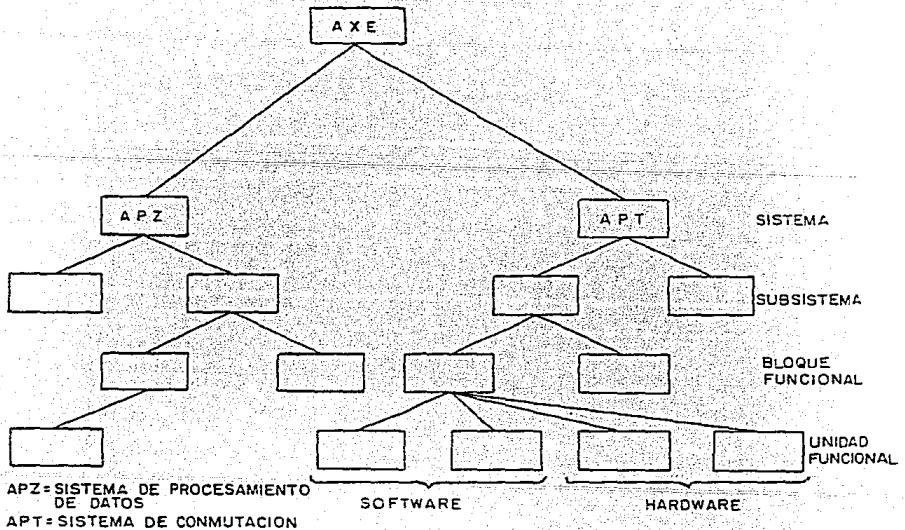
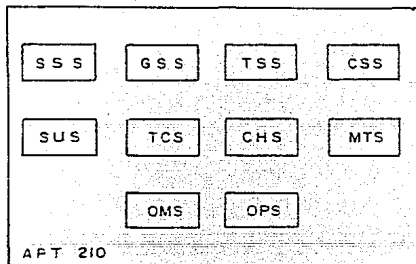


Figura 94. Niveles funcionales del sistema AXE.

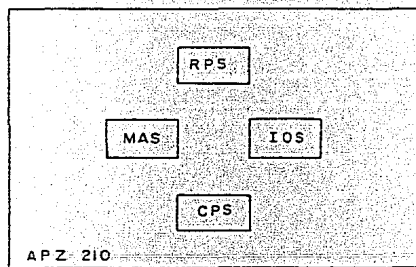
La división del APT 210 en subsistemas, figura 95, se debe a las condiciones y requisitos impuestos para el manejo del tráfico

así como para las funciones de operación y mantenimiento. Dichos subsistemas se llevan a la práctica parcialmente en hardware y parcialmente en software. Las funciones de software se dividen en funciones sencillas y rutinarias con requerimientos de alta capacidad y por otro lado, funciones complejas. Con el fin de alcanzar un alto nivel de optimización en los requisitos para gran capacidad y bajo costo, las funciones complejas se ejecutan en forma centralizada por un subsistema de procesamiento central, las funciones sencillas que demandan una alta capacidad se realizan en una etapa de procesamiento que se encuentra dentro del sistema de procesadores regionales, los cuales son pequeños y sencillos. Por lo tanto, el software del APT se divide en software central y software regional.

APT:



SSS Selectores de abonado
 GSS Selectores de grupo
 TSS Troncal y señalización
 CCS Señalización/canal común
 SUS Servicios de abonado
 TCS Control de tráfico
 CHS Tasación



MTS Telefonía móvil
 OMS Operación y mantenimiento
 OPS Operador
 APZ:
 RPS Procesador regional
 MAS Mantenimiento
 IOS Entrada/Salida
 CPS Procesador central

Figura 95. Estructura de los subsistemas en el sistema AXE.

En la figura 96 se muestra una estructura más funcional del APT 210 en donde puede observarse un conjunto de productos que constituye la estructura de productos del sistema AXE.

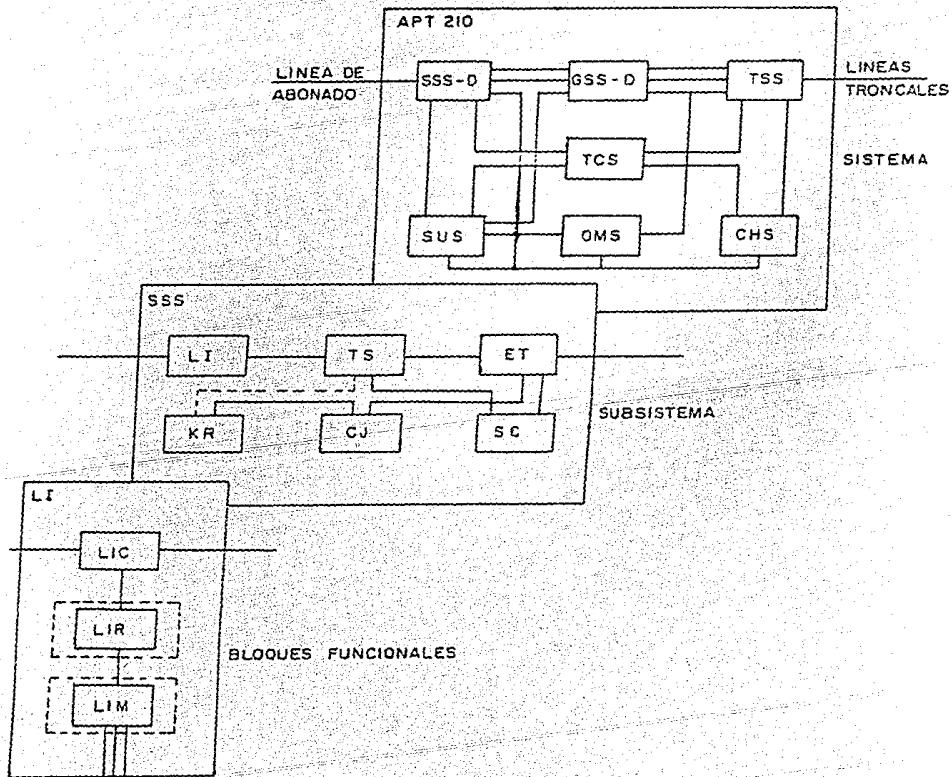


Figura 96. Estructura funcional del APT 210.

El subsistema de paso de abonado (SSS) está constituido tanto por hardware como por software. Su labor consiste en la

supervisión del estado de las líneas de abonado que están conectadas, el establecimiento y desconexión en la red del abonado y el envío y recepción de señales a y desde los abonados.

La función del subsistema de selector de grupo (GSS) consiste en establecer una trayectoria que pase a través de la red de selectores de grupo que se encuentra entre SSS y TSS. Este subsistema está bajo el control de TCS.

El subsistema de troncal y señalización (TSS) supervisa las líneas troncales que se dirigen a otras centrales, además de enviar y recibir las señales a y desde otras centrales.

El TCS es el subsistema de enrutamiento de tráfico y control cuya función es realizar y supervisar el establecimiento y la desconexión de las trayectorias de conversación. El TCS almacena y analiza los dígitos que se reciben de SSS y TSS y en base a la información relacionada con las categorías de abonado, las rutas, las clases, etc., decide como habrá de manejarse la llamada.

El subsistema de tasación CMS, como su nombre lo indica, se encarga de tasar las llamadas. Cuando se emplea la tasación por impulsos, el CMS envía los impulsos de tasación vía TCS ya sea hasta la conexión del abonado, a la línea troncal en cuestión o a un medidor interno de llamadas. Si se emplea el servicio de "recibo de cobro", el CMS reúne toda la información de cobro correspondiente a cada llamada y la registra en el almacén, por ejemplo, en una cinta magnética.

El subsistema de operación y mantenimiento (OMS), se encarga de supervisar la operación del APZ y de adoptar las medidas necesarias cuando se presenta una falla.

El subsistema de los servicios de abonado (SUS) contiene las funciones correspondientes a los servicios de abonado.

Muchas de las funciones de procesamiento en una central telefónica se caracterizan por la considerable repetición de las operaciones de exploración, las que no necesitan de tanta flexibilidad y capacidad durante el procesamiento de datos, pero al mismo tiempo imponen restricciones relacionadas con tiempo real.

En una central controlada por programa almacenado del tipo convencional, estas funciones generan gran parte de la carga del procesador, por lo que en gran medida son las causantes de la complejidad de estos sistemas. En el APZ 210, estas funciones se han transferido del procesador central a los procesadores regionales, especiales para este propósito. De esta forma, el procesador central puede dedicarse a manejar las funciones de procesamiento de alto nivel, en vez de ocupar su tiempo en la exploración para poder determinar nuevos labores. Además, el APZ necesita contar también con un sistema de entrada/salida y un subsistema de mantenimiento. El sistema de procesamiento de datos APZ 210 está constituido por los siguientes subsistemas:

Subsistema de procesadores regionales (RPS) que desempeña las funciones sencillas y rutinarias. La parte regional del

software del APT se almacena y ejecuta en el RPS, esta se encuentra dividido en varios procesadores regionales (RP) y terminales de señal (ST) cada uno de los cuales controla la parte que le corresponde del hardware del APT.

El subsistema del procesador central (CPS), desempeña las funciones más complejas. La parte central del software del APT se almacena y ejecuta en el CPS. Este último está constituido por un máximo de ocho procesadores duplicados. Ambos lados de cada par de procesadores operan en sincronía.

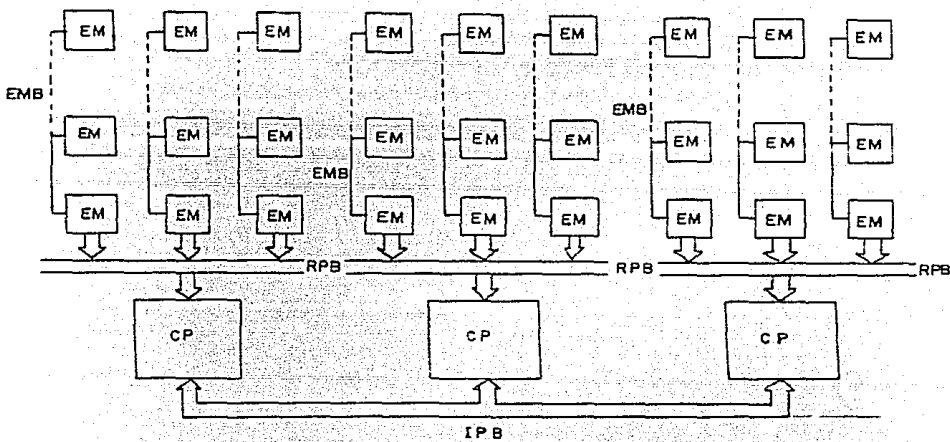
El subsistema de entrada/salida (IOS) se encarga de supervisar el correcto funcionamiento del APZ así como la ejecución de las acciones apropiadas cuando se produce una falla.

La estructura del hardware del sistema APZ 210 permite ampliar la capacidad básica de los procesadores de acuerdo con las ampliaciones del sistema APT 210.

En un sistema constituido por varios procesadores, las distintas funciones pueden distribuirse entre todos ellos de diversas formas. En el sistema AXE, cada procesador central controla la parte que le corresponde de los circuitos troncales de la red de conmutación y de otros dispositivos, mediante los procesadores regionales. A cada procesador regional lo controla un sólo procesador central. Cuando existe una ampliación, no es necesaria una nueva reconfiguración con el equipo original.

El procesador central del APZ 210 está duplicado y sus dos partes trabajan en forma síncrona. Las fallas en el hardware se detectan inmediatamente, efectuando comparaciones entre las dos partes. Dado que una falla afecta a sólo una de estas partes, la mutilación de los datos se produce únicamente en la parte afectada. La parte no afectada reanuda automáticamente el manejo del tráfico, empujando los datos correctos. Este proceso es tan rápido que no es necesario que el software efectúe acciones correctivas, por lo que en la mayoría de los casos, este proceso de recuperación en el hardware no afecta en ninguna forma al funcionamiento de la central.

El equipo de conmutación y el equipo I/O están conectados con los RP, los cuales a su vez se encuentran conectados con el CP mediante un bus balanceado y acoplado a un transformador, para que así los RP puedan ubicarse a cierta distancia del CP y al mismo tiempo cerca de la parte del equipo de la central que deben controlar. El hardware de conmutación y el de I/O se amplían mediante módulos de extensión (EM), cada uno de los cuales contiene varios dispositivos idénticos. Un procesador regional duplicado controla hasta 64 EM. El módulo de extensión es la mayor unidad susceptible de ser afectada por una sola falla. Un sólo RP tiene la capacidad para controlar los EM que hayan sido asignados a un par de RP, figura 97. La presencia de los procesadores regionales y el procesador central proporcionan al sistema una gran flexibilidad y la posibilidad de efectuar cambios en un sistema que ya opere con un mínimo de actividad.



EMB BUS DEL MODULO DE EXTENSION
 IPB BUS ENTRE PROCESADORES
 RPB BUS DE PROCESADORES REGIONALES

Figura 97. Estructura del procesador.

El hecho de que el sistema AXE deba ser adecuado para distintas aplicaciones, es uno de los motivos a los que obedece la estricta separación del subsistema de paso de abonado (SSS) y del subsistema de selector de grupo (GSS).

El subsistema de paso de abonado se divide en digital y analógico, el paso de abonado digital está constituido por varios módulos de selectores de línea (LSM), cada uno de los cuales tiene circuitos para 128 abonados, esto es, 128 circuitos de interface de línea. Existen dos tipos de circuitos de interface de línea, uno para aparatos telefónicos analógicos y el otro para los de tipo digital.

Los circuitos de interface de línea se conectan al selector digital de tiempo, el cual está constituido por una memoria destinada a las muestras digitales de conversación, además de ser de desbloqueo y accesibilidad completa. De esta forma, cada uno

de los 128 abonados que están en el módulo de selector de línea pueden tener acceso ya sea a cualquiera de los 32 canales de la terminal de enlace, o bien, a los canales de enlace de otros LSM mediante un bus de selector de tiempo.

El número de circuitos de enlace depende de la carga de tráfico y de los requisitos que imponga la probabilidad de bloqueo. Se pueden conectar hasta 512 canales.

Además, el selector de abonado se puede conectar como concentrador, para lo cual se pueden emplear hasta 16 sistemas PCM entre la central y el concentrador. En los módulos selectoras de línea, así como en los de señalización entre el procesador central y los procesadores regionales, se utiliza un canal por cada sistema PCM. El sistema de señalización que se usa es el CCITT No. 6 o señalización por canal común.

Por otro lado, el paso de selector de grupo digital fué diseñado para trabajar en una red que tuviese una combinación de diversos medios y sistemas de transmisión. Además de los enlaces PCM, se le pueden conectar enlaces analógicos con transmisión TDM o con frecuencias vocales. En el caso de las líneas digitales que llegan del paso de abonado o de otras centrales, se conectan mediante los circuitos terminales de la central (ETC). Para las líneas analógicas (ITC, OTC), se efectúa en TSS la conversión analógico/digital antes de entrar al selector de grupo.

Con el fin de conectar el canal (o intervalo de tiempo) de un sistema PCM con el canal de otro sistema PCM, el paso digital de selección debe efectuar una conmutación de espacio entre los dos sistemas PCM y efectuar una conmutación de tiempo entre los intervalos de tiempo. La conmutación en tiempo se efectúa mediante memorias, mientras que la conmutación en espacio se realiza mediante matrices de puntos de cruce electrónicas.

La red de selector de grupo tiene una estructura ISI, con varios módulos de conmutación en tiempo (TSM) y varios módulos de conmutación en espacio (SPM).

El conmutador de tiempo, figura 98, está constituido por un almacén de habla (SSS - A/B) que es donde se retardan las palabras PCM durante un número arbitrario de intervalos de tiempo. Para el control del almacén de habla se emplea un almacén de control (CSA, CSB).

Antes de entrar en el almacén de habla, se multicanalizan 16 sistemas PCM. El número de intervalos de tiempo que ocupan las celdas es el que define la cantidad de estas últimas, es decir, $16 \times 32 = 512$. El almacén de control también tiene 512 celdas, equivalente a la cantidad de intervalos de tiempo en el selector.

El conmutador de espacio es una matriz de 128×128 puntos de cruce, cada uno de los cuales es una compuerta electrónica. El selector de espacio realiza la conexión de intervalos de tiempo en cada uno de los módulos de intervalo de tiempo para cada uno de los módulos del selector digital.

A cada una de las columnas de puntos de cruce asociados con

un almacén de habla saliente, se le asigna un almacén de control.

Como ejemplo del establecimiento de una conexión, supongase que se va a establecer la conexión entre la entrada A y la salida B. Durante el intervalo entrante de tiempo número 0, que corresponde al almacén de habla 333 - 0, queda almacenada ahí hasta que se alcanza el intervalo de tiempo número 7, al que el procesador ha determinado como disponible. En el almacén de habla y bajo el control de CSA - 0 se lee la palabra PCM de ocho bits. CSC - 0 envía la dirección al punto de cruce adecuado (0). Mediante la ayuda de CSB - 0, se escribe la palabra dentro de la celda número 511 del almacén de habla CSB - 0. Cuando se alcanza el intervalo de tiempo saliente número 511, la palabra PCM se envía al equipo PCM correspondiente al lado B. Durante el tiempo en que la información de los almacenes de control permanece invariable, esta secuencia de conmutación de tiempo y espacio se realiza en forma cíclica durante 8000 veces por segundo por cada llamada.

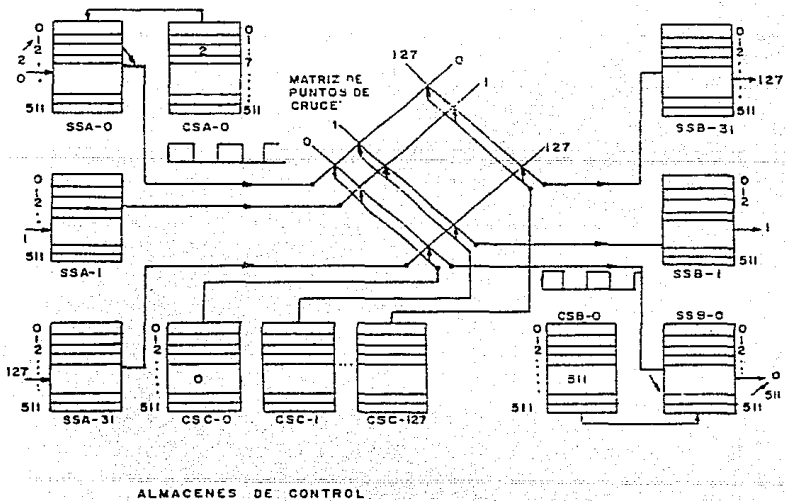


Figura 98. Red de conmutación TST del sistema AXE.

Si durante cierto intervalo de tiempo se llega a encontrar una trayectoria A - B que esté libre, se puede garantizar la existencia de una trayectoria desde A hasta B durante el intervalo de tiempo interno. Cuando se va a desconectar una llamada, en los almacenes de control se borran las palabras correspondientes.

El selector digital de grupo del sistema AXE está construido por 128 módulos de conmutación en tiempo (TSM) duplicados y con 16 módulos de conmutación en espacio, cada uno por 22 x 32 puntos de cruce, formando una matriz de 128 x 128. A cada TSM se le pueden conectar hasta 16 sistemas PCM de primer orden o bien, 16 grupos de 32 líneas analógicas y en casos más generales, una combinación de ambos tipos.

La transmisión es multiplexada en paralelo y las 512 palabras quedan almacenadas en la memoria de habla de entrada del TSM (SSA).

La conmutación en tiempo se realiza mediante la lectura de las 512 palabras durante cada cuadro (125 μ s), en un orden arbitrario que es controlado por el almacén de control (CSA/B). La salida SSA se envía en forma paralela con los bits, de los cuales, ocho son bits de muestra, un bit de paridad y otro bit para la selección del plano.

Después de la conmutación de espacio, la información que llega desde SSA se escribe en el almacén de habla BSB, que también se encuentra bajo el control del mismo CSA/B, tal y como lo usó SSA.

Los puntos de cruce en el selector de espacio se controlan mediante CSC. Esta, para cada intervalo de tiempo indica la conexión del TSM entrante con el TSM saliente. A cada TSM se asocia un CSC que se ubica dentro del TSM.

La sincronización del selector digital de grupo se efectúa mediante un módulo de reloj que se encuentra duplicado.

Por otra parte, la central AXE 10 trabaja con señalización tanto MF como por canal común.

En cuanto al sistema de procesamiento de datos APZ 210, sus propósitos de diseño son: proporcionar seguros en el software y en el hardware, para obtener un sistema de fácil manejo, flexibilidad y alta capacidad.

La seguridad en el software y hardware en el sistema AXE se basa en la estructura modular de este sistema. La independencia de los módulos o bloques funcionales se asegura mediante rigurosos métodos reforzados por hardware para la colaboración entre programas y el acceso de datos. La mayoría de los programas del AXE se escriben en un lenguaje de alto nivel llamado PLEX, aunque algunas partes del software del APZ para el mantenimiento y operación, se escriben en lenguaje ensamblador.

Los errores en el programa son de tal naturaleza que su detección en una central no se logra sino hasta la última etapa de su instalación e incluso hasta después de ponerla en marcha, debido a esto, APZ tiene auxiliares para obtener una eficiente

localización de errores.

El procesador central del sistema APZ 210 se encuentra también duplicado y sus dos partes trabajan en sincronía y en forma paralela. Las fallas producidas en el hardware se detectan inmediatamente al efectuar una comparación entre las dos partes. Ya que las fallas del hardware las acepta solo una de las dos partes, la mutilación de los datos se produce exclusivamente en la parte afectada, por lo tanto, el lado intacto continúa automáticamente con el manejo del tráfico, utilizando para ello los datos correctos. El lado defectuoso queda fuera del tráfico. Este proceso es lo suficientemente rápido como para hacer innecesarias las acciones correctivas del software, lo cual permite que la reactivación del hardware no afecte en forma alguna la operación de la central.

Durante la vida de una central, se efectúan muchas modificaciones en el software y el hardware. La estructura de bloques funcionales permite efectuar cambios cuyas modificaciones afectan únicamente a un solo bloque. Dado que todos los bloques se cargan en forma reubicable, la nueva versión de un bloque modificado se puede cargar, someter a prueba y conectar con el tráfico sin que se produzca ninguna perturbación. Este procedimiento de "intercambio" de bloques es también el método que se utiliza al corregir errores de programa. Las alteraciones se llevan a cabo en el documento del código fuente; la compilación y la carga del bloque funcional se realizan en forma independiente. De esta forma, la necesidad de efectuar correcciones se reduce.

El sistema puede estar acompañado de una gran variedad de dispositivos I/O así como de canales de datos. El canal de datos puede estar conectado a un centro de mantenimiento, a partir del cual se realizan el mantenimiento y operación de varias centrales AXE.

La cantidad de dispositivos I/O se puede modificar en forma sencilla durante la operación, sin necesidad de efectuar cambios importantes en el software.

Además, el sistema APZ 210 está constituido por una estructura de dos niveles que tiene de uno a ocho procesadores regionales, los cuales se hacen cargo de las funciones sencillas, que requieren dedicación y demandan una alta capacidad de procesamiento en tiempo real, por ejemplo, la operación de puntos de prueba y la operación de los relevadores. Mediante esta estructura, la ampliación del sistema se realiza en forma modular añadiendo procesadores de acuerdo al crecimiento de la central.

Tanto los procesadores centrales como los regionales están microprogramados, lo cual permite introducir en forma económica instrucciones de máquina sin necesidad de complicar el hardware. Las rutinas microprogramadas constituyen la base de la independencia de los bloques funcionales. El procesador central contiene administradores de memoria que se manejan a sí mismos; cuentan con equipo para hacer predicciones y cálculos de dirección, equipo que proporciona velocidad al procesador y que

le evita tener que recurrir a memorias demasiado rápidas.

La estructura del API 210 como se vió anteriormente, se divide en cuatro subsistemas:

Subsistema de procesamiento central (CPS), este es en sí, el corazón del sistema y está constituido por procesadores centrales. Este subsistema está constituido por unidades tales como: la unidad de procesamiento central (CPU) que contiene equipo destinado a la comunicación con las unidades que están conectadas con él, a la recolección y recodificación de instrucciones, al procesamiento de datos de las operaciones aritméticas y lógicas y a las funciones de interrupción; el almacén de datos (DS) que se utiliza para el almacenamiento de los datos de los bloques funcionales de una central telefónica; el almacén de programa (PS) que se emplea para el almacenamiento de los programas y el almacén de referencia (RS) cuya función es la de trasladar los números de bloques a las direcciones de inicio correspondientes, así como almacenar las direcciones de base. Además, en el CPU se tienen registros para el manejo de interrupciones que se emplean para el almacenamiento de las señales de interrupción entrantes, así como el retraso de las señales de interrupción; registros para el control de programas que se utilizan para el direccionamiento y realización normal de las instrucciones; registros para el procesamiento general, cuya función es la de almacenar temporalmente los datos durante la ejecución de los programas y el registro de reloj que se emplea para la sincronización automática.

Subsistema de procesador regional (RPS). Está constituido por varios procesadores regionales (RP), los cuales ejecutan las labores sencillas, rutinarias que requieren alta capacidad, tales como la exploración del punto de prueba, la transición de señales y la operación de conmutadores y relevadores. El equipo de un RP está constituido por una unidad de procesamiento central (CPU) un almacén de datos (DS) y un almacén de programas. El RP trabaja en forma cíclica, administrado por el sistema operativo. El intercambio de información con el RP se produce en forma de señales que quedan almacenadas temporalmente en las memorias de datos, mientras esperan a ser procesadas. El procesador central puede controlar al máximo a 512 procesadores regionales.

Subsistema de entrada/salida (IOS). Este subsistema proporciona el equipo hombre-máquina, máquina - hombre mediante el cual se transfiere la información a y desde el API. Entre las funciones y equipo que ofrece el IOS, se tiene la introducción y extracción de datos alfanuméricos mediante las máquinas de escribir o una terminal, así como la entrada y salida orientadas a un archivo por medio de una cinta de cartucho o de una cinta magnética. Tiene además equipo para canal de datos que permite unificar a los dispositivos terminales I/O en posiciones remotas. Todas las funciones de alarma se presentan mediante IOS. La comunicación entre programas se realiza con señales mediante las

que también se pueden transmitir datos. El IOS puede ser utilizado por un número cualquiera de usuarios, mediante el envío de señales apropiadas a los programas administrativos. Las funciones administrativas y de transferencia incluyen la selección de los dispositivos primarios y de reserva, con el fin de que los usuarios puedan tener acceso a un dispositivo I/O incluso en el caso de que se produzca una falla. Cada uno de los dispositivos I/O, incluyendo los enlaces de datos, se encuentran conectados con un RP.

Subsistema de mantenimiento (MAS). Este subsistema comprende aquellas funciones de mantenimiento que proporcionan al sistema de procesamiento de datos API 210 la alta confiabilidad operacional necesaria en las aplicaciones telefónicas. Las principales funciones del MAS son: la supervisión para detectar fallas, las tareas a realizar para impedir de la detección de una falla, así como limitar sus efectos, y las reparaciones produciendo un mínimo de perturbación al sistema que está en operación así como verificar si la falla se ha eliminado satisfactoriamente.

2. LA CENTRAL DIGITAL ITT 1240

La central digital ITT 1240, que forma parte del sistema 12 (el mayor proyecto de desarrollo en la historia de la ITT), aprovecha los más modernos adelantos en la microelectrónica para crear una arquitectura mediante la cual se puede distribuir el control entre una multitud de microprocesadores individuales, eliminando los grandes microprocesadores centrales.

La parte principal de esta arquitectura la constituye una red digital de conmutación, la cual responde a órdenes cursadas por el propio canal para establecer conexiones destinadas a la intercomunicación entre procesadores y a las vías de conversación de la central. La central digital ITT 1240 tiene la ventaja de la modularidad, con un pequeño número de tarjetas de circuito impreso diferentes.

El reto en el diseño de la ITT 1240 se convirtió en el resultado de una arquitectura de software que pueda cumplir con muchas restricciones y aun pueda realizar un funcionamiento que permite servir a un amplio rango de tamaños de línea, desde unos unos cuantos miles de líneas hasta en exceso cientos de miles de ellas.

Esta central digital tiene una estructura de control completamente distribuido, donde el control está asociado con las terminales del sistema de conmutación y puede ser para que el sistema de conmutación crezca.

Por otro lado, en cualquier momento es posible un crecimiento gradual en pequeños incrementos, para cursar un mayor tráfico o dar servicio a más líneas y enlaces.

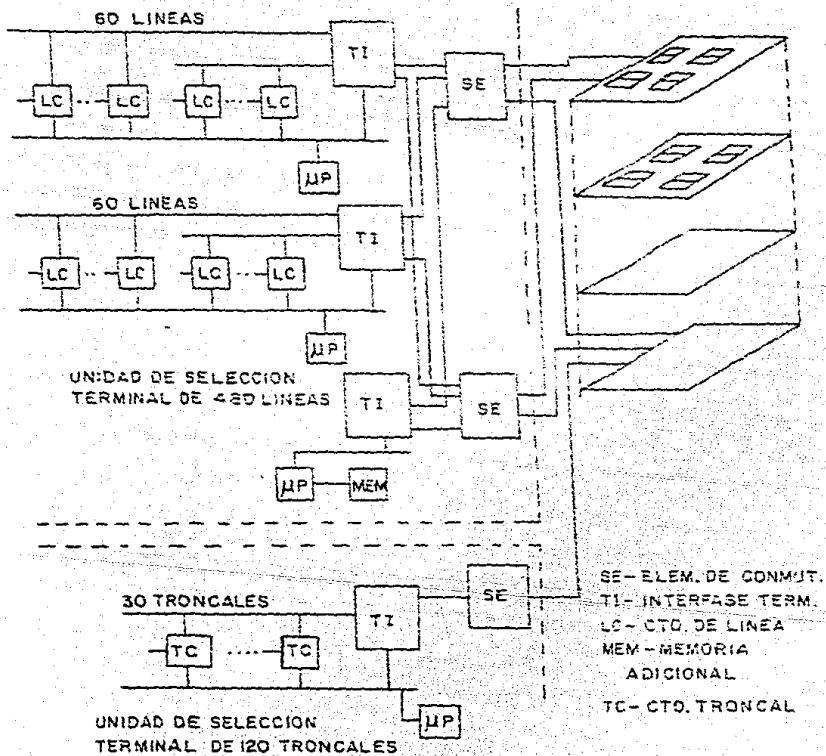


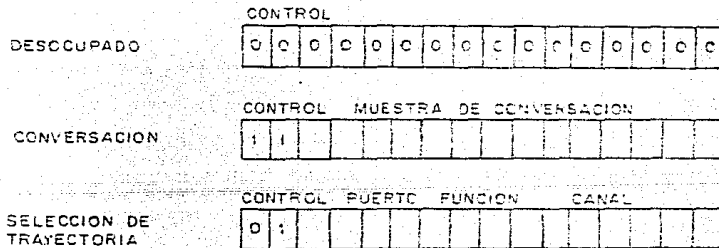
Figura 99. Diagrama de bloques de la central digital ITT 1240.

El diagrama de bloques de la figura 99 muestra la interconectividad de los varios elementos de la central ITT 1240. Por cada 60 líneas, un microprocesador con una pequeña cantidad de memoria, proporciona el control directo del hardware de la interface, la cual suministra las funciones de timbrado, supervisión, protección y codificación digital, para cada una de las líneas. Estas líneas se interconectan al resto del sistema a través de una interface terminal que conduce señales digitales de las líneas, en base a PCM y proporciona acceso al resto de la red. En la arquitectura de la ITT 1240 es de particular importancia la capacidad de cada microprocesador asociado con 60 líneas, para controlar el abastecimiento de trayectorias de estas líneas a través de la red, mediante el uso de la interface terminal.

Las trayectorias también se pueden establecer con el fin de proporcionar comunicación entre microprocesadores en suma a las que proporcionan una trayectoria de conversación entre dos terminales en la central. Las troncales están conectadas en forma similar a las líneas, es decir, cada microprocesador controla en este caso a un bloque de 30 troncales. Los elementos auxiliares también se conectan a la red exactamente en la misma forma, para suministrar la memoria de reserva, la comunicación hombre - máquina y la capacidad de procesamiento adicional, para aquellos aspectos de procesamiento que requieren grandes cantidades de memoria.

Ya que la red en los sistemas de conmutación completamente digitales es por lo general una parte muy pequeña del costo, usualmente no recibe mucha atención. Sin embargo, la estructura de una red que permite una arquitectura de control completamente distribuido garantiza alguna aplicación adicional. La red de conmutación de la ITT 1240 está constituida de una serie de elementos de conmutación en tiempo y en espacio que proporcionan acceso de cualquiera de los 30 canales en cualquiera de los 16 enlaces PCM receptores hacia cualquiera de los 30 canales en cualquiera de los 16 enlaces PCM transmisores. Este es el único elemento de conmutación usado para implementar la red completa. Por ejemplo, en asociación con las 480 líneas de abonado en una unidad de selección terminal, en dos de esos elementos de conmutación, mostrados en el centro de la figura 99, cada uno proporciona acceso a 8 canales PCM bidireccionales de las líneas a 4 planos de conmutación independientes, así como a elementos de procesamiento auxiliares. Cada uno de los planos de conmutación proporciona interconectividad completa, para tantas de estas líneas troncales o unidades de selección terminal como sean requeridos por la ingeniería del sistema. Si se adicionan módulos, al mismo tiempo se adiciona también capacidad de procesamiento y control. Para establecer una trayectoria desde una terminal a través de la red, se forman una serie de mensajes de control de la red mediante el procesador asociado con la terminal.

La figura número 100 muestra tres posibles configuraciones de formatos de 16 bits por canal, usados en las líneas PCM internas de la red de conmutación. Los primeros dos bits se usan para el control de los elementos de conmutación. La primera configuración está desocupada, esto significa que no se transmite ninguna información sobre este canal en particular y cualquier trayectoria puede ser conectada. La segunda configuración indica que los bits restantes contienen muestras de conversación o mensajes de datos con una verificación apropiada. La configuración de datos está destinada para la intercomunicación de datos entre procesadores, la cual es necesaria para procesar una llamada así como para datos digitales de las terminales.



FUNCIONES	PUERTO	CANAL
CUALQUIER PUERTO Y CANAL		
PUERTO N, CUALQUIER CANAL	N	
PUERTO PAR O IMPAR	0/1	
PUERTO N, CANAL M	N	M
INTERROGACION	X	X

Figura 100. Formato de la palabra de canal.

La siguiente configuración da otra combinación de control

para indicar que la trayectoria de la información de control está contenida en los bits restantes de la palabra. En este caso, contiene un código de función junto con la definición de cual de las 16 líneas PCM de salida llamados puertos y cual de los 30 canales de salida serán usados. En la tabla de la figura 100 se listan varias de las acciones que están definidas en este código de función. Estos permiten al procesador en el punto terminal requerir a un elemento del conmutador para seleccionar una línea y un canal PCM de salida para minimizar el tiempo de retardo a través del elemento de conmutación; seleccionar un canal PCM en una línea de salida definida y también para minimizar el retraso o para establecer una trayectoria a un puerto específico y un canal específico, si tal canal está libre.

Estos mensajes pueden ser usados por un procesador en la terminal de la red, para establecer una trayectoria hacia otra terminal de la misma. Cada palabra establece la trayectoria a través de una etapa de la red y finaliza en la terminal deseada. En cada etapa de la selección de la trayectoria, excepto en la última, los mensajes identifican una ruta especial a través de la red pero permiten al procesador seleccionar el intervalo de tiempo del canal de salida.

En la figura 101 se muestra el diagrama de bloques del elemento de conmutación asociado a los 16 puertos. Consiste de 16 elementos individuales con receptores que captan en cadenas de bits y sincronizan con la información de entrada para determinar cual canal está siendo recibido en un instante dado. Esta identidad del canal es usada para acceder la memoria de la trayectoria de la línea o puerto PCM de salida y el tiempo de canal sobre esa línea en que la información recibida va a ser transmitida. Después, la identidad de la trayectoria y la información recibida son transmitidas en un bus de división de tiempo que tiene un periodo constante de $1/16$ del tiempo de canal normal para cada una de las líneas PCM de llegada en este bloque conmutador. Todos los circuitos de los puertos PCM de salida monitorean este bus siempre, para "ver" si su identificación de puerto particular está siendo emitida. Si es así, los circuitos de los puertos seleccionados emplean la identidad del canal para direccionar la localidad en su memoria de conversación, en la que la información PCM debe ser registrada.

Un tiempo después, el circuito de sincronía de cada una de las líneas PCM de salida leerá en forma secuencial la información contenida en la memoria de cada canal y la transmitirá a la siguiente etapa de conmutación.

Cada línea PCM de llegada opera independientemente, de tal forma que se pueden recibir varios canales en cada uno de estos puertos. La naturaleza asíncrona de esta estructura de conmutación elimina cualquier asunto relacionado con los retardos de sincronía debidos a las variaciones del cable entre las etapas de conmutación y en la distribución del reloj.

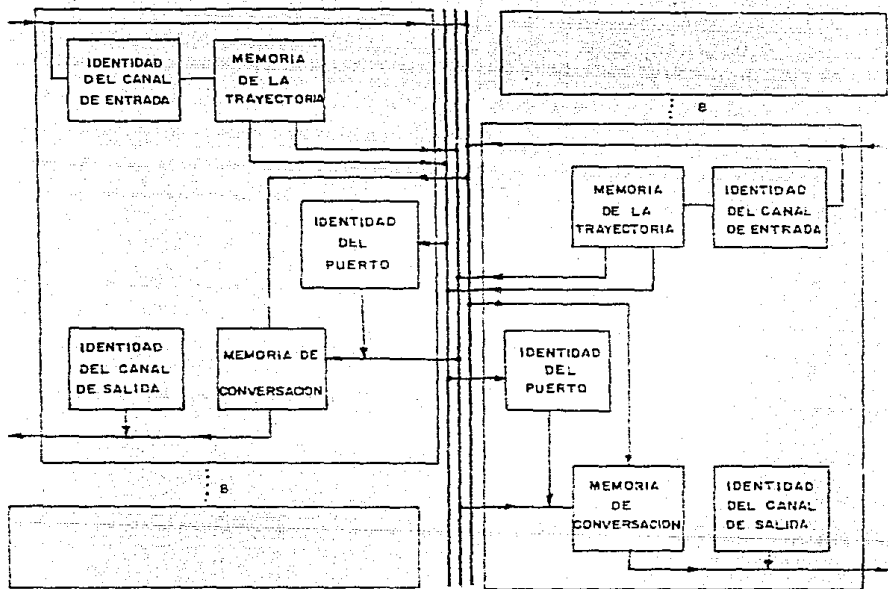


Figura 101. Elemento de conmutación del sistema ITT 1240.

En la central digital ITT 1240, las trayectorias son establecidas cuando la circuitería del receptor detecta el hecho de que una palabra del canal de llegada es un requerimiento para establecer una trayectoria de un canal en el cual no se ha tenido previamente una trayectoria establecida. Bajo estas circunstancias, el código de función es decodificado y utilizado para proporcionar la información de control, tal que el puerto o puertos seleccionados para la porción de sellos de la conexión quedan ser interrogados para identificar el canal más cercano para la conexión PCM de salida. Ya que esta trayectoria se establece inmediatamente, al siguiente instante este canal de tiempo aparece a lo largo de la siguiente etapa de la trayectoria, el mensaje es transmitido a través de la siguiente etapa de conmutación hacia el siguiente elemento, en el avance de

la trayectoria a través de la red.

La figura 102 presenta la interconectividad de un plano, de un máximo de cuatro usados en la red de conmutación. Esto demuestra que cada una de las líneas PCM de llegada tiene accesibilidad completa a todas las posibles líneas PCM de salida del plano, mediante el uso de una, dos o tres etapas de conexión. En el caso de una o dos etapas, es importante recordar que el elemento de conmutación tiene la posibilidad de conectar a cualquiera de las 16 líneas de entrada con cualquiera de las 16 líneas de salida, donde 8 líneas de entrada y 8 de salida se encuentran en el lado terminal del sistema y las restantes se encuentran en la red interna de conmutación. Esto proporciona otra ventaja para la estructura ya que los 8 puertos PCM de la parte interna de la red pueden ser desconectados si las únicas conexiones necesarias son las que involucran a los puertos PCM del lado terminal.

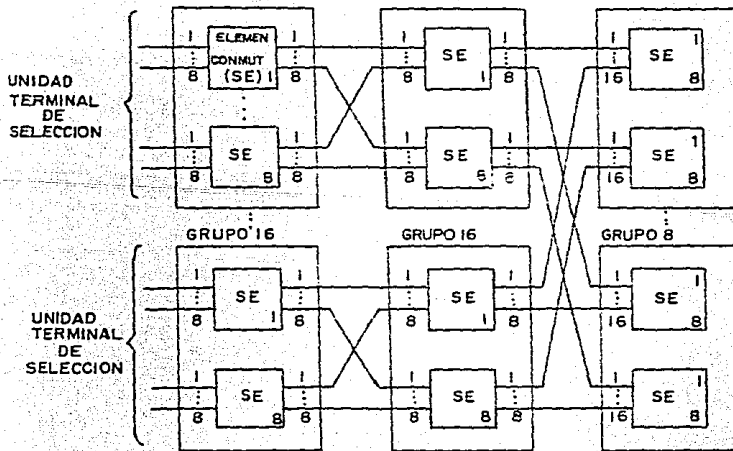


Figura 102. Plano de conmutador de grupo.

La estructura del software de la ITT 1240 está implementada en un fácil sistema de control distribuido. Para esto, es de particular importancia la separación del control de llamada de origen y de terminación, tal que se puedan usar procesadores separados para tratar con esas funciones. De hecho, todos los aspectos de procesamiento de llamada, control de señalización, control de la red, control del circuito de línea y sobre todo el control de llamada, son tratados como procesadores independientes que pueden ser localizados en cualquiera de los procesadores distribuidos.

Sin embargo, la tarea de una central telefónica involucra más que el control específico de terminales individuales. Muchas de las funciones pueden ser vistas como si fueran requeridas esencialmente una vez por la central o en otra palabra, funciones centralizadas. Esas funciones, tales como la selección de una troncal, el registro de información de reparto, la acumulación de estadísticas de tráfico o control de mantenimiento de la central, son manejadas más fácilmente en una arquitectura distribuida, mediante su distribución por función en todos los procesadores de la central. Cuando un procesador requiere una función en particular, establece una trayectoria a través de la red de conmutación hacia el procesador listado en su directorio y envía un mensaje de comunicación para ese procesador, identificándose a si mismo, la función requerida y la información necesaria para completar dicha función. Este procesador realiza la tarea y regresa un mensaje a través de la red hacia el procesador que requería dicha función.

Como no hay necesidad de proporcionar control centralizado de trayectorias en la red, ni comunicación entre procesadores independientes, todo el control de la intercomunicación del sistema se realiza a través de la conexión directa de los procesadores distribuidos en la interface terminal de la red.

Es de particular importancia en esta arquitectura de software, la capacidad de mantener las interfaces rigurosamente controladas que normalmente darían forma a la necesidad de mejorar la eficiencia de tiempo real. Mediante el mantenimiento de esas interfaces, la nueva tecnología hardware puede ser fácilmente introducida, rehaciendo al control individual del programa, el cual proporciona la interface de hardware en que es vista como un dispositivo de hardware virtual, tal como una red de conmutación virtual o una terminal de línea virtual, tiene todas las características funcionales del dispositivo de hardware actual, solo que la implementación eléctrica específica está oculta por un paquete de software llamado dispositivo controlador. Este dispositivo controlador, que permite acceso al control y mantenimiento es el único programa de software que necesita ser reestructurado cuando se proporciona un nuevo hardware. Este acceso no solo se aplica al hardware telefónico, tal como el circuito de línea o la red de conmutación, sino también al procesador mismo.

Por otro lado, todos los dispositivos de comunicación hombre - máquina, de registro de memoria y de registro de carga, son manejados como dispositivos virtuales, apareciendo en las terminales de la red en la misma forma que las líneas y troncales. En consecuencia, pueden ser fácilmente introducidos mediante una simple reescritura de sus dispositivos controladores individuales. Por ejemplo, una unidad de despliegue visual, que es el primero de los medios para proporcionar la comunicación hombre - máquina tiene un dispositivo controlador que trata con los requerimientos de protocolo de las terminales en particular pero el software restante del sistema trata a la terminal virtual en términos de caracteres a ser desplegados en un medio visual. El programa de control de la comunicación hombre - máquina es entonces concerniente con los medios interactivos para ayudar a los recursos humanos en la operación y mantenimiento de la ejecución de sus funciones en la central y no necesita ser afectada con los detalles de la operación de la terminal UDV.

Las funciones de operación y mantenimiento para esta central de control distribuido no difieren de las de una central de control centralizado. Sin embargo, la implementación interna difiere en que las funciones controladas de operación y mantenimiento se deben establecer en varios procesadores distribuidos por toda la central. En algunos casos, es conveniente tener estas funciones en el mismo procesador que controla al dispositivo de comunicación aunque esto no es un requerimiento absoluto.

Para el mantenimiento de la central, se les asigna responsabilidad a cuando menos dos procesadores, para inspeccionar el funcionamiento de la central completa, además de sus otras funciones. Uno de estos es asignado con la responsabilidad maestra hasta que se determina su operación. Sin embargo, en muchos casos es la responsabilidad no de los procesadores sino de los dispositivos controladores individuales de cada uno de los procesadores distribuidos por toda la red, al determinar si los dispositivos están operando correctamente a través del uso de pruebas de verificación internas. Únicamente para los aspectos del hardware que involucren la intercomunicación entre dos dispositivos virtuales, será indispensable tener un "inspector" independiente para localizar una mala operación dentro de la red.

En el caso de que se determina que un dispositivo virtual está fallando, mediante pruebas internas o externas, dicho dispositivo se aísla del resto del sistema para que se puedan usar otros dispositivos en el manejo de las mismas funciones en los sitios asociados.

Siempre que el control de llamada requiera un traslado de datos, su propio medio de manejo de datos determina si el dato está disponible dentro del procesador. Si no es así, el programa de manejo de datos automáticamente establece una conexión dentro de la red, hacia el procesador designado para este propósito y

recupera la información. Si por cualquier razón la conexión falla entonces se requerirá una fuente alterna del procesador de mantenimiento para realizar la función de traslado. El programa de manejo de datos está estructurado de tal forma que solamente su porción de acceso a la red, está enterada de que es necesario un nuevo proceso para un segundo procesador y más aun, la función de control de llamada no está enterada que el traslado puede obtenerse de otro procesador y mucho menos que un registro del procesador ha sido accesado para obtener finalmente la información.

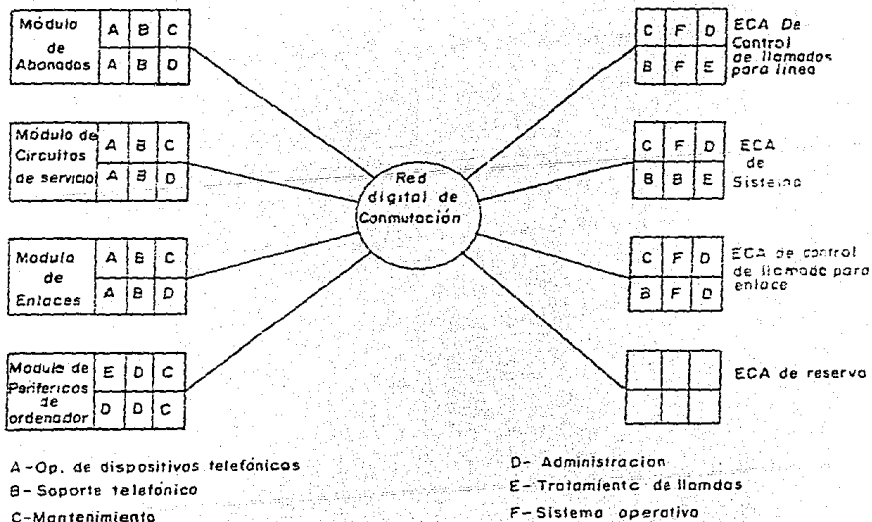


Figura 103. Asignación de las funciones de programación a los elementos de control.

Esta estructura de interfaces rigurosamente definida, tiene una gran independencia y una alta confiabilidad de los módulos de software individuales ya que no interactúan en muchas ocasiones.

Los elementos de control de la central digital ITT 1240 se dividen en elementos de control terminal y elementos de control auxiliar. En la figura 103 se muestra una asignación típica de las funciones de programación para los elementos de control, en esta asignación se pueden identificar cinco áreas funcionales:

El sistema operativo que proporciona la base para la ejecución de los programas de aplicación, realizando funciones tales como la comunicación entre módulos, la planificación y el ordenamiento de procesos, así como el acceso a los periféricos.

Soporte telefónico, sus funciones son fundamentalmente el acceso a los equipos físicos, la señalización y la tasación. Tratamiento de llamadas, consta de dos funciones importantes, el establecimiento y liberación de llamadas y los servicios de llamadas.

Mantenimiento, se divide en mantenimiento centralizado y en mantenimiento autónomo. El mantenimiento autónomo incluye la recuperación de los elementos de control ante errores relacionados con un proceso único, así como ante errores detectados mediante mecanismos de comprobación incorporados en un programa de aplicación. Otro aspecto del mantenimiento autónomo es la conmutación entre elementos de control activos y de reserva. El mantenimiento centralizado se ocupa de funciones menos críticas, tales como la coordinación de las pruebas rutinarias y del diagnóstico e inhabilitación de bloques de seguridad e inicialización y verificación después de una reparación.

Administración, es la que proporciona toda una serie de posibilidades para el control automático de la central, incluyendo el control de sobrecargas y la gestión de red, así como la gestión de altas y bajas de abonados y la adición de servicios de abonado. También se pueden añadir o suprimir enlaces, definir nuevas rutas y realizar otras funciones más.

3. CENTRAL DIGITAL DSS - 1

El sistema digital DSS - 1, el primero de una familia de sistemas de conmutación digital en ser desarrollado por la North Electric Company, es básicamente un sistema de conmutación local, para aplicaciones de hasta 12000 líneas. Este sistema, al igual que los anteriores, está construido a base de unidades modulares. La singularidad del sistema DSS - 1 es su conmutador de línea, el cual proporciona la interface para hasta 320 líneas de abonado,

interconectandolos a la matriz digital de conmutación y al sistema de control. La adición de equipo periférico apropiado, permite que el conmutador de línea pueda ser alejado hasta unos 75 Km mediante dos líneas convencionales T1.

Una de las ideas fundamentales de este sistema, fué crear un sistema de conmutación digital, realizado con bloques de construcción modular, con un alto grado de funciones descentralizadas y con sus interfaces tan simplificadas y estandarizadas como fuera posible.

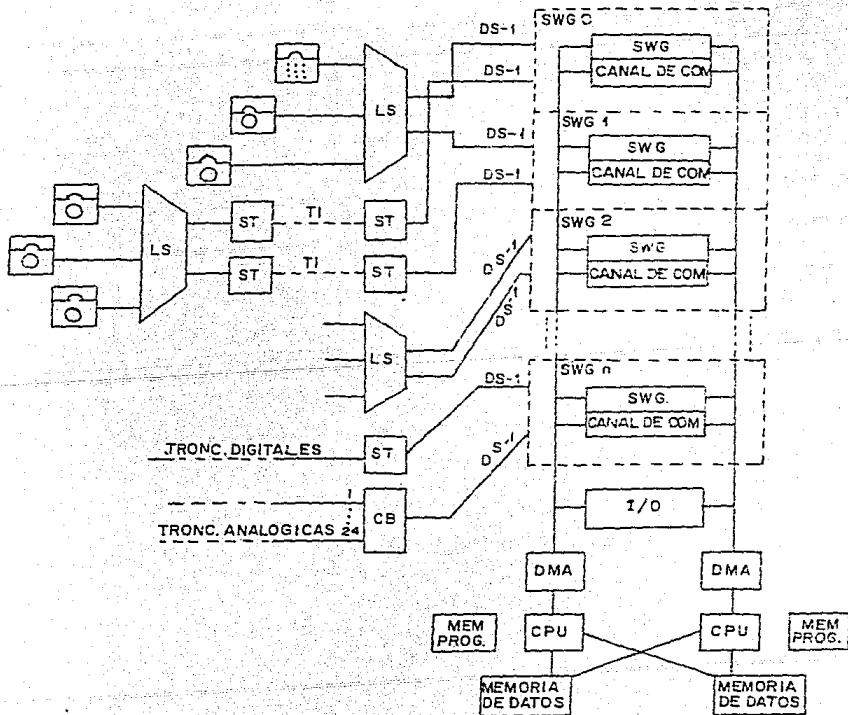


Figura 104. Sistema de conmutación digital DSS - 1.

El sistema DSS - 1, figura 104, consta de tres elementos básicos: Los conmutadores de línea, la red de conmutación y el sistema de control.

El conmutador de línea constituye la piedra angular en la familia de sistemas de conmutación digital. La función del conmutador de línea es la de proporcionar una interface estandarizada para las terminales de los usuarios, en su mayor parte líneas de abonado convencionales y en el DSS - 1 líneas con una concentración de tráfico apropiada.

Las tarjetas de interface se acomodan también a troncales PBX, líneas de monedero y circuitos de servicio. En una tarjeta se colocan cuatro circuitos de línea convencionales, pero para líneas especiales, con requerimientos de funciones más complejas, cada una emplea la mitad de una tarjeta de línea.

Cada canal del bus digital tiene una capacidad disponible de 64 Kbit/s. El lado digital del sistema es transparente en principio, pero reemplazando la tarjeta de línea con una apropiada tarjeta de interface digital, se pueden acomodar dispositivos o líneas terminales de 56 Kbit/s.

Por razones de confiabilidad, cada tarjeta de línea tiene acceso a dos buses digitales DS - 1, esto es con el fin de garantizar el servicio de abonado en caso de que uno de los buses o su equipo asociado falle. Por otro lado, los dos buses del conmutador de línea son de diferente fase, con el fin de evitar la posibilidad de pérdidas simultáneas en ambas líneas.

La congestión de la red de conmutación es insignificante, ya que cada uno de los buses ofrece 24 canales que desde un punto de vista de tráfico, pueda ser un grupo de 48 canales. Por lo tanto, la máxima capacidad de líneas de 320 es real, la probabilidad de bloqueo en todas las llamadas es menor de 0.005.

Las funciones de control del conmutador de línea se proporcionan mediante dos controladores independientes, cada uno asociado con un bus y su correspondiente línea DS - 1. La mayor parte del tiempo, ambos controladores operan en un modo de distribución de carga, con el fin de minimizar la carga en el sistema de control.

La red de conmutación de la figura 105 es básicamente una red TSI precedida de multiplexores y demultiplexores, que concentra 10 líneas DS - 1 dentro de una ruta con 250 intervalos de tiempo. Las líneas DS - 1 de los conmutadores de línea entran a los multiplexores/demultiplexores a través de redes de terminación de línea relativamente simples, mientras que los conmutadores de línea remotos requieren redes algo más complejas, con dispositivos para la sincronización. La salida y llegada de intercambios de intervalos de tiempo (TSI) en cada grupo de conmutación, accionan la matriz de puntos de cruce, la que en el sistema DSS - 1 por razones de modularidad ha sido dividida en subunidades incorporadas dentro de cada grupo conmutador.

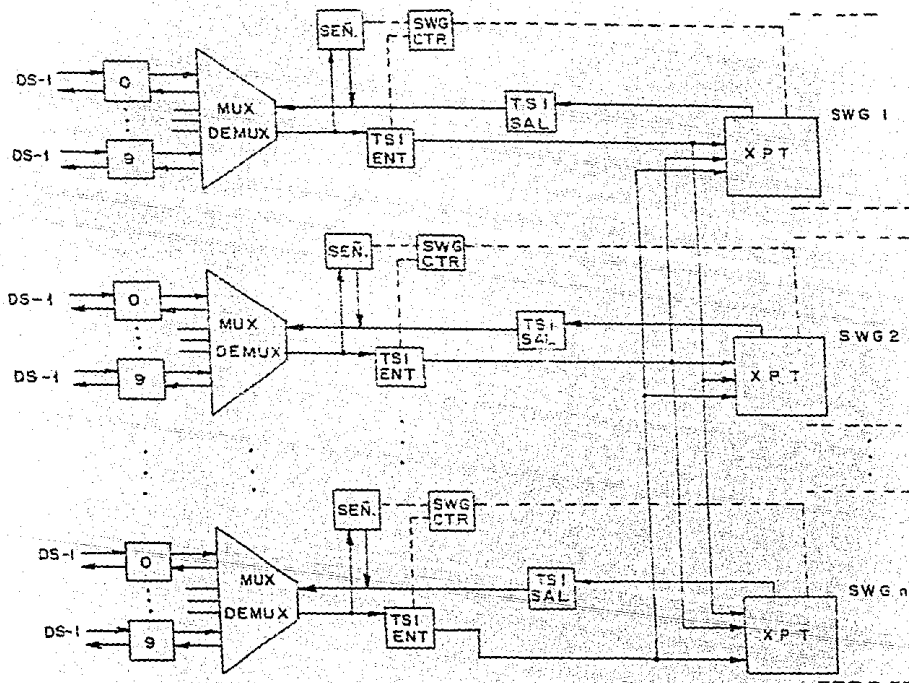


Figura 105. Red de conmutación del sistema DSS - 1.

La transmisión entre los TSI a través de la matriz se realiza en paralelo, usando 9 bits, uno de los cuales es el bit de paridad. La información de señalización se extrae de las rutas y se inserta en las rutas de salida, entre las unidades de multiplexaje y los TSI, usando unidades de señalización divididas en tiempo.

El sistema de control consiste de un par de procesadores con sus respectivos programas y memorias de datos asociados. Para

interconectar el complejo sistema de control con los controladores descentralizados en los grupos conmutadores, se usa la memoria de acceso directo la cual permite también el acceso a dispositivos de entrada/salida (I/O) estándar y opcionales.

La finalidad de tener dos microprocesadores es como se mencionó en los sistemas anteriores, el tener redundancia en el modo de ejecución y de las funciones de control realizadas por estos a nivel de conmutador de línea y de grupo conmutador.

Las dos principales funciones delegadas al controlador del grupo conmutador son la recepción y transmisión de la información de señalización y el control de él mismo. En ambos casos, los controladores únicamente ejecutan comandos de control del sistema y someten la información reunida para su procesamiento en el control del sistema.

Las funciones del controlador del conmutador de línea son un poco más complejas: la exploración de líneas, la recepción de circuitos de línea, el suministro de la señal de llamada, las pruebas de rutina y mantenimiento de los circuitos de abonado y terminales del conmutador de línea y el manejo de la señalización de canal común. Esta última proporciona el enlace de información entre los controladores del conmutador de línea y el sistema de control.

4. CONMUTADOR DIGITAL SESS - PRX

El conmutador digital SESS - PRX se prevé para constituir un conmutador de red universal que se pueda utilizar en cualquier parte del mundo y con cualquier tipo de central telefónica pública. Su capacidad se pueda ampliar a más de 50000 enlaces entrantes y salientes o más de 350000 líneas de abonado.

Internamente, el sistema es completamente digital y enlaza el sistema TDM de 24 ó 32 canales, según el uso local.

El sistema está formado por módulos conmutadores periféricos, los cuales prácticamente son centrales independientes, acopladas dentro de una estructura más amplia. Un sistema de conmutación SESS - PRX completo, comprende hasta 190 módulos conmutadores (SM), estos integran el sistema a la red telefónica. Cada SM puede aceptar hasta 4096 líneas de abonado ó 512 enlaces o bien, una combinación de ambos. Todas las llamadas o enlaces conectados al mismo SM se procesan dentro de él y únicamente se transmiten a un módulo de comunicación (CM) las llamadas destinadas a otro SM.

En el mismo SM de la figura 106 hay unidades periféricas (PU) de tres tipos ópticos que realizan la conversión en ambos sentidos, entre las señales analógicas en la red de transmisión y en el formato digital estándar usado dentro del conmutador. Las líneas analógicas de abonado se integran mediante concentradores de estado sólido que resisten altas tensiones, permitiendo hacer las conexiones electrónicamente sin necesidad de relevadores. El

resto de los PU proporcionan interfaces a los enlaces analógicos y a los dispositivos de transmisión digital de 2048 Kbit/s usando transmisión PCM.

Cada llamada entrante está asociada a un canal de datos o intervalo de tiempo de 16 bits, ocho de los cuales transfieren información (voz o datos en código binario) mientras que los ocho restantes son para llamada, control y protección de datos. Dentro de los SM, las unidades de servicio detectan las llamadas de origen y realizan funciones tales como las de decodificación, generación de tonos y pruebas de las líneas.

Un intercambiador de intervalos de tiempo conmuta los canales de datos dentro del módulo conmutador. Puede conectar cualquiera de los 512 intervalos de tiempo generados por las unidades periféricas, a otro intervalo de tiempo en el mismo SM o bien, a cualquiera de los 512 enlaces de red, control y temporización de fibra óptica (NTC) con el módulo de comunicación.

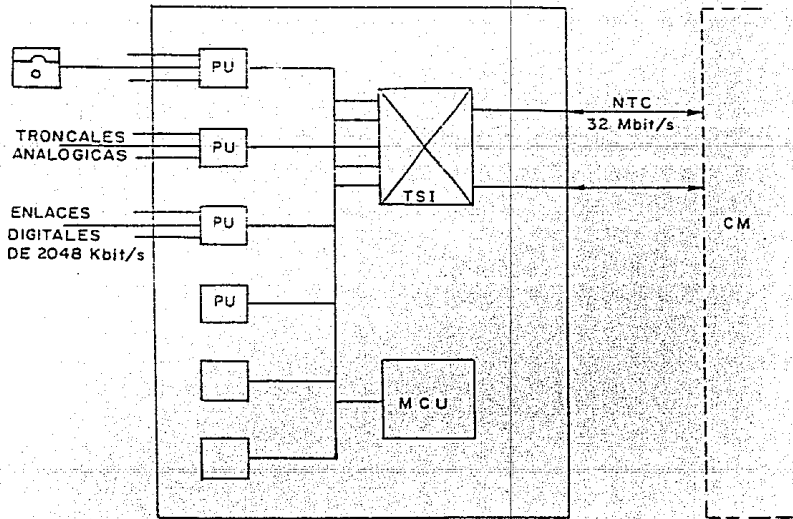


Figura 106. Esquema del módulo conmutador (SM).

Por el contrario, una llamada saliente originada en otro SM llega a uno de los intervalos de tiempo del NTC y se conmuta al

intervalo de tiempo apropiado en la unidad periférica, la cual lo convierte luego en el formato analógico o digital adecuado para su transmisión.

Todo el SM está controlado por una unidad de módulo de control (MCU) basada en un microprocesador de 32 bits. Un microprocesador VLSI especialmente fabricado se encarga del procesamiento de las llamadas.

El módulo de comunicación (CM) contiene un conmutador de tiempo multiplexado (TSM), un conmutador de circuito digital que encamina el tráfico de voz y datos entre los distintos módulos conmutadores. Como el TSM es un conmutador de espacio, toda la central posee una arquitectura TSI. El TSM se amplía progresivamente para interconectar de 30 a 190 módulos conmutadores.

El CM contiene también un conmutador de mensajes, el cual es un conmutador de paquetes destinado a enviar mensajes de control entre los módulos conmutadores y entre el módulo administrativo (AM) y los módulos conmutadores. Una unidad de reloj del conmutador de mensajes sincroniza todo el sistema a partir de una referencia que puede ser interna o externa.

El módulo administrativo ejecuta funciones centrales tales como: la asignación de recursos, el encaminamiento y tasación de llamadas así como la detección, diagnóstico y reparación de fallas. También proporciona la interfase humana mediante la cual el personal de operación y mantenimiento interactúa con el sistema.

Todos los elementos principales del sistema se encuentran duplicados y para reducir al mínimo la pérdida de llamadas o datos, los elementos de reserva se mantienen con la misma información que contienen los elementos principales.

Uno de los principales adelantos mostrados por el conmutador SESS - PRX, es el de utilizar internamente enlaces de fibra óptica. Cada enlace NTC lleva 256 canales de datos multiplexados en una corriente de bits en serie de 32 Mbit/s. Esta elevada capacidad de transporte de información reduce considerablemente el número y costo de los cables. Además, la insensibilidad de las fibras ópticas a las interferencias electromagnéticas permite una casi total libertad de la central. Los bastidores pueden estar separados por distancias considerables o situarse en distintos pisos de un edificio, sin que se produzcan problemas con los potenciales de tierra.

En las zonas rurales se puede tener una mayor flexibilidad. Los módulos conmutadores conectados por enlaces de fibra óptica pueden situarse hasta a 50 Km del módulo de comunicación. Por lo tanto, una sola central puede consistir de varios módulos conmutadores repartidos en una área de miles de Km. Cada SM procesa sus propias llamadas locales y puede mantener enlaces independientes con otras centrales. Si el enlace principal NTC se interrumpe, estas funciones no se afectan ya que la información para la facturación de llamadas se registra localmente. Solo se

interrumpen las llamadas encaminadas a través del CM.

Los módulos de conmutación remotos pueden situarse a distancias aun mayores (por lo menos 150 Km) si se conectan mediante enlaces digitales PCM, en vez de recursos galvánicos o de microondas. En este caso, el módulo de conmutación remota no va conectado directamente al CM, sino que se integra a través de un segundo módulo conmutador y una unidad periférica, figura 107. Es posible agrupar módulos de conmutación remota de cualquier tipo, con el propósito de suministrar conmutación autónoma local hasta de 10000 líneas.

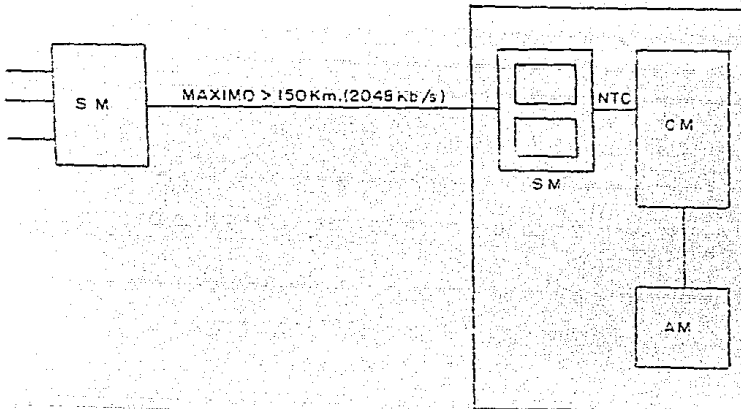


Figura 107. Conexión de un módulo de conmutación remota.

El software empleado en el conmutador SESS - PRX es estratificado y de forma modular. Los procesadores de los SM y del AM son manejados por un sistema operativo que presenta idénticas interfaces al software de aplicación. Todo el software de aplicación está escrito en un lenguaje de alto nivel y se encuentra también modularizado, para facilitar su actualización. Este software se puede subdividir, de una forma general, en un paquete de comunicaciones, proceso de llamada, servicios de abonado, pruebas y mantenimiento de la propia central y de todas las líneas y enlaces conectados a ella así como de un paquete de base de datos para registros de la central y software de medición de tráfico y facturación de llamadas.

El acceso del personal al sistema se realiza mediante un centro de control maestro integrado al módulo administrativo.

Además, pueden colocarse centros de operación y mantenimiento en forma remota.

5. CENTRAL DIGITAL EWS - D DE SIEMENS

La organización básica de las funciones del sistema EWS - D de Siemens se ilustra en la figura 108. Las terminales de línea de abonado y las troncales entre centrales se combinan en grupos, para lo cual se asignan generadores de tono digital así como receptores digitales. Las conexiones de un grupo línea/troncal se pueden establecer mediante un conmutador de tiempo. Un microprocesador almacena el dato requerido para establecer la llamada y el estado de llamada, además de convertir las señales del nivel físico al nivel lógico y viceversa.

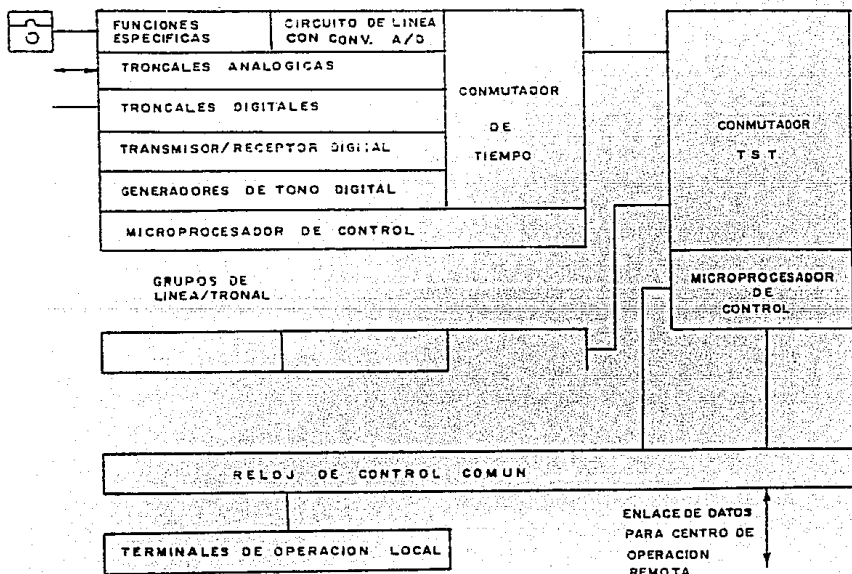


Figura 108. Organización básica del sistema EWS - D.

Un arreglo de conmutación digital sirve para conectar los grupos línea/troncal. Mientras que la interface conduce canales de habla y control a 64 Kbit/s, los cuales son conmutados a través de la red y dirigidos al siguiente nivel de control superior, el procesador central se conecta

a la red de conmutación mediante la misma interfaz. El procesador central contiene todos los datos centralizados, estos datos pueden ser tablas de enrutamiento alterno, además, ejecuta funciones de conmutación entre grupos línea/troncal y sirve como un punto de acceso para operación remota o local del sistema de conmutación.

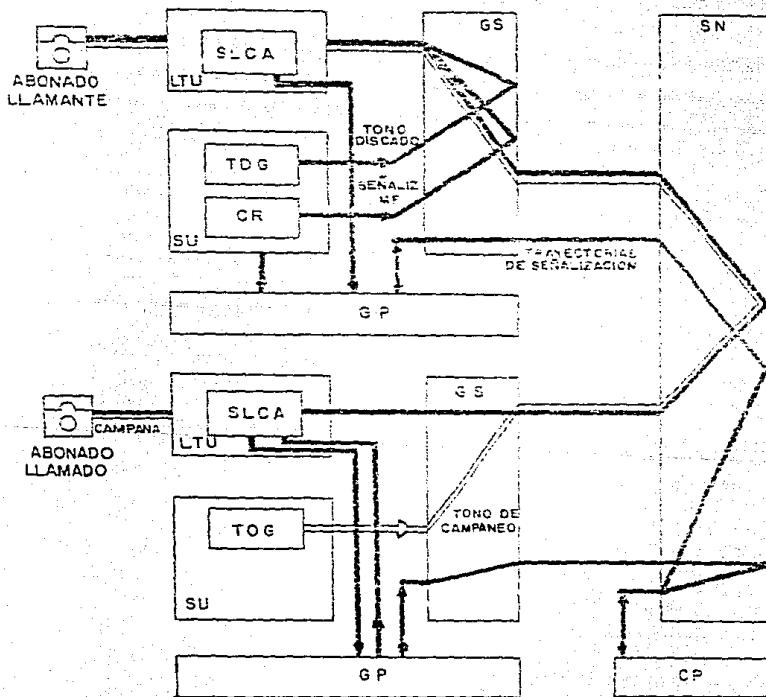


Figura 109. Diagrama de procesamiento de una llamada en el conmutador EWS - D.

En la figura 109 se muestra una breve descripción del procesamiento de una llamada que además ilustra la interacción entre dispositivos funcionales individuales. El procesador de

grupo GP detecta una condición de desocupado y conecta al abonado solicitante a un generador de tono de marcado y a un receptor de dígitos del grupo línea/troncal, mediante un conmutador de grupo (GS). El procesador de grupo reporta el requerimiento de servicio y los dígitos marcados al procesador central por medio de la red de conmutación central. El procesador central checa la clase de servicio del abonado solicitante, busca la trayectoria a través de la red e informa al procesador de grupo del abonado solicitado. El GP del abonado solicitado completa la conexión en su área línea/troncal y aplica una señal de timbrado de c.a. y un tono, además de supervisar el levantamiento del microteléfono del abonado solicitado.

Al conmutador ESW se le pueden conectar tanto troncales digitales como analógicas. Las señales de las líneas de abonado analógicas se convierten a señales PCM en la etapa del circuito de línea. Un módulo de tamaño normal está compuesto de 8 circuitos de línea de abonado, en donde cada circuito se asigna a un intervalo de tiempo de un sistema de 2048 Mbit y a un canal de 2 Kbit/s para la información de control. Cuatro módulos ocupan completamente un sistema de 2048 Mbit. Un grupo de línea/troncal se puede expandir a ocho sistemas de 2048 Mbit, lo cual corresponde a 256 terminales.

Ya que no se proporciona concentración de tráfico, las troncales analógicas pueden ser conectadas hasta este punto mediante la misma interface. Dependiendo del sistema de señalización usado, se pueden conectar hasta 4 troncales en un solo módulo. El máximo número de troncales que se pueden conectar a un grupo línea/troncal es de 128. La adaptación a varios sistemas de señalización se realiza mediante circuitos individuales.

La conversión de señales analógicas a formato digital en la entrada de la central, permite también la recepción de señales digitales desde un circuito de línea de abonado digital en la misma interface.

El grupo línea/troncal, conectado a un microprocesador que realiza las funciones de control central, representa el tamaño más pequeño de central y puede dar servicio aproximadamente a 200 líneas de abonado ó 100 troncales. La introducción de una red central de conmutación permite la multiplicación de los grupos línea/troncal hasta tener 504, lo cual corresponde a aproximadamente 100000 líneas de abonado ó 60000 troncales.

La estructura de la red es del tipo TST, donde el conmutador de tiempo es siempre del mismo tamaño. Los conmutadores en tiempo se conectan mediante varios arreglos de espacio que son los que determinan el tamaño de la red de conmutación.

La red central de conmutación está completamente duplicada y su concentración o distribución tiene lugar en los grupos línea/troncal.

Por otro lado, el procesador central obtiene acceso a la

periferia de los grupos línea/troncal mediante canales de 64 Kbit/s, los cuales son idénticos a los canales de habla.

Los canales de control son empacados en grupos de 128 para su distribución a través de la red de conmutación de 8.192 Mbit.

Las caídas del sistema acumuladas durante su vida útil y los tipos de falla en una llamada, son parámetros que reflejan la calidad de un sistema de conmutación, desde el punto de vista del abonado.

En el sistema EWS - D, todos los tipos de procesamiento central, las redes de conmutación central y el equipo común de los grupos línea/troncal son completamente supervisados y diagnosticados por medio del hardware y programas de prueba.

Algunas administraciones realizan exámenes preventivos de los circuitos troncales y de abonado, con el fin de detectar las fallas antes de que el equipo se use en una conexión. Esto se realiza mediante suplementos en los circuitos de línea de abonado que proporcionan contactos de división para desconectar la línea y contactos de acceso al circuito de línea. El equipo de prueba asociado se interconecta mediante un bus de prueba. El equipo de prueba se entrega con una interfaz al sistema mediante la cual se puede establecer una conexión de prueba.

Quando se prueban troncales, se debe hacer una distinción entre las troncales locales y las de larga distancia. En la conmutación de larga distancia, es común incluir el equipo del sistema de transmisión y el resto de la central distante en prueba. El ESW - D tiene un sistema interfaz para el equipo de prueba, mediante el cual se puede establecer una conexión con la troncal seleccionada. Las mediciones y pruebas de transmisión de la señal de la central distante se realizan bajo el control de su equipo de prueba. El aislamiento de la falla hacia el circuito de salida de la central originante, la ruta de transmisión o el equipo de la central distante, se realiza por medio del intercambio de módulos interactivos. Las series de mediciones se pueden hacer también bajo la asistencia del procesador central.

En la actualidad, la mayoría de las troncales locales son principalmente de cobre y por lo tanto, no necesitan ser examinadas rutinariamente. Para checar los circuitos de entrada y salida de la central EWS - D se tienen contactos que proporcionan acceso al lado troncal para propósitos de prueba. La emisión de instrucciones de prueba, evaluación de resultados y el control de la secuencia de operación puede ser iniciada por el equipo de prueba o por el sistema.

En el caso de enlaces de transmisión PCM, los procedimientos de servicio están prácticamente integrados en el diseño del sistema. Las fallas que ocurren en el sistema de transmisión pueden ser indicadas. Los medios de conexión directa para el equipo de conexión se proporcionan para realizar mediciones de transmisión adicionales, tales como mediciones de cuantización y de distorsión.

C A P I T U L O V

LA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS

1. LA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (ISON)

Debido a los grandes requerimientos y a las grandes capacidades técnicas de los países avanzados, se ha desarrollado un gran número de servicios de telecomunicaciones que actualmente son abarcados (algunos de ellos) por una eficiente red telefónica, ya que las líneas telefónicas pueden ser usadas para transmisión de facsímil, envío de datos, etc.

Los actuales servicios de telecomunicaciones están diseñados para aplicaciones específicas: telefonía para transmisión de voz; telex y teletex para la comunicación de textos únicamente; videotex interactivo y telefax para la transmisión de textos e imágenes; video para la transmisión de señales de banda ancha, la cual está restringida a la emisión de señales de T.V.; etc.

Cualquier servicio de comunicación, ya sea en el sector público o privado, para autoridades públicas o compañías, es dependiente de una red de comunicaciones que debe funcionar eficientemente.

La existencia de redes, cada una en su campo de aplicación, implica una alta eficiencia, por ejemplo la red telefónica analógica o la red integrada de datos y textos (IDN). Sin embargo, todas esas redes son "islas de comunicación" con diferentes puntos de aplicación. Como consecuencia de esto, el usuario requiere de varias líneas de acceso para los diferentes servicios, haciendo de su utilización algo difícil y costoso.

En algunos países, se inició desde hace algunos años la investigación e implementación de una red que abarca todos los servicios de telecomunicaciones, tanto de banda angosta como de banda ancha.

La red telefónica, la cual conecta al mayor número de usuarios a lo largo y ancho de todo el mundo, es la más apropiada para ser extendida hacia la formación de la red integrada planeada.

El principal problema que se presenta, es el hecho de que actualmente los canales telefónicos en su mayoría están equipados para manejar principalmente señales analógicas.

Las limitaciones de la red telefónica limitan también, aunque en menor grado, la recepción de los servicios de comunicaciones.

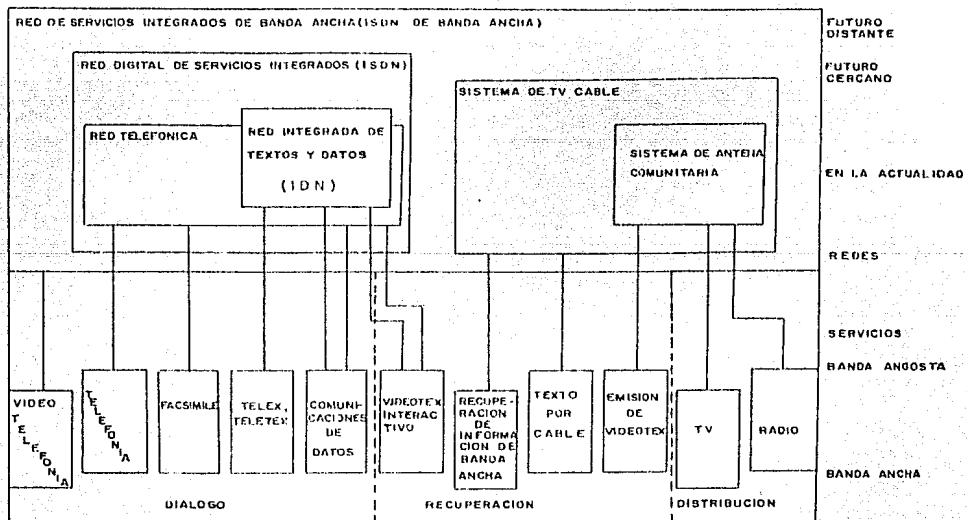


Figura 110. Desarrollo de los servicios y de las redes.

Por otro lado, el progreso en el campo de la microelectrónica permitirá que las señales de voz sean convertidas a la forma digital en la terminal y que las funciones de almacenamiento y conmutación sean combinadas para obtener comunicaciones a un bajo costo.

Ya han sido creadas las bases para el establecimiento de una red digital universal, para todas las formas de servicios de telecomunicación, la cual puede involucrar los principios de conmutación Paso - a - Paso de la red telefónica actual, con sus cables de cobre. Esta red se desarrolla con el nombre de Red Digital de Servicios Integrados (ISDN).

La ISDN puede definirse como una red que se partir de la red telefónica digital, deberá evolucionar, proporcionando vías digitales de extremo a extremo que sirvan para proporcionar una amplia gama de servicios de voz, imágenes, textos y datos, a los cuales se podrán acceder los usuarios, por medio de un reducido número de interfaces normalizadas.

La sustitución de las centrales electromecánicas y semielectrónicas, por sistemas completamente digitales, es el primer paso hacia la creación de la ISDN. Las acciones subsiguientes contemplan la implementación de la red usando cables de fabricación especial, fibras ópticas, etc., para finalmente completar la red con equipos terminales de abono completamente digitales, con el objeto de obtener una transmisión digital de extremo a extremo.

El uso de las señales digitales lleva consigo grandes ventajas para transmisión de voz, además de que tanto el ruido como el eco se pueden eliminar casi por completo.

La conversión hacia una ISDN completa se tiene como un proyecto a largo plazo, figura 110. En la primera etapa se espera crear una red telefónica con la ISDN superpuesta, en la que los circuitos principales serán convertidos paso a paso para que puedan proporcionar transmisión y conmutación digitales y la cual estará enlazada a las áreas de la red analógica, mediante módulos de acoplamiento.

El concepto de ISDN engloba a todas las señales generadas en una terminal de usuario, que son conmutadas y transmitidas sobre una sola línea de acceso de abono, en forma digital.

El usuario establece una conexión y acuerda con la parte llamada que enlaces terminales (que pueden estar conectadas a las líneas requeridas) deben ser usadas para llevar a cabo la comunicación. Las señales digitales pueden ser almacenadas mientras la parte llamada se encuentra ausente.

En la ISDN, las diferencias en tiempos entre un enlace digital y un enlace analógico pueden ser compensadas y la información que se produce a una velocidad lenta, puede ser transferida a la velocidad de transmisión normalizada para la ISDN de 64 Kbit/s, esto es, aproximadamente 10 veces más rápido que en la red telefónica analógica. La tabla 13 muestra los

tiempos de transmisión, en forma comparativa, de las redes analógica y digital.

Servicio	Análogica 0.3 - 3.4 KHz	Digital 64 Kbit/s
Establecimiento de la conexión	10 s	0.5 s
Teletex (2400 caracteres por página)	5 a 10 s	0.5 s
Transmisión de FAX (una página A4)	180 s	10 s
Transmisión de datos (10000 bits)	2 s	0.2 s
Página videtex	8 s	0.2 s

Tabla 13. Tiempos de transmisión en las redes de telecomunicaciones.

Para cada línea de acceso de abonado se tienen disponibles dos canales de 64 Kbit/s en ambas direcciones, así como un canal independiente también de 64 Kbit/s que permite la transmisión de señales de selección, tonos audibles, señales de indicación y señales del sistema de control y seguridad, cuando son requeridas.

Algunos de los medios con los que cuenta una central ISDN son: el sistema de procesamiento de datos, bancos de datos, impresores, memoria intermedia, banco de microfilmes, banco de televisión, etc.

Por otro lado, los servicios que presta son: telefonía, información, computación, telex, telefax, videtex, videotelefonía, etc., así como algunos servicios derivados de estos, que hacen a la red digital de servicios integrados un sistema versátil en el campo de las telecomunicaciones.

CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis de los diferentes medios de conmutación en el sistema telefónico, nos podemos dar cuenta que la conmutación digital habrá de desplazar, en poco tiempo, a los todavía actuales sistemas electromecánicos, brindando además una alta confiabilidad así como una amplia gama de servicios, que van desde el servicio telefónico normal, hasta la videotelefonía, la transmisión de imágenes, de datos, etc.

En forma paralela a la electrónica, la telefonía digital crece a pasos agigantados, con el objeto de aprovechar todos los adelantos de aquella. De esta forma, se tienen aplicaciones de todos los adelantos electrónicos, tales como circuitos integrados de alta velocidad y baja disipación de potencia, fibras ópticas, etc.

Algunas de las grandes ventajas que la conmutación digital tiene sobre la analógica son:

- 1) El reducido espacio que ocupan los equipos digitales, en comparación con los grandes sistemas de conmutación mecánica y electromecánica, esto es, en un pequeño espacio se puede instalar un sistema de conmutación digital con mucho mayor capacidad que la de un sistema electromecánico del mismo tamaño.
- 2) Muchas de las acciones de mantenimiento y prueba se realizan mediante equipos de cómputo, haciéndolas más rápidas y confiables.
- 3) Con unas cuantas interfaces y algunos equipos periféricos, es posible la transmisión de una amplia gama de servicios de comunicación.
- 4) Los sistemas digitales tienden a ser menos costosos debido a su tamaño y facilidad de manejo.

Por otro lado, como se menciona en el capítulo V, la tendencia del sistema telefónico digital es abarcar todos los servicios de comunicación, tanto de banda ancha como de banda angosta, para integrarlos en un solo sistema, conocido como Red Digital de Servicios Integrados, que pueda enlazar a todo el mundo con rapidez y confiabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) DIGITAL TELEPHONY
Bellamy, John
John Wiley & Sons 1982
- 2) FUNDAMENTOS DE INGENIERIA TELEFONICA
Herrera Pérez, Enrique
Limusa 1979
- 3) TELECOMMUNICATION TRANSMISSION HANDBOOK
Freeman, Roger L.
John Wiley & Sons 1975
- 4) COMMUNICACION SYSTEM ENGINEERING HANDBOOK
Hamsher, Donald H.
Mc. Graw-Hill 1967
- 5) ELECTRONIC SWITCHING: DIGITAL CENTRAL OFFICE SYSTEMS OF THE WORLD
Amos, E. Joel Jr.
IEEE PRESS
John Wiley & Sons 1981
- 6) LA TELEFONIA DIGITAL: UNA INTRODUCCION
Varios
Ericsson 1977
- 7) UNDERSTANDING TELEPHONE ELECTRONICS
Fike, John L.
Texas Instruments 1983
- 8) COMUNICACIONES ELECTRICAS
Vol. 58, No. 1
ITT 1983
- 9) APUNTES DEL CURSO "SINOPSIS AXE"
Teleindustria Ericsson 1982.