



300617  
3  
2 y

UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA  
MECANICA ELECTRICA

Incorporada a la U.N.A.M.

DIGITALIZACION DE LAS  
COMUNICACIONES TELEFONICAS

**TESIS  
PROFESIONAL**

Que para obtener el Título de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

**GUILLERMO ERNESTO BARRERA ROMERO**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 esta 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.

## CAPITULO I

### NECESIDADES Y ESPECTATIVAS DE LA TELEFONIA EN MEXICO

	pág.
I.1 Antecedentes e Historia.....	1
I.2 Perspectivas a mediano plazo.....	4
I.3 Sistemas Analógicos vs. Sistemas Digitales..	7
I.4 Telefonía Digital.....	10
I.4.1 La transmisión Digital.....	12
I.4.2 La Conmutación Digital.....	15

## CAPITULO II

### SISTEMAS MULTIPLEX PCM

	pág.
II.1 PCM de primer orden.....	18
II.1.1 Principios.....	18
II.2 Muestreo.....	20
II.3 Cuantificación.....	22
II.4 Codificación.....	26
II.4.1 Codificación No-Lineal.....	28
II.5 Multiplex por División de tiempo (MDT)..	31
II.6 Códigos de Línea.....	34
II.6.1 Código AMI.....	36
II.6.2 Código HDB-3.....	37
II.7 Transmisión.....	38
II.8 PCM de Segundo Orden.....	39
II.8.1 Estructura Digital de la Señal.....	43

## CAPITULO III

### SISTEMAS DE RADIO DIGITAL

	pag.
III.1 Principios de Modulación Digital.....	47
INTRODUCCION.....	47
III.2 Técnicas de Modulación Digital.....	47
-Modulación por Variación de Amplitud (ASK)....	48
-Modulación por Variación de Frecuencia (FSF)..	50
-Modulación por Variación de Fase (PSF).....	52
-Técnicas de Modulación.....	53
III.3 Comportamiento de los sistemas Digitales con respecto al Ruido.....	58
III.3.1 Ruido térmico.....	59
III.3.2 Interferencias.....	59

## CAPITULO IV

### REDES DIGITALES Y SINCRONIZACION DE LA RED DIGITAL LA TRANSICION A UNA RED DIGITAL

	pág.
IV.1 Configuración de la Red Digital.....	74
IV.1.1 Principales Areas de Aplicación Digital..	74
IV.1.2 Desarrollo hacia una Red Digital.....	75
IV.2 Consideraciones Técnicas al Planear Redes Digitales para Areas de Centrales Múltiples.....	77
IV.2.1 Encaminamiento.....	77
IV.2.2 Sistemas de Transmisión.....	78
IV.2.3 Planificación de transmisión.....	79
IV.2.4 Señalización.....	80
IV.3 Una Red Completamente Digital.....	81
IV.4 Relojes y Métodos de Sincronización de Red...	81

IV.4.1	Parámetro de funcionamiento de los relojes.....	82
IV.4.2	Tipos de Relojes.....	83
IV.5	Consecuencias y causas de un deslizamiento.....	85

## CAPITULO V

### SISTEMA DE COMUNICACION DIGITAL S-1240

	pág.	
V.1	Introducción.....	89
V.1.1	Historia.....	89
V.1.2	Características Generales del S-1240....	91
V.1.3	Adaptabilidad a los Diferentes Sistemas.	91
V.2	Descripción General del Sistema S-1240	
V.2.1	Distribución.....	99
V.2.2	Elementos de conmutación Digital (DSE)..	102
V.2.3	Red de Conmutación Digital (DSN).....	103
V.2.4	Elemento de Control Terminal (TCE).....	109
V.2.5	Elemento de Control Auxiliar (ACE).....	109
V.2.6	Procesador B y Memoria.....	110
V.2.7	Interfase Terminal.....	119
V.2.8	Módulos.....	124
V.3	Conceptos Generales del Software.....	132
V.3.1	Sistemas operativos de los Elementos de control.....	135
V.3.2	Manejadores de Dispositivos Telefónicos.	138
V.3.3	Manejo de llamadas.....	139
V.3.4	Mantenimiento y Administración.....	141
V.3.5	Implementación del Software.....	143
V.3.6	Facilidad de Uso.....	147
V.4	Explotación del Sistema.....	154

	pág.
CONCLUSIONES.....	160
1) AVANCE TECNOLOGICO.....	160
2) DIGITALIZACION.....	161
3) SISTEMAS DIGITALES CON EL AUDITIVO TELMEX..	162
BIBLIOGRAFIA.....	164

## INTRODUCCION

Cuando se desea establecer una comunicaci3n telef3nica entre dos personas que se encuentran en lugares distantes dentro de una poblaci3n, o bien en diferentes poblaciones, pa<sup>is</sup>es o inclusive continentes, es necesario hacer uso de nuevas t3cnicas de transmisi3n y conmutaci3n como son el uso de los sistemas PCM mediante los cuales es posible el env<sup>io</sup> de informaci3n a cualquier distancia con la suficiente potencia, la adecuada calidad y la mayor econom<sup>ia</sup> posible.

Este libro re<sup>u</sup>ne informaci3n sobre las t3cnicas de transmisi3n y conmutaci3n utilizados en Tel3fonos de M3xico. Dada la amplitud del tema como es la Digitalizaci3n de las comunicaciones telef3nicas, los temas no est3n muy profundizados pero est3n adecuados para que a toda persona interesada en el tema le pueda ser util y pueda sacar datos relevantes e importantes.

El libro est3 organizado en 5 cap<sup>it</sup>ulos.. El primer cap<sup>it</sup>ulo NECESIDADES Y ESPECTATIVAS DE LA TELEFONIA EN MEXICO, proporciona informaci3n sobre los antecedentes e historia de la telefon<sup>ia</sup>, as<sup>í</sup> como las perspectivas a Me<sup>d</sup>iano Plazo aqu<sup>í</sup> en M3xico, y sobre los principios b3sicos de la transmisi3n tanto digital como anal3gica, y tam<sup>bi</sup>3n lo que es la Telefon<sup>ia</sup> digital.

El Segundo Cap<sup>it</sup>ulo: SISTEMAS MULTIPLEX PCM ofrece una descripci3n detallada de lo que es el sistema PCM de primer orden y segundo orden.

El tercer capítulo: SISTEMAS DE RADIO DIGITAL presenta la descripción de los diversos tipos de Modulación digital, las técnicas de Modulación así como el comportamiento de los sistemas digitales.

El cuarto capítulo: REDES DIGITALES Y SINCRONIZACION DE LA RED DIGITAL nos hace una descripción detallada de lo que es la Transición a una Red Digital, su configuración de dicha Red, así como las Consideraciones que hay que hacer para planear una Red Digital.

El quinto capítulo: SISTEMA DE CONMUTACION S-1240 describe a detalle lo que es un sistema completamente digital nos presenta uno de los sistemas utilizados en la comunicación Telefónica de Teléfonos de México que nos proporciona diferentes servicios de comunicación.

## CAPITULO I

### NECESIDADES Y ESPECTATIVAS DE LA TELEFONIA EN MEXICO

#### I.1 Antecedentes e Historia

Telecomunicación, significa comunicación a larga distancia. Generalmente empleamos esta palabra para designar la comunicación con medios electrónicos. La telecomunicación puede ser una dirección ( radio, televisión ) o de dos direcciones ( telefonía, telegrafía ). Llamamos sistemas de telecomunicaciones a los sistemas electrónicos que utilizamos para la telecomunicación en dos direcciones, siendo el sistema de la telecomunicación más importante la telefonía.

En 1986 el teléfono cumplió 110 años. A la mayoría de la gente en Suecia le es difícil imaginarse una población sin teléfono; sin embargo sólo 50 años atrás había muchas familias que no lo tenían.

A principios de 1800, investigadores de muchos países estudiaban los fenómenos eléctricos y magnéticos. El danés Hans Christian Orted descubrió el 21 de julio de 1820 que una corriente eléctrica podía influir en una aguja magnética. Había nacido el electromagnetismo. Los inventores de todo el mundo intentaron aprovechar el electromagnetismo para emitir mensajes por largas distancias. Se construyeron diferentes aparatos telegráficos. A finales de la década de 1830 se había logrado una solución económica y técnicamente aceptable. Al aparato se le dio el nombre de

Telégrafo Morse, por el creador del alfabeto telegráfico, el americano Samuel PB Morse.

El deseo y la necesidad de poder transmitir la voz humana entre los más diversos lugares fueron un desafío para los inventores de mediados del siglo XIX. Se probaron muchos métodos. El 14 de febrero de 1876 el americano Alexander Graham Bell presentó la primera solicitud de patente de un teléfono y con esto inició un desarrollo encaminado a facilitar la comunicación entre las gentes, este desarrollo continúa todavía y solamente podemos adivinar hacia donde nos lleva.

La primera central telefónica del mundo se puso en servicio el año de 1878 en New Haven E.U., comprendía un cuadro conmutador y 21 abonados. Los E.U. estuvieron desde el principio a la cabeza del mundo en cuanto a la telefonía.

La primera central telefónica en Suecia se abrió en 1880; después de esto Suecia siempre a estado entre los países principales del mundo en lo que se refiere a intensidad telefónica, o sea cantidad de aparatos telefónicos por cada 100 habitantes.

La red telefónica de finales del siglo XIX y principios del XX, no era tan segura como la de nuestros días. Las líneas de hilos sencillos y las baterías débiles hacían difícil el telefonar por distancias largas. Pero paralelamente a los progresos de la electrotécnica, las redes telefónicas mejoraron.

Al principio los cuadros conmutadores eran manuales pero pronto se comenzó a pensar en las centrales telefónicas automáticas. La primera central automática se puso en servicio a finales del siglo XIX en Princeton, E.U. La primera central grande que se automatizó en Suecia fue Norra Vasa en Estocolmo en 1924. Esto marcó el principio de un proceso de automatización que duró hasta 1972.

En 1965 se dio a algunos abonados de Suecia la posibilidad de marcar directamente a varios lugares del extranjero, con esto se inició una nueva fase en la telefonía internacional. El rápido desarrollo de la electrotécnica ha hecho posible establecer a costo razonable, una multitud de enlaces de telecomunicaciones entre casi todas las ciudades del mundo. El desarrollo en el terreno de la transmisión ha contribuido a mejorar la calidad del sonido y la seguridad de servicio. Actualmente no se nota ninguna diferencia en la audición entre una conversación local y por ejemplo una desde E.U.

Pero no solamente la telefonía es la que nos permite facilitar comunicarnos unos con otros por largas distancias. La telegrafía, el télex, la transmisión de datos, el radio teléfono están a nuestra disposición.

La función de la telefonía es hacer audible el sonido y ante todo la palabra hablada por largas distancias. Hace siglos se intentó aprovechar diferentes tipos de válvulas sonoras. En 1667 Robert Hook,

describe cómo un hilo muy tenso podía transmitir sonido por distancias bastante largas, una membrana en cada extremo capta y reproduce las ondas sonoras. El progreso del electromagnetismo durante el siglo XIX asienta la base para el uso práctico de la telefonía. Dentro de la técnica telefónica prosigue todavía un dinámico desarrollo, pero las enormes sumas invertidas en las redes de telecomunicaciones existentes, hacen que este desarrollo tenga que tomar en consideración el aprovechamiento racional de los equipos en uso.

## I.2 Perspectivas a Mediano Plazo

México, como todas las naciones del mundo depende vitalmente de la energía eléctrica y de las telecomunicaciones, el crecimiento del país exige además un aumento continuo en la generación y transmisión de electricidad y de una expansión constante de la red de comunicaciones.

En el año 2000, de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo Industrial, se requerirá la generación de 500 TW ( Terawatts ), de energía eléctrica para satisfacer la demanda ( fig. 1.1. ), lo que implica la necesidad de aumentar considerablemente la capacidad generadora. Afortunadamente, contamos con abundantes recursos naturales aprovechables con este fin tales como: ríos, zonas geotérmicas, hidrocarburos, carbón, sol, viento, etc., además de las plantas núcleo eléctricas, de las cuales la de Laguna Verde, Ver., es el primer paso. En la fig. 1.2 vemos los datos actuales de capacidad de generación en base al tipo de tecnología.

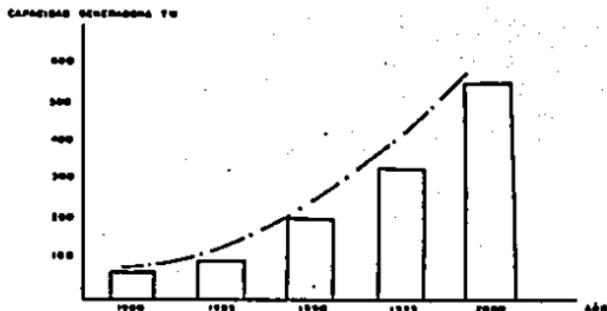


FIG. 1.1 PROMOSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA

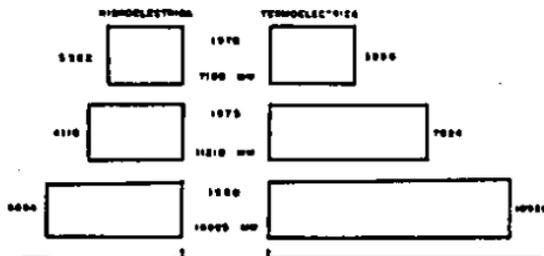


FIG. 1.2 CAPACIDAD INSTALADA EN OPERACION SEGUN TIPO DE GENERACION (1970-1980)

**TABLA 1**  
**PRINCIPALES PARAMETROS DEL SISTEMA TELEFONICO LOCAL**

<b>AÑO</b>	<b>LÍNEAS (MILLONES)</b>	<b>TELÉFONOS (MILLONES)</b>	<b>DENSIDAD (MILLONES)</b>	<b>X LÍNEAS</b>
1950	0.14	0.18	0.71	67.0
1955	0.24	0.34	1.16	72.5
1960	0.32	0.50	1.43	79.4
1965	0.46	0.79	1.92	84.3
1970	0.82	1.46	3.03	91.5
1975	1.59	2.83	5.00	97.1
1980	2.80	4.98	6.98	98.7
1985	4.63	8.24	9.76	99.0
1990	7.26	12.92	12.96	99.2
1995	10.84	19.30	16.24	99.4
2000	14.21	25.29	18.72	99.5

Por otro lado y particularmente desde el punto de vista telefónico, se puede observar en la tabla I el enorme aumento en todos los parámetros del sistema telefónico que se pronostican para satisfacer la demanda en ese mismo año. Esto implica aumentar el número de teléfonos instalados de poco más de 8 millones en la actualidad a 25 millones en el año 2000. En lo que respecta a larga distancia, la tabla II muestra la expansión predicha en ese lapso para los parámetros principales.

TABLA II  
PRINCIPALES PARÁMETROS DEL SISTEMA L.D.

AÑO	POBLACIONES CON SERVICIO	HABITANTES CON SERVICIO(%)	CONFERENCIAS L.D. (millones)	CIRCUITOS L.D. (miles)	IN-CO. (MILL.)
1950	410	70	7	0.9	0.2
1955	466	73	10	1.2	0.3
1960	577	76	16	2.3	0.7
1965	842	79	30	3.5	1.4
1970	1500	82	68	9.6	3.3
1975	2995	85	180	22.5	8.7
1980	3600	88	361	45.7	19.6
1985	4500	91	629	79.4	36.1
1990	5500	96	1018	128.1	62.1
1995	6500	98	1550	194.4	99.1
2000	8000	100	2043	255.6	136.8

Para poder cumplir con este compromiso, Teléfonos de México, tendrá que aumentar enormemente su capacidad instaladora y de operación y más importante aún, deberá enfrentar a la revolución tecnológica que se está gestando a nivel mundial, adaptándola a los requerimientos y características de nuestro país.

En este último aspecto ya se han dado los primeros pasos para la adopción de las nuevas tecnologías, haciendo hincapié en el sismo de septiembre del '85, como ya es sabido en las mayores catástrofes se registran los mayores avances tecnológicos, así fue que con este sismo, Teléfonos de México, tuvo que instalar equipos con la nueva tecnología digital tanto S-12 ( Indetel ) como AXE ( Ericsson ), de telefonía digital ( multiplex, centrales y radios ).

También podemos hablar de equipo ya instalado y funcionando tales como: El sistema Tláhuac de telefonía digital con tecnología francesa E-10, la creciente expansión de la red PCM en las diferentes ciudades importantes; la instalación de las centrales digitales antes mencionadas que en el capítulo 5 hablamos de una de ellas específicamente el S-12.

### I.3 Sistemas Analógicos Vs. Sistemas Digitales

Como hemos mencionado anteriormente, el desarrollo de la electrónica ha sido notable en los últimos años, propiciado principalmente por los sistemas de computación, que han hecho que se fije la atención en los circuitos y sistemas digitales. Un sistema digital

es aquel que se basa en un número limitado ( discreto ) de valores, a diferencia de los sistemas analógicos tradicionales, en los cuales este número es teóricamente infinito.

El ramo de las telecomunicaciones no podría haber permanecido ajeno a estas novedades, por lo que se han desarrollado equipos de multiplex y radio digitales recientemente, aunque paradójicamente, los principios básicos ya se han establecido desde hacia algún tiempo, como se verá a continuación.

Uno de los medios de comunicación digital más antiguo es el telégrafo eléctrico, desarrollado en 1837 por Samuel Morse, el cual se basa en dos tipos de señales ( raya y puntos ), los cuales se codifican para formar las palabras ( Código Morse ). Por muchos años, el telégrafo fue el medio de comunicación más eficiente, cruzando por línea física los continentes y por cable submarino los océanos. En 1903, el presidente norteamericano Theodore Roosevelt, lanzó el primer mensaje alrededor del mundo, el cual tardó nueve minutos en retornar a Washington. Simultáneamente a estos avances, el inventor italiano Guillermo Marconi, buscaba la manera de transmitir señales telegráficas sin hilos. En 1896 logró transmitir las primeras palabras en clave Morse a través del espacio entre dos antenas separadas por un Kilómetro. Después de este triunfo realizó otros experimentos y en 1898 efectuó a través del Canal de la Mancha la primera transmisión internacional, después de lo cual todas las naciones empezaron a adoptar la radiotelegrafía.

TABLA III SISTEMAS ANALOGICOS VS. DIGITALES

PARAMETRO	ANALOGICO	DIGITAL
POTENCIA DE TRANSMISION	ALTA (DEL ORDEN DE WATTS)	BAJA (DEL ORDEN DE mW)
ANCHO DE BANDA REQUERIDO.	LIMITADO	AMPLIO
COMPORTAMIENTO DEL RUIDO	ADITIVO Y DEPENDIENTE DE LA DISTANCIA. ALTAMENTE VULNERABLE A INTERFERENCIAS.	INDEPENDIENTE DE LA LONGITUD DE SISTEMA. RELATIVAMENTE INSENSIBLE A INTERFERENCIAS.
UTILIZACION BANDAS RADIO	RESTRINGIDA, YA QUE SE DEBE TRANSMITIR POR CANALES ALTERNOS.	AMPLIA, YA QUE SE PUEDE TRANSMITIR POR CANALES ADYACENTES.
CALIDAD DE VOZ	DEPENDIENTE DE CADA CANAL. RANGO DINAMICO LIMITADO POR LA DISTORSION DEL AMPLIFICADOR RUIDO VARIABLE CON LA INTERMODULACION.	IDENTICA PARA TODOS LOS CANALES RANGO DINAMICO DEPENDIENTE DEL CODIGO Y DE LA COMPRESION. RUIDO DE CUANTIFICACION, FLUCTUACION DE FASE, ETC.
MANTENIMIENTO	EL REEMPLAZO DE PARTES REQUIERE AJUSTE.	EL REEMPLAZO DE PARTES NO REQUIERE AJUSTE.

Durante varios años el radio tuvo carácter digital, pero el desarrollo de las válvulas electrónicas a principios de los 20's, permitió transmitir la voz humana por el radio, con lo que el radio digital cayo en desuso.

Por lo que respecta al multiplex digital, en 1937 el investigador A. H. Reeves, trabajando en el laboratorio parisino de la ITT desarrolló la idea de la Modulación por pulsos codificados ( MIC o PCM ) siendo ésta patentada al año siguiente; sin embargo no pudo desarrollarse prácticamente en esa época, debido a que no existían los elementos adecuados, por lo que los primeros sistemas PCM no fueron realidad sino hasta los principios de los 60's.

Los sistemas de radio digital actuales, son mucho más sofisticados que sus antepasados, ya que ahora se usan para transmitir señales de voz y de datos en amplios anchos de banda. Sin embargo, el radio analógico en la actualidad puede transmitir aproximadamente cuatro veces más canales por sistema que los digitales, por lo que se prefieren los radios analógicos para las rutas principales de microondas, las cuales normalmente requieren equipos de gran capacidad y con trayectos de gran longitud. A pesar de esto, los radios digitales han demostrado ser más económicos para las rutas cortas de mediana o baja capacidad (fig. 1.3) por lo que se pronostica que pronto la mayoría de los radioenlaces con estas características en el mundo serán digitales.

En la tabla IV se compara el desempeño de ambos

tipos de comunicaciones para los parámetros más importantes de transmisión.

#### I.4 Telefonía Digital

En los últimos años se ha acrecentado el interés, que las administraciones telefónicas han puesto en los llamados sistemas digitales y consecuentemente los fabricantes de equipos de telecomunicación han adoptado mejorado y desarrollado nuevos equipos que satisfagan esta creciente demanda.

Esto nos ha llevado a que el ya especializado Argot Telefónico, se haya visto invadido de terminologías totalmente nuevas y que cada fabricante utilice éstas para hablar de las ventajas y aplicaciones de sus nuevos sistemas; algunos mencionan dispositivos electrónicos, otros incluso hablan de microprocesadores y control por programas almacenado y hay quienes mencionan términos PCM, LSI y muchas abreviaciones más que rivalizan en complejidad.

En esta sección explicamos conceptos como muestreo cuantificación, modificación, PCM, etc. que son la base de la telefonía digital y también se justifica el porqué ha recibido este nombre.

Los términos, analógica y digital son calificativos que se le pueden aplicar a una información o una señal electrónica dependiendo de los valores que ésta pueda tomar; así el término digital proviene de la palabra dígito, lo que a su vez significa número, ésto

es, cuando una información solo puede expresarse mediante un grupo fijo de cifras, o sea de números, esta información puede considerarse como digital. Las señales usadas aquí, es decir señales digitales, son discontinuas en el tiempo y están restringidas a un conjunto de valores discretos permitidos. Muy a menudo este conjunto de valores está limitado a dos, uno y cero, a diferencia de una señal analógica, para la cual es permitido cualquier valor dentro de ciertos límites. Una típica señal analógica es la señal proveniente del micrófono de un aparato telefónico normal.

La tecnología digital ha sido usada durante mucho tiempo en el campo de las telecomunicaciones. El primer telégrafo eléctrico conocido fue propuesto ya para mediados del siglo XVIII. Los mensajes enviados por telégrafo son todos digitales, codificados en diferentes códigos, por ejemplo, el código Morse. Las señales digitales también han sido usadas en la telefonía, pero sólo para la señalización; un ejemplo típico es la secuencia de pulsos de discado proveniente del aparato del abonado cuando se disca un número.

Lo que es nuevo, es sin embargo el uso de señales digitales para la transmisión de conversación en la red telefónica. Este es un desarrollo que inició a comienzos de la década de 1960 con la introducción de los sistemas de transmisión con modulación por pulsos codificados ( PCM = MIC ) en la red troncal urbana, ésta es a la vez una de las razones para la introducción de la conmutación digital.

### 1.4.1 La Transmisión Digital

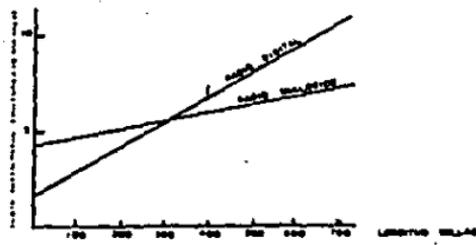
A fines de la década de 1930 un grupo de investigación en París estaba tratando de hallar métodos de modulación adecuados para los radioenlaces de microondas, una característica de esta clase de transmisión son los graves problemas de ruido y distorsión; mientras que la cantidad de ancho de banda disponible es grande, dando como resultado la modulación por pulsos codificados ( PCM ) por Alec Reeves en 1937.

Tecnológicamente, era entonces demasiado temprano para usar la PCM en la práctica, sin embargo la invención del transistor cambió la situación y ha sido puesta en servicio una cantidad creciente de sistemas PCM en la red telefónica desde el comienzo de la década de 1960.

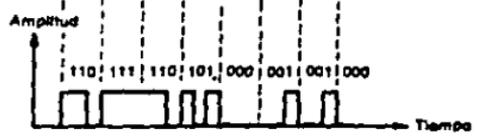
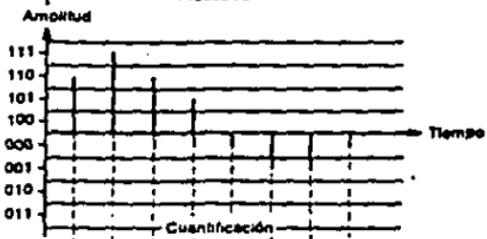
La PCM puede describirse como un método para transferir la información analógica a la forma digital: El muestreo, la cuantificación y la codificación ( fig. 1.4 ).

De acuerdo a la teoría de la información, la transmisión de la información de una señal, no necesita la transmisión de la señal entera; es suficiente transmitir muestras tomadas a, por lo menos, el doble de la frecuencia más alta de la señal, esto se denomina el Teorema del Muestreo.

Las muestras tomadas de una señal de frecuencia vocal ( VF ) tienen una gama continua de amplitudes



1.1.3 COSTO COMPARATIVO RADIO ANALOGICO E DIGITAL VS. LONGITUD DE LA RUTA.



Codificación

Fig. 1-4 Modulación por impulsos codificados

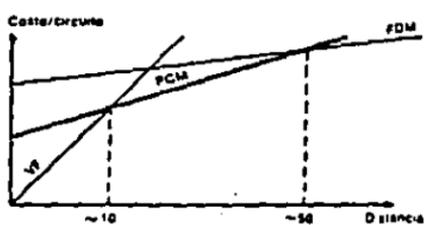


FIG. 1.5 Costo vs. distancia para la transmisión con V, PCM y FDM

en una cantidad limitada de intervalos. A todas las muestras cuyas amplitudes caen dentro de un cierto intervalo se les asigna el mismo valor, este principio se conoce como cuantificación. Como distorsiona la señal, introduce una distorsión, denominada Distorsión de Cuantificación.

Finalmente, las muestras cuantificadas se codifican en un código adecuado, en la fig. 1.4 se usa un código binario normal, la señal puede ahora transmitirse como un tren de pulsos binarios.

Usando el principio PCM, se arman los sistemas de transmisión del mismo, consistentes en un transmisor, una línea de transmisión y un receptor, la línea de transmisión se equipa en repetidores regenerativos espaciados uniformemente, que regeneran los bits entrantes y transmiten una corriente de bits frescos.

El CCITT ha recomendado dos diferentes sistemas de transmisión con PCM de primer orden, uno sugerido por la CEPT y otro por la AT & T. El sistema PCM de la CEPT contiene 32 intervalos de ticapo; 30 intervalos de tiempo para los canales, un intervalo de tiempo para señalización y uno para la sincronización del enlace.

En analogía con los sistemas multiplex por división de frecuencias ( FDM ), se forma una jerarquía multiplex cuando se junta una cantidad de multiplex PCM de primer orden, formándose un multiplex de segundo orden y así sucesivamente.

### VENTAJAS PARA LA TRANSMISION CON PCM

- Calidad de Transmisión casi Independiente de la Distancia. Una característica de la señal digital es su inmunidad a la interferencia. Las señales digitales pueden regenerarse en puntos intermedios a lo largo de una línea de transmisión sin pérdida de calidad.

- Multiplex por División de Tiempo. El principio del TDM permite un aumento de capacidad en los pares de cables originalmente usados para los canales telefónicos simples, puede ser factible introducir la transmisión con PCM en estos pares en lugar de tender nuevos cables.

- Economía Para Ciertos Enlaces. En ciertas aplicaciones, especialmente en la red troncal urbana, la transmisión con PCM ha demostrado por sí misma ser competitiva con cualquier otro método de transmisión, la longitud de los enlaces de transmisión deberá estar en la región intermedia, donde los enlaces normales de frecuencia vocal ( VF ) tienden a ser demasiado largos y los enlaces FDM, demasiado cortos. Ver ( fig. 1.5 ).

Este intervalo de distancia óptima depende mucho de factores locales, tales como la densidad de abonados, la topografía del país, etc. Sin embargo las cifras del gráfico pueden tomarse como típicas para el sistema multiplex PCM de primer orden.

- Economía en Combinación con la Conmutación Digital. Una alta proporción del costo de los sistemas PCM, yace en el equipo terminal. La introducción de la conmutación digital reducirá sustancialmente este costo, porque la conmutación se efectúa directamente sobre la corriente de bits digitales y no es necesaria la costosa conversión analógica / digital.

- Tecnología de IC. Los desarrollos en la tecnología de los circuitos integrados parecen apuntar a niveles de costo favorables y un alto grado de confiabilidad.

- Integración de Servicios. Como medio digital, un enlace con PCM puede transmitir no solo conversación sino también datos, télex, información visual codificada, etc.; un canal con PCM tiene una capacidad de 64000 bits / seg, lo que lo hace un poderoso canal de datos.

- Nuevos Medios de Transmisión. Los futuros medios de banda amplia, tales como las guías de ondas y las fibras óptimas son más adecuadas para la transmisión digital que para la analógica.

#### 1.4.2 La Conmutación Digital

La parte de transmisión de la red telefónica ha usado tecnologías de división de frecuencia, división de tiempo y división de espacio durante mucho tiempo, mientras que la parte de conmutación ha sido confinada a la división de espacio, utilizando componentes

electromecánicos.

Desde mediados de la década de 1960 se ha desarrollado una importante alternativa para esta técnica: la conmutación digital con división de tiempo que utiliza componentes electrónicos. En la práctica el interés principal en la conmutación digital ha estado confinado a la parte de distribución de la central, el selector de un grupo, mientras que la parte de concentración, la etapa del abonado, hasta ahora ha sido menos afectada. Esto es parcialmente un resultado de la introducción de los sistemas de transmisión con PCM en la red troncal urbana, que tiene un efecto más directo sobre el selector de grupo y parcialmente a causa de los problemas para encontrar una solución factible para la etapa del abonado. Aquí los problemas son la conversión analógica / digital individual para la línea del abonado, la alimentación de potencia y los principios de llamada de C.A. para el equipo de abonado existente etc. Esto no significa sin embargo, que no haya alternativas para la conmutación electromecánica con división de espacio en la etapa del abonado.

Parcialmente como resultado de la digitalización de la transmisión y de la conmutación del selector de grupo, hay una tendencia hacia la introducción de etapas de abonado remotas, subordinadas a los selectores de grupo digitales. Para estas unidades, a menudo denominadas concentradores, se están estudiando varias alternativas para los componentes electromecánicos, éstas comprenden componentes, electrónicos, analógicos y digitales que trabajan en multiplex por división

de tiempo o de espacio.

Aunque la conmutación digital es sólo una de varias posibilidades para los concentradores, tanto éstos como los selectores de grupo digitales ( DGS ) serán tratados detalladamente en el capítulo 5, que habla de un sistema específico que es el sistema 1240 de indetel.

## CAPITULO II

### SISTEMAS DE MULTIPLEX PCM

#### II.1 PCM DE PRIMER ORDEN

##### II.1.1 Principal

La técnica de modulación por código de pulsos ( PCM ) es una combinación de modulación de pulsos y transmisión multiplex por división en el tiempo, la cual permite, al igual que el multiplex por división de frecuencia ( MDF ) el aprovechamiento múltiple de un circuito de transmisión con varios canales telefónicos, para transmisión de datos, telex, etc.

Su principio fundamental se compone de tres partes principales, las cuales son: terminal transmisora, repetidores regenerativos y terminal receptora. ( fig. 2.1 ).

Si se aplica una onda  $x(t)$  en la terminal de transmisión y se muestra en un intervalo para dar onda de muestra  $X_s(t)$ , el proceso llevado a cabo se llama muestreo. Los valores muestreados luego se redondean al valor discreto predeterminado más cercano, lo cual se denomina cuantificación y los valores discretos niveles cuánticos; la onda muestreada y cuantificada  $X_{sq}(t)$  es discreta tanto en tiempo como en amplitud.

Si hay un número finito de niveles cuánticos (  $q$  ), cada nivel puede representarse por un código

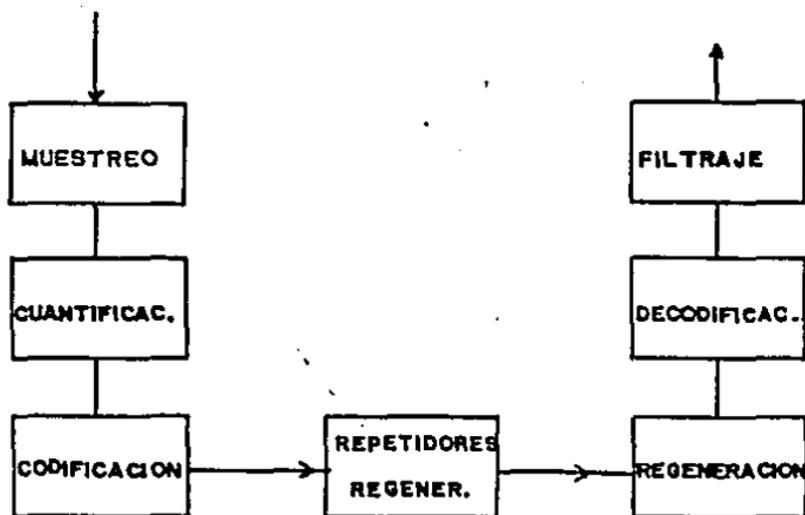


Fig 2.1 PARTES FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA PCM

digital de longitud determinada, al cual luego se le asigna un número binario y se codifica. El codificador convierte las muestras cuantificadas a grupos apropiados de código, uno para cada muestra y genera un tren de pulsos digitales correspondientes, formando la señal PCM de banda base. En la práctica se añade un compresor para disminuir la relación señal a ruido cuando el nivel de la señal de entrada  $x(t)$  es pequeño.

Para la multiplexión, cada mensaje se muestrea en un tiempo diferente y todos los valores se combinan para dar valores de muestra multiplexados. Alternativamente, la salida del multiplexor, es una onda PAM (Modulación por Amplitud de Pulsos), que contiene a las muestras entrelazadas periódicamente en el tiempo. Si hay  $(N)$  muestras, el espaciamiento entre pulsos será  $T/N$ , mientras que el espaciamiento entre muestras del mismo canal será  $T$ .

Cuando la señal PCM se envía a la ruta de transmisión, se convierte a una forma adecuada (código de línea). La señal se distorsiona al pasar por la línea, debido a la influencia de las características de transmisión de ésta y el ruido, por lo que se colocan repetidores regenerativos que producen una onda fresca e idéntica y la mandan más adelante.

En la terminal receptora se invierte el proceso efectuado a la transmisión, la onda PCM se decodifica para dar una onda comprimida PAM, correspondiente a la aplicada al codificador, ésta pasa por un expansor, que elimina la compresión y luego a un filtro de re-

construcción que da la onda continua similar a la original. La señal de cada canal, se manda al correspondiente por medio de un circuito de compuertas, el cual debe estar perfectamente sincronizado con el muestreador.

Por todo lo anterior, los sistemas PCM poseen considerables ventajas sobre los analógicos, tales como alta resistencia al ruido y a la diafonía y el uso de repetidores regenerativos para evitar la acumulación de distorsión.

## 11.2 Muestreo

Entendemos por muestreo al proceso efectuado para representar una señal continua limitada en banda, por una secuencia de muestras de la misma, sin que se pierda la información.

Esto se basa en el teorema del muestreo de Shannon, el cual dice: Si una función  $f(x)$  no contiene frecuencias mayores a  $W$  Hz., ésta es determinada completamente por valores de muestras instantáneas o de duración finita, uniformemente espaciada en tiempo con un período:

$$T = \frac{1}{2W} \dots\dots\dots 2.1$$

Esto quiere decir, que la mínima frecuencia de muestreo que puede ser transmitida en un sistema de pulsos es el doble de la frecuencia de repetición del pulso ó, debe haber al menos dos pulsos por cada ciclo de la frecuencia de muestreo.

Este proceso se realiza por medio de la llamada multiplicación de frecuencias, esto es, multiplicando la señal analógica con una serie de impulsos en forma constante, como se ilustra en la ( fig. 2.2 ).

En la realidad, prácticamente los canales telefónicos tienen un ancho de banda que va desde 300 a 3400 Hz; ésto es de acuerdo a las normas del CCITT ( Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía ), para tal efecto se utiliza un filtro pasa bajos antes de ser muestreada para atenuar las señales que se encuentran fuera de la banda que recomienda el CCITT.

Puesto que en telefonía la frecuencia de voz más alta es 3400 Hz. aplicando el teorema del muestreo, la frecuencia de muestreo será:

$$F_m \geq 2 \times 3400 \text{ Hz} = 6800 \text{ Hz}$$

Aunque se ha estandarizado a 8000 Hz. comprobándose prácticamente que con esta frecuencia de muestreo se conserva íntegra la frecuencia de voz. Por lo tanto, el tiempo de muestreo será:

$$T_m = \frac{1}{F_m} = \frac{1}{8000 \text{ Hz}} = 125 \text{ } \mu\text{seg.}$$

Como puede observarse en la ( fig. 2.2 ), entre cada muestra tomada queda un espacio bastante grande, el cual puede ser utilizado intercalando otra señal muestreada y es precisamente en ésto en lo que se basa la multicanalización de los sistemas PCM, ya que en este intervalo se puede intercalar muestras de otras

señales sin que exista ninguna interferencia entre ellas.

Esto obviamente deberá realizarse con una buena conmutación y sincronía.

### II.3 Cuantificación

No obstante que una onda de modulación por amplitud de pulsos ( PAM ) obtenida por muestreo puede ser usada en sistemas de comunicación, sin embargo, es inadecuada para transmisión de larga distancia, debido a la dificultad de regeneración de pulsos con suficiente exactitud, lo cual es importante, ya que los pulsos PAM contienen la información.

Al proceso de aproximar los valores de muestras al valor discreto predominante más cercano, se le llama cuantificación ( fig. 2.3 ).

Aunque la cuantificación se realiza generalmente al mismo tiempo que la codificación, es conveniente extraer la función de cuantificación para considerar el ruido concerniente a esta función.

A cada valor de amplitud le corresponde un valor discreto, los valores contenidos dentro de la escala, son llamados niveles cuánticos y se localizan dentro de dos límites, uno superior y otro inferior.

La aproximación de la amplitud de cada muestra a un nivel cuántico, produce una diferencia de valores,

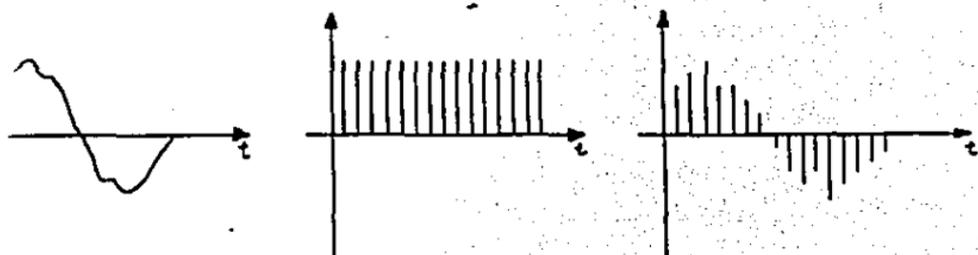


Fig 2.2 MULTIPLICACION DE FRECUENCIAS

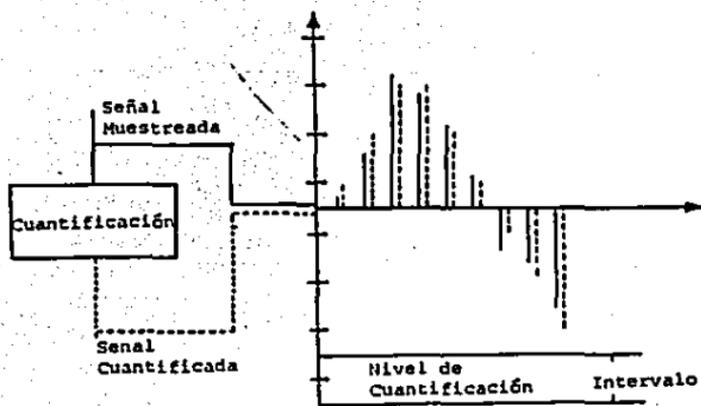


Fig 2.3 CUANTIFICACION

a la cual se le llama, error por cuantificación, produciendo ruido en el sistema.

Para su análisis diremos que el ruido de cuantificación será explicado, suponiendo que para un escalón cuántico de magnitud  $E_o$ , corresponde un escalón en el cual se realiza una cuantificación. Asumiendo que el escalón de entrada está en 0 por  $E_o$ , el escalón de salida correspondiente está en  $1/2 E_o$ , como se muestra en la ( fig. 2.4 ).

De esta figura, el ruido de cuantificación de  $\underline{E_o}$  a  $\underline{E_o}$  en forma uniforme, el cual es menor que  $1/2$  del voltaje del escalón de cuantificación; a la expresión  $E ( v^2 )$  se le conoce como ruido cuantificado,  $N_q$ , por lo tanto tenemos:

$$N_q = E ( v^2 ) = \int_{-E_o/2}^{E_o/2} \frac{v^2}{E_o} dv = \frac{E_o^3}{12}$$

Si todo el rango del nivel de señal se encuentra limitado dentro de un rango de voltaje de  $+v$  a  $-v$ , el número de niveles cuánticos  $q$  será:

$$q = \frac{2v}{E_o}$$

Y si el valor principal de la señal está dado por  $S = \frac{v^2}{T}$ , de esta manera, la relación de la señal a ruido de cuantificación está dado por:

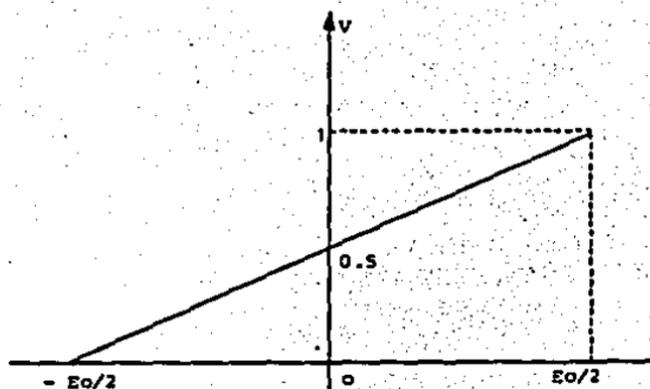
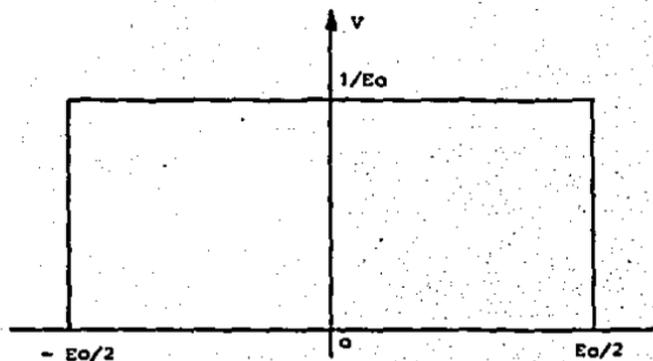


Fig 2.4 FUNCIONES DE DENSIDAD Y DISTRIBUCION DE RUIDO

$$\frac{S}{Nq} = \frac{\frac{v^2}{12}}{\frac{E_0}{q^2}} = \frac{6 v^2}{4 v^2} = \frac{3}{2} q^2$$

$$S/Nq = 3/2 q^2 \dots\dots\dots 2.6$$

A condición de que el nivel de señal se distribuya uniformemente por encima de  $V_a - V$ .

De la ecuación se ve claro que la calidad de transmisión se mejora por  $q$ . En la práctica  $q = 128$  está normalizado para el sistema americano de telefonía, ya que para el sistema europeo se utiliza  $q = 256$ . De esta misma ecuación se observa que:

a) El resultado es independiente de la modulación de la portadora, potencia transmitida ó ruido aleatorio, reflejado el hecho de que se ignoran los errores de codificación.

b) La relación de señal a ruido es constante y fija en el transmisor, por el número de niveles cuánticos.

c) PCM tiene la característica de reducción de ruido de banda ancha en el sentido de que el ruido de cuantificación disminuye cuando  $q$  aumenta, y el ancho de banda depende de  $q$ .

La siguiente ecuación nos relaciona los niveles cuánticos  $q$  y el número de dígitos  $d$  en el grupo de código binario.

$$q = 2^{bc/w}$$

Como hemos dicho anteriormente la aproximación de cada muestra a un nivel cuántico produce una diferencia de valores a la cual se le llama error por cuantificación, produciendo ruido en el sistema. Este error debe limitarse en los sistemas de comunicación y es posible producirse en dos formas:

La primera se deduce la ecuación ( 2.6 ) señal a ruido y es aumentado el número de niveles cuánticos para un rango de amplitud, dado que nos repercute en un aumento considerable del ancho de banda del sistema.

La otra forma es de varios la magnitud de los niveles cuánticos, disponiendo de intervalos más pequeños para la comparación de las señales más débiles. Esto se deduce de un análisis estadístico, por ejemplo, la distribución normal, pero los niveles de voz ordinarios toman una distribución exponencial: Generalmente, la probabilidad de ocurrencia de amplitud muy alta es pequeña para casi todas las ondas de entrada y por eso, es desventajoso dividir el rango entero de cuantificación en anchos iguales.

Contrariamente, el ancho de las etapas correspondientes a los niveles de amplitud baja que ocurren más frecuentemente deberán ser más angostos desde el punto de vista de transmisión de información. A fin de evitar esta dificultad, se introduce un compresor,

que comprime la parte del nivel alto y expande la parte del nivel bajo de la señal de entrada y se cuantifica uniformemente.

Por lo tanto, con respecto a la entrada, el ancho del escalón de cuantificación se convierte en pequeño en los puntos de nivel bajo y grande en los puntos de nivel alto, en la terminal de recepción, se efectúa una operación inversa con el expansor.

Las características de compresión, logarítmicas se muestran en la fig. ( 2.5 ) con respecto a varias relaciones de compresión, la disminución del ruido de cuantificación debido a la compresión puede definirse como la relación del valor cuadrado medio del voltaje de error sin compresión a aquél con compresión y se muestra en la fig. ( 2.6 ) para varias relaciones de la misma.

#### 11.4 Codificación

La codificación es el proceso usado para representar los valores de muestra y para los valores cuantificados. Este proceso es la parte esencial del PCM. Generalmente la señal analógica ó digital de entrada se convierte a pulsos binarios, porque la transmisión de pulsos binarios simplifica el circuito del terminal de recepción e impone requisitos más comprometedores sobre el medio de transmisión con respecto a la relación de señal a ruido, desviaciones de amplitud y fase sobre el ancho de banda de PCM y variaciones de nivel de transmisión.

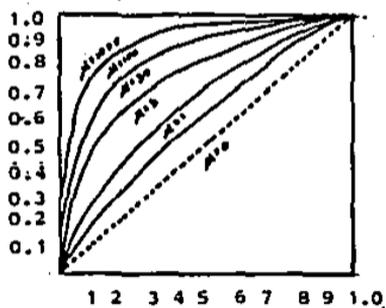


Fig 2.5 CARACTERÍSTICAS DE COMPRESION

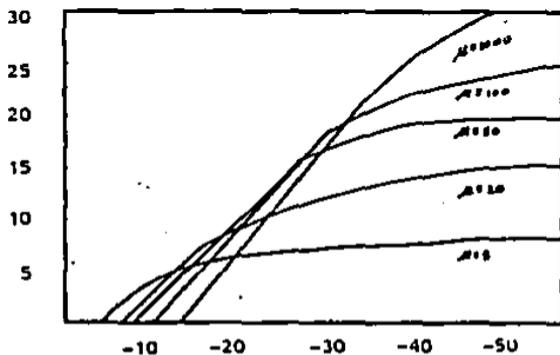


Fig 2.6 DISMINUCION DEL RUIDO DE CUANTIFICACION  
DEBIDO A LA COMPRESION

El propósito de la codificación es representar una señal cuantificada en forma de grupos de dígitos o pulsos binarios de amplitud fija, fig. ( 2.7 ). Cada grupo se conoce como: palabra de código ó carácter. Cada nivel cuántico se representa por un número binario cuyo valor es una potencia de 2, de esta forma, en un código de N bits, el primer bit tiene un valor de  $2^{N-1}$ , teniéndose  $2^N$  niveles, correspondientes a los números binarios desde 0 hasta  $2^N - 1$ . Esto se puede generalizar en la siguiente ecuación:

$$X^i = a_1 \cdot 2^{N-1} + a_2 \cdot 2^{N-2} + \dots + a_N \cdot 2^0$$

Donde:  $X^i$  = Nos indica un nivel cuántico arbitrario.

$$a_i = \begin{cases} 1 & \text{Cuando existe un pulso} \\ 0 & \text{Cuando no existe un pulso} \end{cases}$$

El codificador puede considerarse que es una red que convierte una amplitud  $X^i$  en un juego de coeficientes (  $a_i$  ). Los principios de conversión podrían dividirse en las categorías siguientes:

a) La amplitud de un pulso se compara secuencialmente con cada nivel cuántico hasta que se determine el nivel correspondiente.

b) Cada dígito binario se determina secuencialmente.

c) Todos los dígitos binarios se determinan de

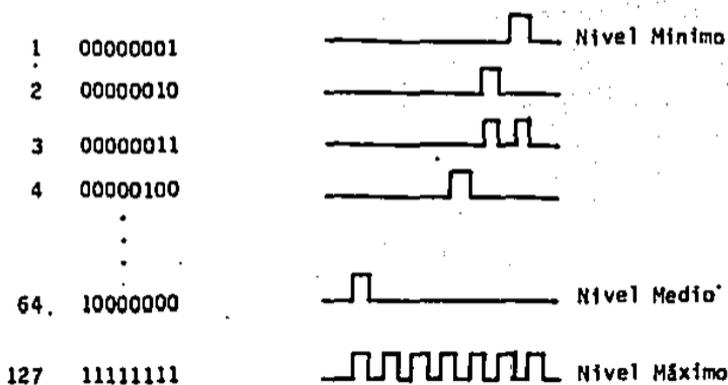


Fig 2.7 CODIFICACION

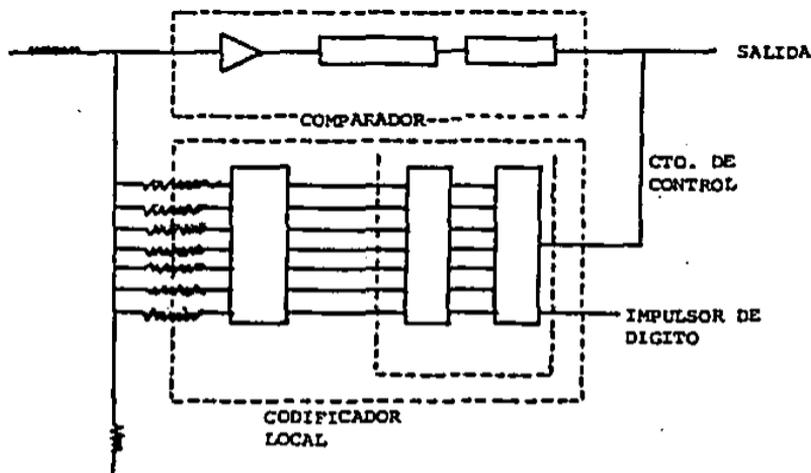


Fig 2.8 CODIFICADOR DE REALIMENTACION

de una vez. ( Codificador de realimentación fig. 2.8 )

d) Una combinación de cualquiera de los tres principios arriba citados.

#### II.4.1 Codificación No - Lineal

Una palabra de código consistente de 8 posiciones permite 256 niveles como  $2^8 = 256$ . En el sistema de 30/32 canales, la escala de cuantificación se divide en 128 niveles positivos y 128 niveles negativos: Una muestra con polaridad positiva está dada por un " 1 ", en la posición del primer bit y una muestra con polaridad negativa está dada por un " 0 ", las siguientes 7 posiciones de bit dan la amplitud de la muestra. Este tipo de codificación es llamado código binario simétrico.

El codificador no - lineal lleva a cabo una compresión de la señal que es una aproximación de una ley de compresión logarítmica. Esta compresión abarca 13 segmentos, la función lineal dentro de cada segmento y la pendiente determina la compresión, cuya magnitud depende de la amplitud entrada.

La muestra se rectifica después de que la polaridad ha sido determinada a continuación durante las siguientes tres posiciones de bits  $D_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  queda determinado el segmento donde se encuentra la señal PAM.

Finalmente, las posiciones de bits  $D_5$ ,  $D_6$ ,  $D_7$ , y  $D_8$  son usadas para determinar una codificación lineal

dentro del segmento, como resultado de este proceso el tamaño de los escalones de cuantificación decrece conforme lo hace la amplitud relativa de las señales y la relación señal a ruido es casi constante dentro de todo el rango dinámico.

Este proceso se lleva a cabo de la forma que se muestra en la fig. ( 2.9 ).

Para la determinación del dígito segundo (  $D_2$  ) muestra la fig. ( 2.10 ) donde:

Rango I

Rango II

Cuando  $|PAM_{ent}| < 128m$ .      Cuando  $|PAM_{ent}| > 128m$ .

$$B_1 = 0$$

$$B_1 = 1$$

En la determinación de los dígitos  $D_3$  y  $D_4$ , dependiendo del rango, queda de la siguiente forma:

Rango I

Rango II

$$PAM_{sal}(S) = PAM_{ent}(mv)$$

$$PAM_{sal}(S) = \frac{112 + PAM_{ent}}{8}$$

$$DI = PAM_{sal}(S)$$

$$DII = \frac{PAM_{ent}}{8}$$

$B_3 \ B_4$

$B_3 \ B_4$

$$1 < DI < 16 \quad 0 \quad 0$$

$$16 < DII < 32 \quad 0 \quad 0$$

$$16 < DI < 32 \quad 0 \quad 1$$

$$32 < DII < 64 \quad 0 \quad 1$$

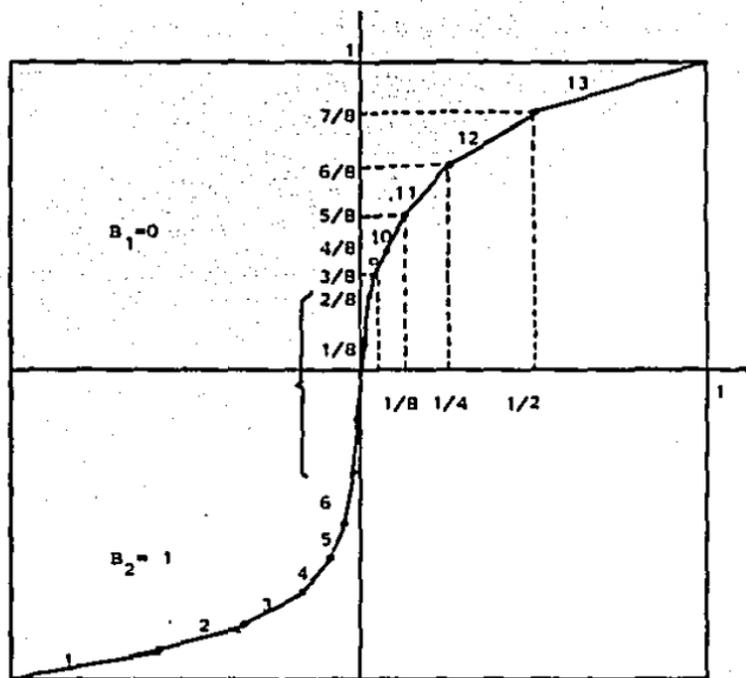


Fig 2.9 CURVA DE CUANTIFICACION

$32 < D_I < 64$  1 0  
 $64 < D_I < 128$  1 1

$64 < D_{II} < 128$  1 0  
 $128 < D_{II}$  1 1

En la decisión de los dígitos  $D_5$ ,  $D_6$ ,  $D_7$  y  $D_8$ , se utiliza la codificación lineal, la diferencia entre el valor real y la fuente de corriente activa es cuantificada por medio de una división continua a la mitad de los valores. El estado de las fuentes de corriente es determinar a través de una sustracción lineal realizada cuatro veces.

Cuando el resultado de la sustracción es positivo la fuente de corriente activa provoca la generación de un bit " 1 " por el contrario, cuando es negativo, el bit resultante es " 0 ".

Como ejemplo, diremos que tenemos una señal de entrada  $PAM_{ent} = 82.4$  mv.

.. La señal es positiva  $B_1 = 1$

Estará en el rango I

$B_1 = 0$

$D_1 = 82.4$

Estará entre 64 s y 128s

..  $B_1 = 1$

$B_4 = 1$

La diferencia es  $82.4s - 64s = 18.4$

..  $18.4 - 32s =$  negativo

$B_5 = 0$

$18.4 - 16s = 2.4$

$B_6 = 1$

$2.4 - 8s =$  negativo

$B_7 = 0$

$2.4 - 4s =$  negativo

$B_8 = 0$

De esta manera la palabra PCM es: 10110100

Existen en la actualidad dos tipos de leyes para la codificación y son:

a) Para el sistema europeo de 30 canales con velocidad de datos 2048 M bits / seg. La ley A, (  $A = 87.6$  ) según recomendaciones del CCITT.

b) Para el sistema americano de 24 canales con velocidad de datos de 1.544 M bits / seg. La ley M, (  $M = 255$  ) según recomendaciones del CCITT.

### II.5 Multiplex por División de Tiempo ( MDT )

En un sistema PCM y de pulsos, la multiplexación de varias señales se logra muestreando las señales individuales en diferentes tiempos y tomando un espacio de tiempo definido para la transmisión de cada muestra en el canal común de diferentes tiempos. Se conoce como: multiplex por división de tiempo ( MDT ), a este método.

Como se observa en la fig. 2.12 las señales de entrada al sistema, todas limitadas en bandas por filtros pasa-bajos, son secuencialmente muestreados en el transmisor por una llave rotatoria o conmutador. La llave da una vuelta completa en  $T_s - 1/2 W$ , extrayendo una muestra en cada entrada. De aquí, a la salida del conmutador tenemos una onda PAM ( fig. 2.12 ) conteniendo las muestras individuales de los mensajes entrelazados en el tiempo. Si hay M entradas, el espaciamiento entre muestras sucesivas de una misma entrada cualquiera es por supuesto  $T_s$  ( trama ).

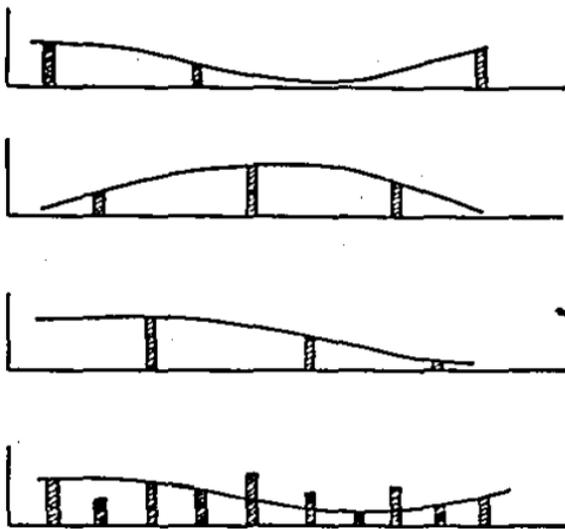


Fig 2.12 MULTIPLEXACION EN EL TIEMPO

En el receptor, una llave rotatoria similar ( distribuidor ), separa las muestras y las distribuye a filtros pasa-bajos, quienes reconstruyen los mensajes originales.

La acción de conmutación es usualmente electrónica y son provistas señales de sincronización para mantener el transmisor enlazado con el receptor.

El principal proceso de multicanalización es como sigue:



Como la frecuencia de muestreo es 8 KHz. una muestra PAM de cada mensaje extraída en un periodo de:

$$T = \frac{1}{8 \text{ KHz}} = 125 \mu\text{seg}$$

Como existen dos sistemas normalizados por el CCITT, las consideraciones siguientes se harán por separado, ya que como se mencionó anteriormente, en el sistema americano se realiza una multicanalización de 24 canales, mientras que en el sistema europeo es de 30 canales, actualmente es el más utilizado.

Para el Sistema Europeo: Los mensajes individuales deberán ser muestreados, de tal manera que exista

un tiempo de  $125 \text{ seg} \div 32 = 3.91 \text{ seg}$  entre cada uno, para poder insertar los pulsos PAM correspondientes a 30 canales de voz, más uno de señalización y uno de sincronía dentro del periodo  $T = 125 \text{ seg}$ .

El intervalo asignado a un dígito binario debe ser menor que  $3.91 \text{ seg} / 8 = 0.49$  ( 2.048 MHz ) para la conversión de los 32 canales en dígitos binarios PCM de 8 bits cada canal.

Para el Sistema Americano: Los mensajes individuales deberán ser muestreados de tal forma que exista un tiempo de  $\frac{125 \mu\text{s}}{24} = 5.21 \text{ seg}$  entre cada uno, para poder insertar los pulsos PAM de 24 canales dentro del periodo  $T = 125 \text{ seg}$ .

El intervalo asignado a un dígito binario debe ser menor que  $5.21 \text{ seg} / 8 = 0.65 \text{ seg}$  ( 1.544 MHz ) para la conversión de 24 canales en dígitos binarios PCM de 8 bits cada uno.

Como se expuso anteriormente, las terminales PCM necesitan generadores de pulsos de control, los cuales regulan y determinan los tiempos respectivos de trabajo de las unidades. Estos pulsos son tres:

1) Un pulso de reloj que corresponde directamente al intervalo de un dígito binario, esta es la base para el control de la operación del codificador y decodificador y se utiliza para la generación de un pulso de canal.

2) Un pulso digital que corresponde a los mensajes individuales, controlando también las operaciones del codificador y decodificador y se utiliza para la generación de un pulso de canal.

3) Un pulso del trama, perteneciente a la frecuencia de muestreo, es usado para la inserción y separación de los mensajes de multicanal.

## II.6 Códigos de Línea

Antes de que las señales PCM sean conectadas a la línea digital, debe convertirse esta información binaria del codificador, a una forma que sea apropiada para las características del medio por el cual van a ser transmitidas las señales.

A continuación se presentan algunos de los factores que tienen que ser considerados respecto al porqué de un código de línea para la transmisión de los pulsos digitales.

- a) El ancho de banda de señal debe mantenerse tan estrecho como sea posible. La energía en la parte alta ( pico ) de espectro, deberá ser poca para evitar distorsión de atenuación causada por una alta pérdida de transmisión de altas frecuencias.
- b) La energía en la parte más baja del espectro, también deberá mantenerse reducida para disminuir la interferencia de circui-

tos de frecuencia vocal en el mismo medio de transmisión.

- c) La señal de código de línea no deberá contener componente de C.D. de tal forma que la señal pase por los transformadores de la línea.
- d) El código de línea debe contener información estable de sincronía, ya que esta frecuencia es extraída del tren de pulsos en los repetidores regeneradores y en el receptor del multiplex.
- e) También, el código de línea debe crearse para que los repetidores regeneradores, puedan ser hechos tan sencillos como sea posible y que operen con la mejor relación señal a ruido.

Por lo anterior se nota la necesidad de un código de línea para su transmisión a través de la línea ya que dicha señal a la salida del codificador es un tren de pulsos unipolares. Esta forma de señal no es apropiada, puesto que todos los pulsos tienen una misma polaridad, siendo ésta una de las principales desventajas de este código unipolar para su transmisión en línea con repetidores, ya que el contenido de corriente directa no puede ser transportada a través de los transformadores de entrada y salida de los repetidores regenerativos.

Para eliminar este problema se ideó un código que contara con pulsos alternos, llamados AMI ( Inversión Alternada de Marcas ) o el HDB-3 que significa alta densidad bipolar ( High Bipolar Density ) y el índice 3 significa un máximo de tres ceros consecutivos. Estos dos códigos serán tratados a continuación:

#### II.6.1 Código AMI

Por medio de la inversión alterna de los pulsos de la señal unipolar PCM recibida del codificador, se elimina la componente de C.D. y la mayor concentración de energía se desplaza hacia la parte alta de espectro. Consecuentemente, el ancho de banda es reducido, este método de cuantificación es llamado AMI ( Inversión Alternada de Marcas ).

El tren de pulsos AMI tiene un ciclo de trabajo de 50% con el fin de simplificar la extracción de sincronía y para reducir la interferencia entre pulsos, nótese que la información binaria se transmite a través de la presencia o ausencia de un pulso y no mediante la polaridad de los pulsos.

Sin embargo, en el código AMI pueden ocurrir largas cadenas de ceros ( ausencia de pulsos ). Es común que el codificador entregue una señal sin pulsos, cuando éste opera con un código binario simétrico. Naturalmente tal señal no contiene componentes de la frecuencia de los pulsos de línea, que es usada por las estaciones repetidoras dependientes para la extracción de sincronía.

Este código en sí, aplica la inversión de marcas alternas, al tren de pulsos unipolares que salen del codificador. Por lo tanto, este código consiste en que cada pulso está representado con un punto de polaridad opuesto al que le precede esto sin tomarse en cuenta el número de ceros ( espacios ) que lo precede.

### II.6.2 Código HDB-3

Para mejorar la información de sincronía en la señal PCM, es posible pasar la señal de salida del lado transmisor, a través de un control de restricción de ceros, ésto se logra con el código HDB-3 que significa alta densidad bipolar y el índice 3 significa un máximo número de espacios consecutivos permitidos de tres.

Este código sigue la misma regla: Todos los bloques que contengan cuatro ceros sucesivos precedidos de un " 1 ", son convertidos de tal forma que se inserta un pulso en la posición de 4 de estos bloques. Este pulso es llamado Pulso de Violación ( Pulso V ) y tiene la misma polaridad que el pulso que le precede en código, el primer cero siguiente se convierte en una marca B ( espacio vacío ), ésto para obtener la polaridad alterna.

Si se tiene una larga cadena de ceros, este código dará como resultado grupos de BOOV, en los cuales B y V de cada grupo poseen una polaridad que en los subsecuentes, la polaridad es alterna. El objeto principal es,

por supuesto, mantener el valor de C.D. en cero. En el extremo opuesto, los ceros originales tendrán que ser recobrados ( Proceso de Codificación ).

### 11.7 Transmisión

Para los sistemas PCM de 30 canales, que son en la actualidad los más usados, se estructura para su transmisión a parte de sus 30 canales, 2 canales de más que se emplean, uno para la sincronización y transmisión del sistema de alarmas y el otro para la señalización de canal y sincronización de multitrama, como se mencionó anteriormente, las señales se convierten en un código binario de 8 bits.

El flujo de pulsos generados y procesados en las terminales PCM se basan en bits, intervalos de tiempo, trama y multitrama, los cuales se estructuran de la forma mostrada en la fig. ( 2.13 ).

Trama: Una trama es el tiempo que existe entre dos muestras para el mismo canal: después del periodo en que dura una trama, se obtiene información en el mismo canal. Su tiempo de muestreo es:

$$T_{\text{trama}} = \frac{1}{8 \text{ Hz}} = 125$$

Intervalo de Tiempo: Es el tiempo existente para hacer un muestreo en un canal. Su tiempo será:

$$\frac{125 \mu\text{seg}}{32} = 3.91 \mu\text{seg}$$

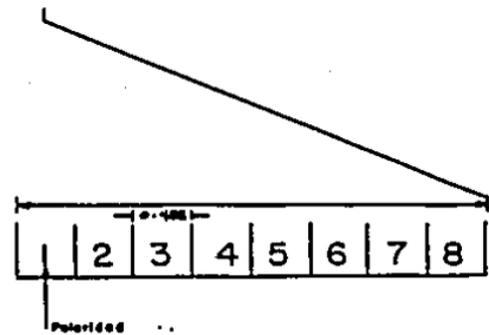
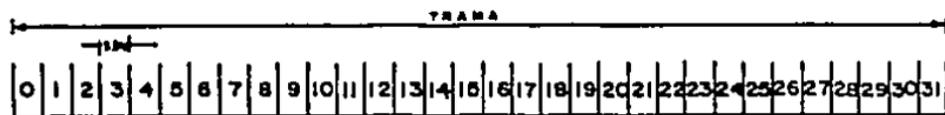
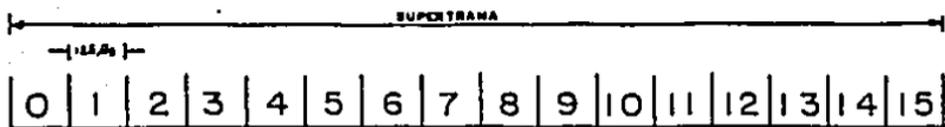


Fig 2.13 ESTRUCTURA DE LA SEÑAL PCM

Por lo tanto tendremos 32 intervalos de tiempo, asignados a los 32 canales del sistema. El canal 0 se emplea para la sincronización y transmisión del sistema de alarmas, y el canal 16 se emplea para la señalización de canal y sincronización del multitrama. Los canales del 1 al 15 y 17 al 31 son usados para la transmisión de información.

Bit: Es el tiempo más pequeño durante el cual se puede transmitir información digital y sólo puede tener dos estados, cero o uno. Y su tiempo será:

$$\frac{3.91 \mu \text{seg}}{8 \text{ bits}} = 0.438 \mu \text{seg}$$

El promedio total de bits en el sistema o ancho de banda o la razón de bits será:

$$\frac{1}{0.488 \mu \text{seg}} = 2.048 \text{ Mbits / seg.}$$

$$8000 \times 32 \times 8 = 2.048 \text{ Mbits / seg}$$

Multitrama: Una multitrama es el tiempo que existe entre dos muestreos para el mismo canal de señalización; después del periodo en que dura una multitrama, se obtiene información en el mismo canal.

$$1 \text{ multitrama} = 16 \text{ tramas}$$

$$\dots 16 \text{ multitramas} \times 125 \mu \text{seg} = 2 \text{ tramas}$$

## II.8 PCM de Segundo Orden

Los sistemas multiplex digitales de segundo orden, son usados para combinar cuatro señales de 2.048 Mbits/seg. llamadas tributarios o afluentes, en un flujo de pulsos de 8.448 Mbits/seg. (sistema de 120 canales), de acuerdo a la jerarquía europea mencionada anteriormente. La señal de segundo orden se puede transmitir directamente por medio de microondas o cable, o puede pasar a un equipo multiplex de tercer orden ( 480 canales ). En el extremo receptor, la señal de orden superior se convierte a las señales afluentes originales.

Cuando las señales de los tributarios están controladas por relojes separados, pero con los mismos límites de tolerancia, se les llama plesiócronicas: cuando éstas están controladas por un reloj común se denominan sincronicas.

La multiplexión de las señales plesiócronicas es más compleja que la de las sincronicas, e involucra un proceso llamado Justificación Positiva, el cual permite que la diferencia de razones digitales de las señales tributarias sea correctamente relacionada a la razón de reloj del equipo multiplex. En la fig. ( 2.14 ), se muestra un diagrama a bloques simplificado de un sistema PCM de segundo orden.

Los cuatro flujos entrantes deberán tener una razón de bits de 2048 Kbits / seg  $\pm$  50 pulsos por minuto, con código de línea HDB-3 y nivel de pulso de 2.37 Volts.

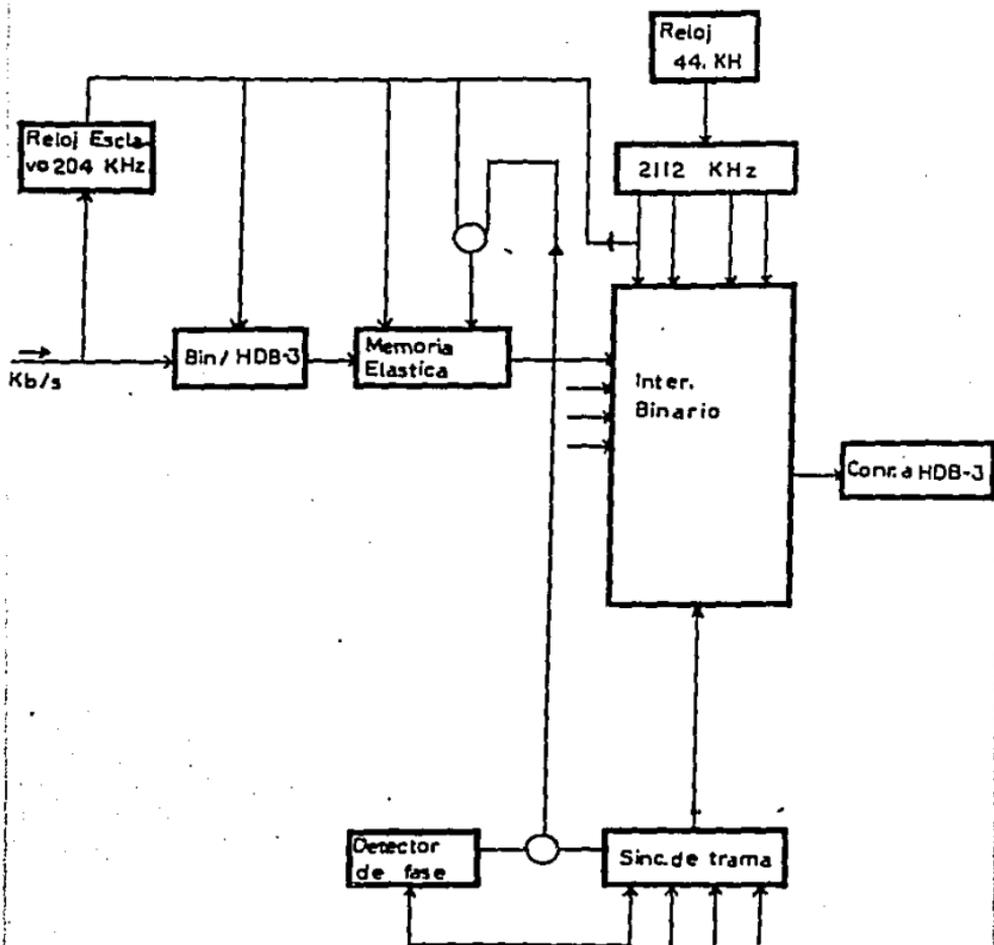


FIG 2.14 PCM DE SEGUNDO ORDEN

Los flujos de bit entrantes llegan a un convertidor de código de segundo orden, donde la señal es descodificada a una señal unipolar y en seguida es escrita (almacenada) en una memoria elástica en su razón digital propia  $t$  ( 2048 Kbits / seg ) y la memoria proporciona a su salida una razón correspondiente a  $T/n$ , donde  $T$  es la razón del equipo multiplex ( 8448 Kbits / seg ) y  $n$  es el número de señales tributarias a multiplexar (  $n = 4$  ).  $T/n$  se selecciona tal que  $T/n < t$  con un margen suficiente para ajustar la diferencia en las razones relativas del multiplex y de los tributarios, además de admitir la adición de la señal de sincronía de trama y dígitos de servicio. Por lo tanto, la razón de la señal de salida de la memoria es de 2112 Kbits / seg, donde 2052 Kbits / seg. están disponibles para información.

La diferencia entre la razón de bits real y la de extracción, es rellenada con bits que no portan información ( bits de justificación o de relleno ) insertados a intervalos fijos. Si la memoria tiene información escrita en el intervalo justificable, entonces informa al sincronizador de trama y los bits de relleno no son usados. En caso contrario, si en el intervalo justificable no hay información del tributario, la memoria informa que han sido usados bits de relleno.

El proceso de justificación descrito se realiza para no perder información de los tributarios ya que éstos provienen de relojes diferentes.

Para informar la presencia de bits de relleno, se

agregan bits de señalización de relleno a razón de 30 Kbits / seg. lo cual conduce a una razón de 2082 Kbits / seg.

La inserción de bits de sincronización y alarma, también a una razón de 30 Kbits / seg. conduce a una razón total de 2111 Kbits / seg.

Un circuito medidor monitorea al relleno de la memoria elástica, controlando la posible inserción de un bit falso en el flujo saliente.

Las señales de salida de los cuatro bloques convertidores primarios son multiplexadas por intercalación de bits, ésto es, las señales participantes se combinan bit por bit. Un ejemplo de este proceso se muestra en la fig. ( 2.15 ).

Durante la multiplexión también son insertados el patrón de sincronía y el de alarma. El tren de pulsos unipolar obtenido, es convertido a código de línea PCM para poder ser transmitido.

La unidad multiplexora contiene además, el oscilador maestro de 8448 Kbits / seg. los circuitos de reloj de 2112 KHz y el generador de patrones de sincronización.

En la recepción, la señal de 8448 Kbits / seg. llega a la unidad multiplexora, después de la regeneración es convertida a señal unipolar y alimentada al detector de sincronía y a la unidad de separación de

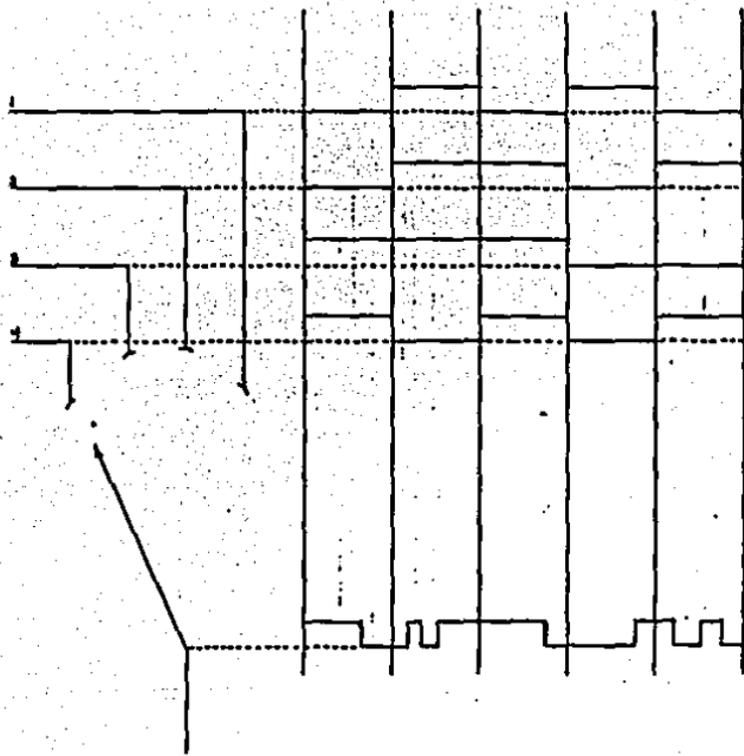


FIG 2.15 INTERCALACION DE BITS

tributarios. Las señales que salen de esta unidad se almacenan en una memoria elástica, en donde solo se permite escribir los bits que portan información de los tributarios. El bloqueo de los bits sobrantes es posible, debido a la señal de reloj de 2112 KHz - ( fig. 2.14 ) que contiene espacios en todas las posiciones en las cuales la señal recibida contiene al patrón de sincronización, la señal de alarma y los bits de justificación.

Además existe un circuito decodificador para el control de justificación, el cual permite también el bloqueo de todos los bits falsos en la entrada de la memoria elástica.

De esta manera, la señal de control que controla el llenado de la escritura de la memoria elástica, tiene que adquirir una razón de repetición de 2112 KHz, pero no contener más de 2048 Kbits / seg. o exactamente la velocidad de bits originalmente presentada en el lado transmisor.

Para leer a la salida de la memoria elástica a una velocidad continua de 2048 Kbits / seg. se tiene que aplicar un oscilador amarrado en fase, el cual es manejado por la señal de control antes mencionada.

Antes de ser entregada a las terminales de salida la señal de 2048 Kbits / seg. es otra vez codificada a KDB-3 .

## II.8.1 Estructura Digital de la Señal

La razón nominal en bits de los tributarios es de 2048 Kbits / seg.  $\pm$  50 pulsos por minuto. Independientemente del valor de entrada, esta razón de bit es llenada a 2052 Kbits / seg. debido a la inserción de bits de justificación.

Para comunicar la presencia de los bits de justificación individuales, son agregados bits de señalización a una razón de 30 Kbits / seg. la cual conduce a la velocidad de 2082 Kbits / seg.

La adición de bits de sincronización y alarmas también a 30 Kbits / seg. da como resultado 2112 Kbits / seg. y la multiplexión de los cuatro tributarios produce la razón de 8448 Kbits / seg., la trama consiste de 848 bits, como muestra la fig. ( 2.16 ).

La longitud de la trama es de 100.378  $\mu$ seg. y su frecuencia de repetición cercana a 10 KHz ( 9.9622 KHz ).

Para cada trama, existen cuatro secciones de 212 bits divididos en:

- Tres espacios de tiempo usados para sincronización y transporte de alarmas después de la multiplexión de los cuatro flujos primarios.

- Tres bits distribuidos para señalización de justificación.

- 206 bits que portan información de los tributa-

rios, en caso de que la razón de bits primarios suministrados sea suficiente, solamente son tomados 205 bits y se inserta un bit falso. Cuando esto se hace los tres bits de señalización de relleno son " 1 ", cuando no se inserta bit de relleno, éstos son " 0 ".

Durante la trama de 100.378  $\mu$  seg na afluyente operando a 2048 Kbits / seg. suministrará 205.5757 bits. Cuando son enviados a la línea 206 bits por una sección o subtrama, ocurrirá una insuficiencia de 0.4242 por trama, por lo que es necesario insertar un bit de relleno cada 2.357 tramas y la frecuencia de repetición del bit falso será aproximadamente de 4 KHz.

Después de la multiplexión de los cuatro flujos primarios ( incluyendo bits de justificación y de señalización de relleno ) por medio de la intercalación de bits la trama contiene 848 bits, como se muestra en la estructura de la fig. ( 2.16 ).

La trama está dividida en 4 subtramas de 212 bits cada una. La subtrama ST1 consiste de un patrón de sincronización de trama F de diez bits ( 1111010000 ), seguido por dos bits A y N. El bit A es usado para la transmisión de alarmas ( alarma = 1; no alarma = 0 ) y el bit N está reservado para otros usos. En seguida hay 50 grupos de 4 bits ( 200 bits intercalados ), procedentes de los tributarios.

Los subtramas ST2, ST3 y ST4, principian con cuatro bits de señalización ( control ) de relleno: C1, C2 y C3, respectivamente ( condición de relleno

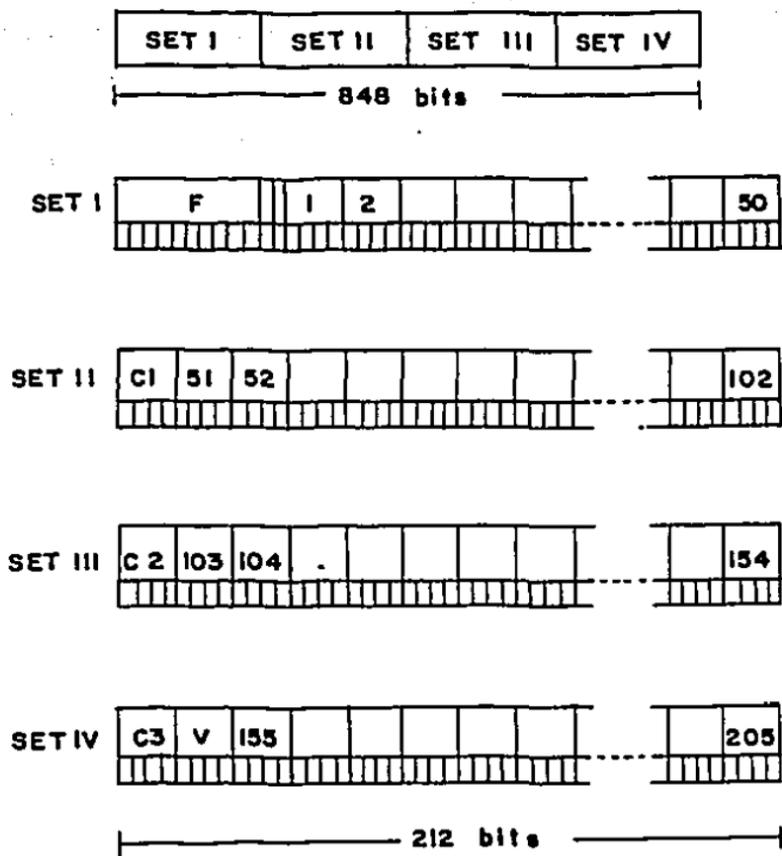


FIG 2.16 ESTRUCTURA DE PCM DE SEGUNDO ORDEN

= ...111; condición de no relleno = ...000 ). Cada conexión primaria suministra una palabra de señalización de relleno de tres bits, precediendo a un posible bit de relleno en ST4. Los tres bits de señalización se distribuye en ST2, ST3 y ST4.

Los subtramas ST2 y ST3 contienen cada una 52 grupos de cuatro bits ( 208 bits ), de los tributarios.

En ST4 los dígitos V se pueden usar tanto para información de los alfuente, como para bits de relleno. Además ST4 contiene 51 grupos de cuatro bits ( 204 bits ) de información de los alfuente.

## CAPITULO III

### SISTEMAS DE RADIO DIGITAL

#### III.1 Principios de Modulación Digital

##### Introducción

Un sistema de modulación digital es aquel en el cual un tren de pulsos binarios conteniendo a la información que será transmitida, modula a una portadora senoidal. Obviamente, la señal obtenida es mucho más sencilla que en los métodos analógicos comunes ( AM, FM, etc ), ya que en éstos la señal está formada por un número infinito de formas de onda y en los digitales es una secuencia de señales escogidas de un conjunto finito y bien especificado.

Al manejar formas de onda, menos complicadas, se simplifica bastante el sistema de transmisión requerido, la señal es menos vulnerable a las interferencias y en la recepción el proceso se reduce a identificar los símbolos presentes en las señales recibidas.

En esta sección se detallarán los principales tipos de modulación digital, además de la tecnología particular requerida por cada uno de ellos.

#### III.2 Técnicas de Modulación Digital

Las técnicas básicas son:

Modulación por variación de amplitud ( ASK )

Modulación por variación de frecuencia ( FSK )

Modulación de variación de fase ( PSK )

Modulación por Variación de Amplitud ( ASK ).

Tal como se observa en la fig. ( 3.1 ) en esta forma de modulación, la información es transmitida mediante la presencia o ausencia de la portadora, tal como lo indican las expresiones siguientes:

$$f_c(t) = \begin{cases} A \cos \omega_c t & \text{para } 1 \\ 0 & \text{para } 0 \end{cases} \quad 3.1$$

Para encontrar el espectro de esta señal, supongamos que tenemos un tren de pulsos periódicos ( unos y ceros alternados ), quedando un pulso 1 centrado en el origen en un momento dado. fig. ( 3.2a ).

El Espectro de la señal pulso rectangular se encuentra por medio de la integral de Fourier:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad 3.2$$

Como  $f(t) = A$  para el pulso 1 en  $T/2 \leq t \leq -T/2$

$$F(\omega) = \int_{-T/2}^{T/2} A e^{-j\omega t} dt$$

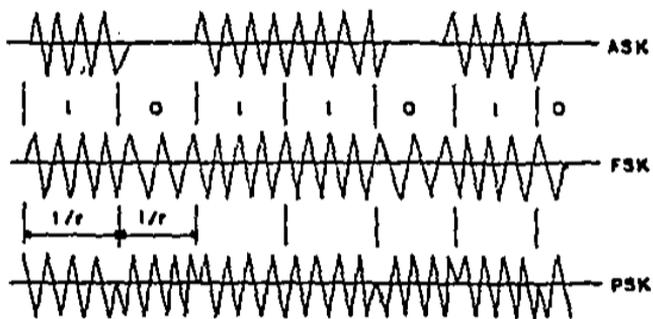


FIG 3.1 TECNICAS DE MODULACION DIGITAL

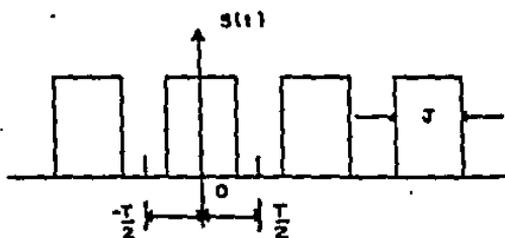


FIG 3.2b TREN DE PULSOS PERIODICOS

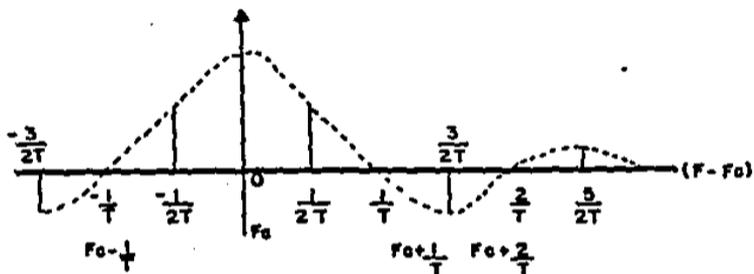


FIG 3.2a ESPECTRO SENAL ASK

$$\begin{aligned}
 &= - \frac{A}{j\omega} e^{-j\omega t} \Big|_{-T/2}^{T/2} \\
 &= - \frac{A}{j\omega} \frac{e^{j\omega T/2} - e^{-j\omega T/2}}{j} \quad 3.3
 \end{aligned}$$

Por la identidad:

$$\sin \theta = \frac{e^{j\theta} - e^{-j\theta}}{2j}$$

Sustituyendo en ( 3.3 ):

$$F(\omega) = \frac{2A}{\omega} \sin \omega T/2 = A \frac{\sin(\omega T/2)}{T/2}$$

Si hacemos  $x = \omega T/2$

$$\dots F(\omega) = \frac{\text{Sen } x}{x} \quad 3.4$$

La cual es llamada " función de muestreo ", cuya forma se observa en la fig. ( 3.2b ); sin embargo como el tren de pulsos no es continuo sino periódico, el espectro se vuelve discreto, definiéndose la función  $x$  en solo determinados instantes ( Múltiplos de  $1/2 T$  )

Finalmente, modulemos con el tren de pulsos a una portadora  $A \cos \omega t$ , con lo que el espectro se trasladará y quedará centrado en la frecuencia  $f_c(t)$  tal

como se muestra en la fig. ( 3.2b ).

### Modulación por Variación de Frecuencia ( FSK )

En esta forma de modulación se varía la frecuencia de la portadora (  $f_c$  ) de acuerdo al símbolo transmitido, por lo que se puede considerar como la alternación de dos senoidades de igual amplitud, pero diferente frecuencia, una representando a los símbolos " 1 " y la otra a los " 0 ".

Podemos expresar ambas frecuencias de la manera siguiente:

$$f_1 = f_c - \Delta f \quad \text{y} \quad f_2 = f_c + \Delta f \quad ( 3.5 )$$

De tal manera que la señal FS se puede representar mediante la expresión:

$$f_c(t) = A \cos ( \omega_c \pm \Delta \omega ) t \quad ( 3.6 )$$

Y las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  difieren entonces por  $2\Delta f$  Hz.

Si consideramos al mensaje formado por ceros y unos alternados, tal como se muestra en la fig. (3.3.a)

De esta manera el espectro se puede considerar como la superposición lineal de dos espectros de ASK desplazados  $2\Delta f$  Hz, uno con respecto al otro, como se ve en la expresión:

$$\frac{\text{Sen} [(W_1 - W_n) T/2]}{(W_1 - W_n) T/2} + (-1)^n \frac{\text{Sen} [(W_2 - W_n) T/2]}{(W_2 - W_n) T/2} \quad (3.7)$$

donde:  $W_n = \dots / T$ ;  $W_1 = W_c - \Delta w$ ,  $W_2 = W_c + \Delta w$

Para  $\Delta f = 1/T$

De lo anterior vemos que la FSK es parecida a la FM. Si B es el ancho de banda de la señal binaria original y es igual a  $K/T$  ( $K = 2$  para el segundo cruce de cero), entonces el ancho de banda de la señal modulada será  $2\Delta f + 2B$  como se ve en la fig. (3.3b).

Si  $\Delta f \gg B$  el ancho de banda de la señal modulada es  $2\Delta f$ , por lo que se ve que al usar una amplia separación de frecuencias, el ancho de banda del producto es independiente de la señal digital, lo cual es coincidente con el caso de la FM de banda ancha.

Si  $\Delta f \gg B$  el ancho de banda se acerca a  $2B$ , es este caso el mínimo ancho de banda es similar al requerido para transmitir ASK siendo determinado por la señal de banda base, tal como sucede con la FM

de banda estrecha.

### Modulación por Variación de Fase ( PSK )

En este tipo de modulación, la fase instantánea de la portadora varía proporcionalmente a los pulsos moduladores:

$$f_c(t) = A \cos(\omega_c t + \theta(t)) \quad (3.8)$$

Donde  $\theta(t)$  es la variación de fase producida por la información.

El tipo más sencillo de esta modulación usa dos niveles de fase ( $0^\circ$  y  $180^\circ$ ); sin embargo, se puede aplicar un número mayor de niveles incrementándose la velocidad en bits/seg. en proporción directa, sin necesidad de aumentar el ancho de banda tal como se ve en la siguiente expresión:

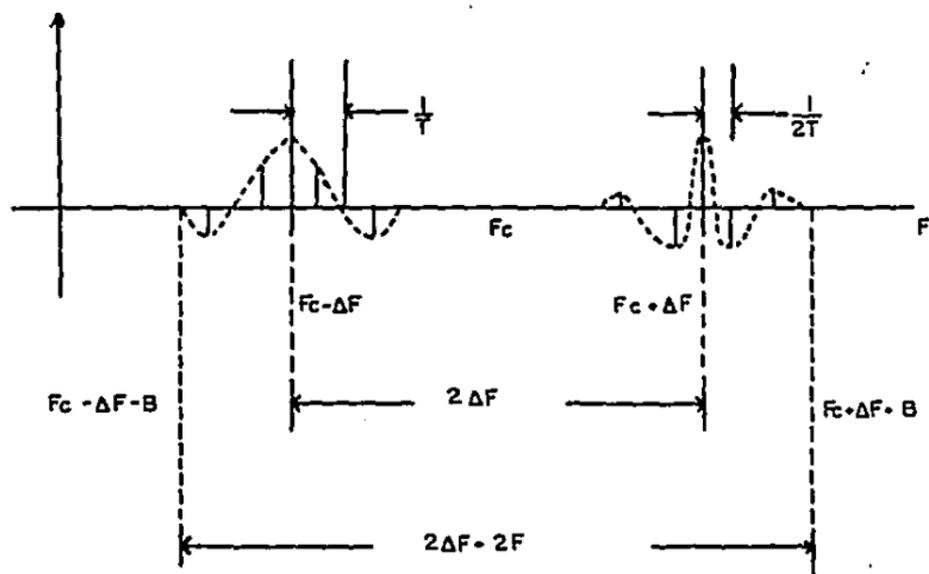
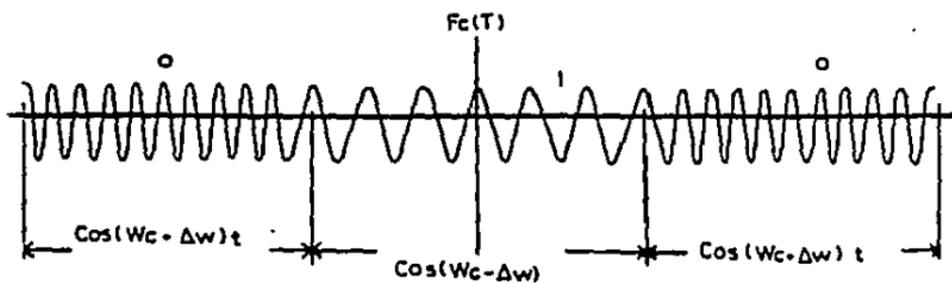
$$f_c(t) = A \cos(\omega_c t + \theta(t))$$

$$\theta(t) = 0, \frac{2\pi}{M}, \frac{4\pi}{M}, \dots, \frac{2(M-1)\pi}{M} \quad (3.9)$$

Donde  $\mu$  es el número de niveles de fase y está relacionado con el número de trenes de pulsos binarios que pueden transmitirse simultáneamente ( $n$ ), por la expresión:

$$\mu = 2^n \quad (3.10)$$

Si tenemos dos niveles de fase ( $\mu = 2$ ), el proceso se denomina modulación bifase y podemos trans-



mitir un tren de pulsos. Si hay cuatro niveles de fase ( $M = 4$ ) se llama modulación de cuadratura de fase y se pueden transmitir dos trenes simultáneos.

Con ocho niveles, podemos transmitir tres trenes de impulsos simultáneamente, y así sucesivamente.

En la fig. ( 3.5 ) se muestran los tipos antes mencionados de modulación PSK , indicando los niveles de fase respectivos y el símbolo que se transmite con cada uno de ellos en los trenes de pulsos; mientras que en la fig. ( 3.4 ) tenemos el espectro de frecuencia para la señal PSK. Este es esencialmente el de una señal bipolar, trasladado a la portadora  $f_c$ .

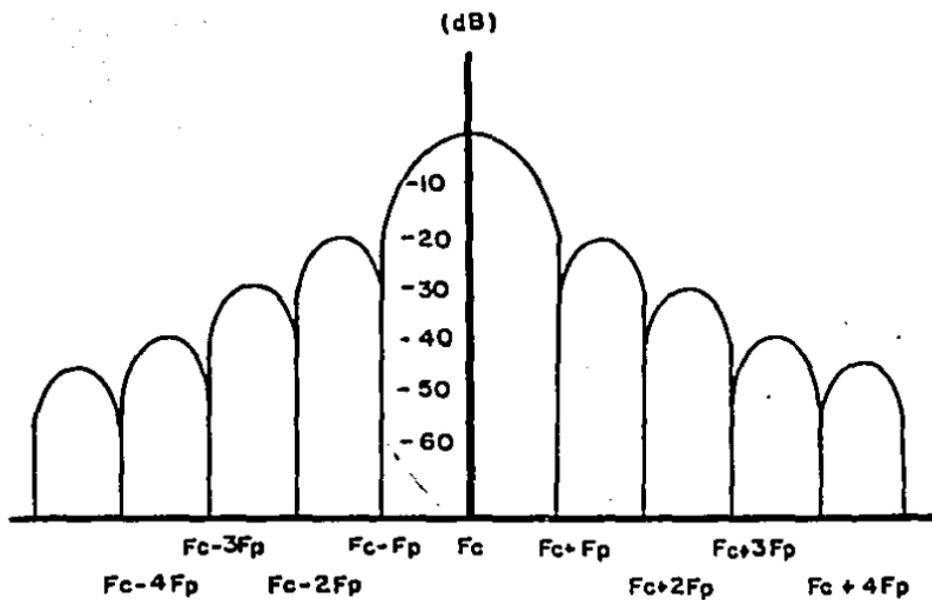
#### Técnicas de Demodulación:

Existen dos métodos comunes para efectuar la demodulación de las señales digitales:

- Detección coherente o sincrónica.
- Detección no coherente o asincrónica.

#### - Detección Coherente o Sincrónica

Consiste básicamente en multiplicar la señal recibida por una portadora idéntica generada localmente en el receptor y después filtrar al producto.



$F_c$ : Frecuencia portadora

$F_p$ : Frecuencia rep. pulsos

Procederemos a desarrollar el proceso para el caso de ASK y PSK fig. ( 3.6a ). Supongamos que tenemos a la entrada del demodulador la señal:

$$f_c(t) = f(t) \cos Wct \quad ( 3.11 )$$

$$\begin{aligned} \text{Donde: } f(t) &= \pm 1 && \text{para PSK} \\ f(t) &= 001 && \text{para ASK} \end{aligned}$$

Multiplicando por la portadora:

$$[f(t) \cos Wct] [K \cos Wct] = Kf(t) \cos^2 Wct \quad ( 3.12 )$$

$$\left( \frac{K}{2} \right) ( 1 + \cos 2 Wct ) f(t) \quad ( 3.13 )$$

$$\text{Por la identidad: } \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} ( 1 + \cos 2 \alpha )$$

Donde el término  $\cos 2 Wct$  representa a la segunda armónica de la portadora, la cual se elimina mediante un filtro pasa bajo, quedando a la salida.

$$\frac{K}{2} f(t) \quad ( 3.14 )$$

Que es la información acompañada de un factor  $K/2$  el cual se puede eliminar mediante amplificación o atenuación.

En el caso de FSK fig. ( 3.6b ) se necesita separar la señal en dos partes, cada una con una frecuencia

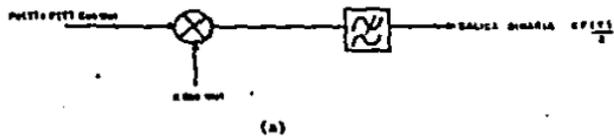
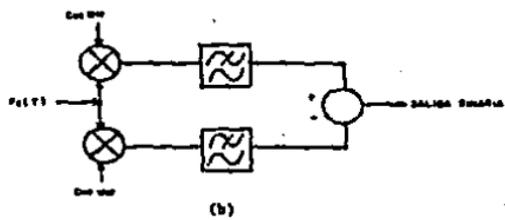


FIG. 3.6 a) DETECCIÓN SINCRÓNICA PARA ASK Y PSK  
 b) DETECCIÓN SINCRÓNICA PARA FSK

$f_1$  y  $f_2$  y multiplicarlas a cada una por separado con la portadora correspondiente.

El problema en este tipo de detección es que tanto la señal recibida como la portadora generada en el receptor deben estar sincronizadas perfectamente tanto en fase como en frecuencia, exigiendo ésto complicados sistemas de coordinación.

En el caso de la PSK se utiliza el método llamado conversión diferencial, para subsanar el problema anterior. En éste la información transmitida está incluida en la variación de fase existente entre los espacios de tiempo y no en la fase misma. Para ello se requiere una adecuada codificación de la señal en el transmisor. Esta comienza con un primer dígito arbitrario y de ahí en adelante indica los sucesivos dígitos del mensaje por variaciones o no variaciones de la fase. Una variación indica 0 y no variación indica 1.

En el receptor, la señal recibida se multiplica por ella misma, retrasada un bit, en lugar de emplearse una portadora local.

Si los bits adyacentes son de igual fase, resulta una salida positiva ( Símbolo 1 ) y si son de fase contraria resulta una salida negativa ( Símbolo 0 ). El proceso anterior se ejemplifica en la Tabla I y

la fig. ( 3.7 )

TABLA I

TABLA I  
CODIFICACION Y DECODIFICACION

Tx	Mensaje transmit.	1	0	1	1	0	
	Mensaje codificado	1	1	0	0	1	
	Fase transmit.	0	0	$\pi$	$\pi$	$\pi$	0
Rx	Fase recibida	0	0	$\pi$	$\pi$	$\pi$	0
	Fase retrazada		0	0	$\pi$	$\pi$	$\pi$
	Salida comp. fase		+	-	+	+	-
	Mensaje recibido		1	0	1	1	0

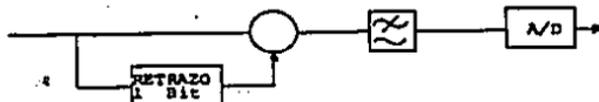


FIG.3.7 DECODIFICACION DIFERENCIAL

- Detección no Coherente o Asíncronica

Este método es el más adecuado para la detección de ASK, ya que en él se utilizan comúnmente los detectores de envolvente, evitándose así la necesidad de sincronizar a la señal en el receptor.

Sin embargo, presente dificultades para la detección de PSK, y FSK, debido a que ambas poseen amplitud constante y variaciones de frecuencia y fase. No obstante, es posible emplear el detector de envolvente con FSK, basándose en que ésta está formada por dos frecuencias diferentes, de acuerdo al método de la fig. ( 3.8b )

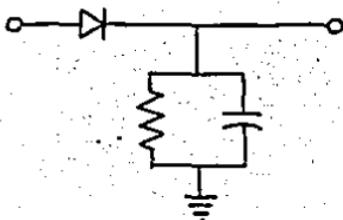
Los filtros separan a las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  las cuales son detectadas por separado, y el resultado es comparado para determinar el símbolo transmitido.

Por lo que respecta a la PSK, definitivamente no se puede demodular asíncronicamente, como se demostrará a continuación:

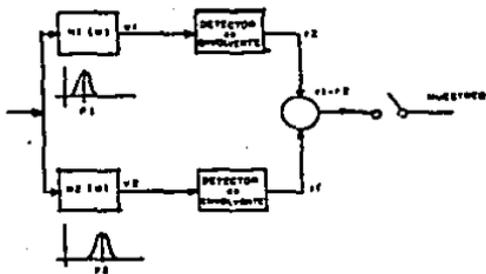
Supongamos que se tiene la señal:

$$f_c(t) = A f(t) \cos \omega_c t \quad ( 3.15 )$$

Al hacerla pasar por el elemento no lineal del



(a)



(b)

FIG. 3.8 DETECCION DE ENVOLVENTE

a) DETECTOR DE ENVOLVENTE SENCILLO

b) DETECTOR PARA FSK.

detector:

$$f_c(t) = A^2 f^2(t) \cos^2 Wct \quad (3.16)$$

Como para PSK:  $f(t) = \pm 1$   $f^2(t) = 1$

$$f_c(t) = A^2 \cos^2 Wct \quad (3.17)$$

Lo cual a la salida del filtro nos dará:

$$f_c(t) = A^2/2 \quad (3.18)$$

Lo cual demuestra que se pierde la información.

### III.3 COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS DIGITALES CON RESPECTO AL RUIDO

El ruido en las comunicaciones eléctricas es una perturbación que produce distorsión en el mensaje durante su viaje a través del canal de comunicación. Este efecto es producido por factores muy variados, y se subdivide en varios tipos diferentes, algunos de los cuales son comunes a los sistemas tanto analógicos como digitales y otros son peculiares de cada uno de ellos.

En lo que se refiere a los sistemas de radio digital, éstos son afectados principalmente cuando el ruido produce errores de la interpretación de los símbolos en la recepción, ya que la relación S/R está estrechamente unida a la tasa de error; aunque desde luego, también se ven afectados por los mismos tipos

de ruido que afectan a los sistemas PCM, los cuales se vieron en el capítulo anterior. En esta sección veremos las perturbaciones que afectan particularmente a los radios, como son el ruido térmico y las interferencias.

### III.3.1 RUIDO TERMICO O GAUSSIANO

Este es ocasionado por el movimiento de los electrones que componen al medio de transmisión. Se denomina térmico, debido a que está en función directa con la temperatura y gaussiano a que pueda ser representado matemáticamente con la distribución de probabilidad gaussiana ó normal.

Esta es la más común de las distribuciones de probabilidad y se emplea cuando:

- a) Un gran número de causas aleatorias independientes produce efectos aditivos.
- b) Una apreciable fracción de las causas produce efectos de casi máxima varianza.

En la fig. ( 3.9a ) se muestra la representación gráfica de la distribución normal con media cero. Esta se representa matemáticamente.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b^2}} e^{-1/2 (x/b)^2} \quad ( 3.20 )$$

Donde  $b^2$  es la varianza.

Para el caso de una media distinta de cero, tenemos la siguiente Ecuación.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b^2}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2b^2}} \quad (3.20a)$$

De acuerdo a lo anterior, supongamos que tenemos la gráfica de voltaje de ruido de la fig. ( 3.9b ). Si muestreamos ésta en un tiempo  $n(t)$ , la probabilidad de que la muestra caiga dentro del rango  $n$  a  $n + dn$  está dada por:

$$f(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi b^2}} e^{-1/2 (n/b)^2} \quad (3.21)$$

que es la misma expresión para la distribución normal con media cero.

Existen dos casos de comportamiento que nos interesan particularmente: pulsos unipolares y pulsos bipolares.

Supongamos que mandamos un tren de pulsos unipolares y en el receptor el umbral de decisión está ajustado a la mitad de la amplitud de pulso (  $A/2$  ), de manera que si la señal es mayor que éste, se interpreta como 1 y si es menor como 0.

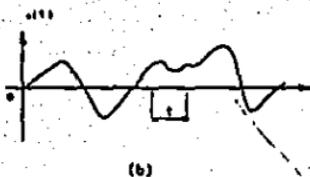
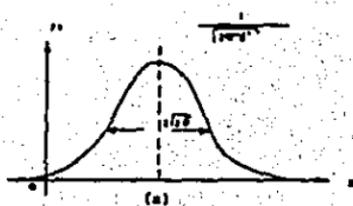


FIG. 3.9 a) DISTRIBUCION GAUSSLANA  
b) GRAFICA DE RUIDO.

Si mandamos un cero, la probabilidad de error es que la amplitud de la señal más ruido, rebase a  $A/2$ . Como no hay señal, la función de densidad será únicamente la del ruido, ( ecc. 3.21 ) representada en la fig. ( 3.10a ) por el área bajo la curva desde  $A/2$  a  $\infty$ .

Si ahora transmitimos un 1 tendremos un pulso  $A$  más ruido (  $A + n(t)$  ). En este caso, la función de densidad será la misma que la Ecc 3.20 ( Distribución Gaussiana con media  $A$  ) y será equivalente al área bajo la curva de  $-\infty$  a  $A/2$  fig. ( 3.10b ).

Para encontrar la probabilidad de error de todo el sistema, sumamos las probabilidades de ambos tipos de símbolos ( áreas bajo las curvas ), incluyendo la probabilidad de ocurrencia de cada uno.

$$P_e = P_0 P_{e0} + P_1 P_{e1} \quad ( 3.22 )$$

$P_0, P_1$  = Probabilidad de ocurrencia cero o uno.

$P_{e0}, P_{e1}$  = Probabilidad de error cero o uno.

$P_e$  = Probabilidad de error del sistema.



FIG. 3.10 DENSIDADES DE PROBABILIDAD DE ERROR UNIPOLARES  
 a) CERO TRANSMITIDO  
 b) UNO TRANSMITIDO

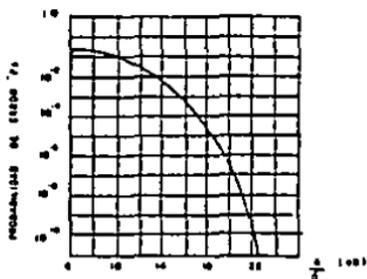


FIG. 3.11 PROBABILIDAD DE ERROR PARA DETECCION BINARIA CON RUIDO GAUSSIANO

Ahora si consideramos 1's y 0's equiprobables  
 $P_0 = P_1 = 1/2$  ( Apéndice B ).

$$P_e = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \frac{A}{2\sqrt{2b}} \right] \quad ( 3.23 )$$

$$\text{donde } \operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$$

Estas ecuaciones están graficadas en la fig. ( 3.11 ). Como vemos la probabilidad de error del sistema  $P_e$ , depende principalmente de la relación señal a ruido  $A/b$ .

En el caso de pulsos bipolares, éstos se transmiten a  $A/2$  ó  $-A/2$  volts, y el decodificador se guía por la polaridad del voltaje instantáneo. En la fig. ( 3.12a y b ) se muestran las probabilidades para ambos casos, respectivamente. Se observa que es en cada caso igual que para los pulsos unipolares. Sin embargo la transmisión bipolar requiere solo la mitad de la amplitud que la unipolar y la mitad de la potencia promedio, por lo que es preferible.

Sabiendo las características básicas del ruido y sus densidades de probabilidad unipolar y bipolar, podemos ahora ver su comportamiento en los diferentes tipos de modulación digital vistos anteriormente, tanto sincrónica como asincrónica.

#### - Detección Sincrónica

Como hemos visto, la detección sincrónica consiste



FIG. 3.12 DENSIDADES DE PROBABILIDAD DE ERROR BIPOLARES

a) 0 TRANSMITIDO

b) 1 TRANSMITIDO

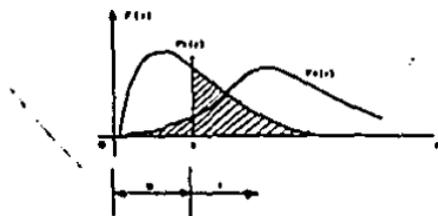


FIG. 3.13 FUNCIONES DE DISTRIBUCION DE  $e$

en multiplicar la señal recibida por una portadora sincronizada con ella y después filtrarla para eliminar los productos indeseables. Este proceso se efectúa tanto sobre la señal como el ruido que la acompaña.

En el caso ASK, la señal del detector es:

$$V_o \text{ ASK} = A_o + n(t)$$

donde  $n(t)$  es la componente de ruido:

Se ve que esta señal es muy similar al caso unipolar visto anteriormente, y por lo tanto su probabilidad de error es la misma de la ecc. 3.23...

$$P_{e\text{ASK}} = \frac{1}{2} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{A}{2\sqrt{2N}} \right) \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{A}{2\sqrt{2N}} \right) \quad (3.24)$$

Para la PSK, la salida del detector es una señal bipolar correspondiente al caso analizado anteriormente, pero con amplitud  $A$  en lugar de la  $A/2$  empleada ahí; de tal manera, si elegimos 0 como nivel de decisión y símbolos igualmente ocurrentes:

$$P_{e\text{PSK}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{A}{\sqrt{2N}} \right) \quad (3.25)$$

Se observa que el sistema de modulación de fase requiere solo la mitad de la amplitud que el ASK, habiendo un mejoramiento de 6dB en la relación S/R. Sin embargo, en potencia la mejoría es sólo de 3dB, ya que la señal ASK está fuera la mitad del tiempo,

requiriendo sólo la mitad de la potencia.

En FSK se emplean dos detectores, cuyas salidas se comparan:

$$V_o \text{ FSK} = \frac{+A}{-A} + (n_1 + n^2)$$

donde  $n_1$  y  $n^2$  son componentes de ruido.

Vemos que es una señal bipolar, pero el ruido aportado por cada una puede sumarse, reduciendo la efectividad con relación al PSK.

$$P_{e\text{FSK}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \frac{A}{2\sqrt{N}} \right) \quad (3.26)$$

Para una probabilidad de error específica, éste método requiere 3dB, de potencia más que el PSK, pero es a su vez 3dB mejor que el ASK.

#### - Detección Asíncrona

Si tenemos una señal ASK y la pasamos por un detector de envolvente tal como el de la fig. (3.8) a la salida tendremos la envolvente  $r(t)$  de esta señal. La decisión del símbolo recibido será entonces determinada por  $r(t) > b$  o  $r(t) < b$  siendo  $b$  un nivel de decisión.

Cuando se transmite un 0, la variable  $r(t)$  tendrá una distribución de Rayleigh  $f_n(r)$  y cuando se transmi-

te un 1 una distribución de Rice  $f_s(r)$  como se muestra en la fig. ( 3.13 ).

Tal como se vio anteriormente,  $P_0$  y  $P_1$  serán las probabilidades de transmisión respectivas y la probabilidad total de error será:

$$P_e = P_0 \int_b^{\infty} f_n(r) dr + P_1 \int_0^b f_s(r) dr \quad ( 3.27 )$$

Ambas integrales han sido evaluadas y tabuladas, obteniéndose la curva ( e ) de la fig. ( 3.13 ).

Para FSK se substran las envolventes  $r_1$  y  $r_2$  de cada señal. Si tenemos un 1, el valor de  $(r_1 - r_2)$  deberá ser positivo. Si es cero, el valor deberá ser negativo y habrá error al detectarse lo contrario en cada caso.

Esto se expresa mediante la fórmula:

$$P_e = \frac{1}{2} e^{-A^2/4N} \quad ( 3.28 )$$

Como conclusión se ha observado en todos los casos vistos, la cantidad ( tasa ) de errores en un sistema digital depende de la relación S/R ( señal a ruido ) del sistema (  $A/\sqrt{N}$  ).

### - CONCLUSIONES

En la gráfica de la fig. ( 3.14 ) tenemos la probabilidad de error vs. relación S/N para varios tipos de modulación, de acuerdo a las fórmulas encontradas anteriormente. En esta se observa claramente el desempeño de cada tipo de modulación con respecto al ruido, reforzando lo dicho al respecto en la sección anterior. Además, esta relación es básica para el cálculo de un radioenlace digital, ya que nos permite determinar la relación S/R que debe mantener nuestra señal para cumplir con la tasa de error exigida.

Tal como se había observado anteriormente, el tipo de modulación menos afectado por el ruido es la PSK coherente, razón por la cual es ampliamente usada. La PSK diferencial requiere de un poco más de relación S/R ( 0.7dB para  $10^{-6}$  errores ) debido a su demodulación peculiar, aunque como se había dicho, ahorra problemas de sincronización en el receptor.

En la Tabla II se muestran características comparativas de los distintos métodos de modulación ( Informe 378-2 del CCIR ). En ésta, F depende del tipo de modulación y B es la velocidad binaria.

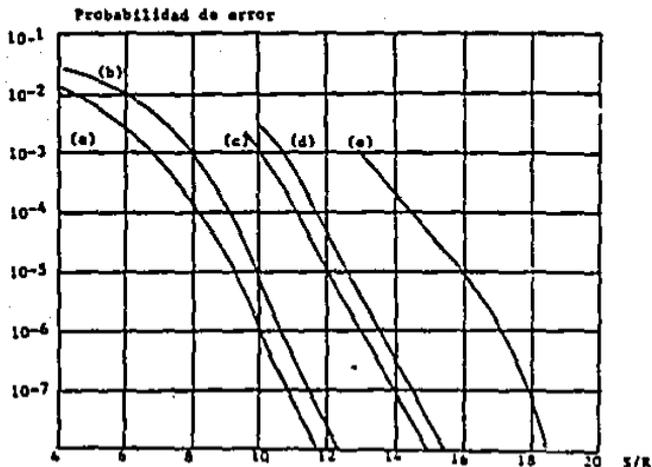


FIG. 3.14 PROBABILIDAD DE ERROR EN SISTEMAS DE RADIO CON RUIDO ADITIVO.

- a) PSK BINARIA O CUATERNARIA COHERENTE
- b) PSK BINARIA DIFERENCIAL
- c) FSK SINCRONICA
- d) PSK CON DETECCION DE ENVOLVENTE
- e) ASK CON DETECCION DE ENVOLVENTE.

TABLA II

METODO	VARIANTE	S/R	ANCHO DE BANDA	OBSERVACIONES.
	Doble banda lateral -- portadora completa	17	FB	Sencilla, gran ancho de banda.
	Doble banda lateral portadora suprimida detección coherente	10.5	FB/2	Complejo, resistente a - interferencia.
	Doble banda lateral -- portadora suprimida -- det. coherente dif.	12.8	FB/2	Bastante simple y sensible a la dist.
	Banda lateral -- portadora suprimida	10.5	FB/2	Complejo, se pierden las frecuencias inferiores
	Doble banda lateral -- portadora suprimida de detección coherente	11.3	.6FB	Bastante complejo
FSK coherente	2 niveles de fase	10.5	FB	Muy simple, resistente a la distorsión
	4 niveles de fase	10.5	FB/2	Muy simple, menor ancho de banda.
	8 niveles de fase	13.8	FB/3	Complejo, banda muy pequeña, distorsionable.
FSK diferencial.	2 niveles de fase	11.2	FB	Simple, gran ancho.
	4 niveles de fase	12.8	FB/2	Simple, menor ancho.
	8 niveles de fase	16.8	FB/3	Complejo, banda pequeña distorsionable.
FSK	2 estados	13.4	FB	Simple, gran ancho.
	4 estados	20.1	FB/2	Simple
	8 estados	25.5	FB/3	Pequeña banda.

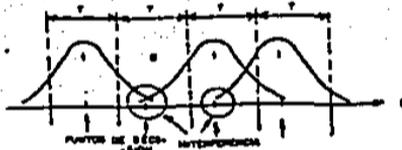


FIG. 3.15a INTERFERENCIA ENTRE SÍMBOLOS

### III.3.2 INTERFERENCIAS

Existen dos tipos básicos de interferencias que afectan a los sistemas digitales; interferencias debidas a los canales o sistemas cercanos o interferencia entre símbolos.

#### - Interferencia entre símbolos

Esta es una distorsión en la forma del pulso debido a la acción de los filtros limitadores de banda del canal de transmisión. Al distorsionarse, el pulso invade los espacios de tiempo de los adyacentes, fig. ( 3.15a ), pudiendo llegar a causar una mala interpretación de la identidad del pulso o error digital, si invade el umbral de decisión. Esto es especialmente delicado al sumarse ruido térmico a la interferencia.

RELACION  
DE  
ERROR

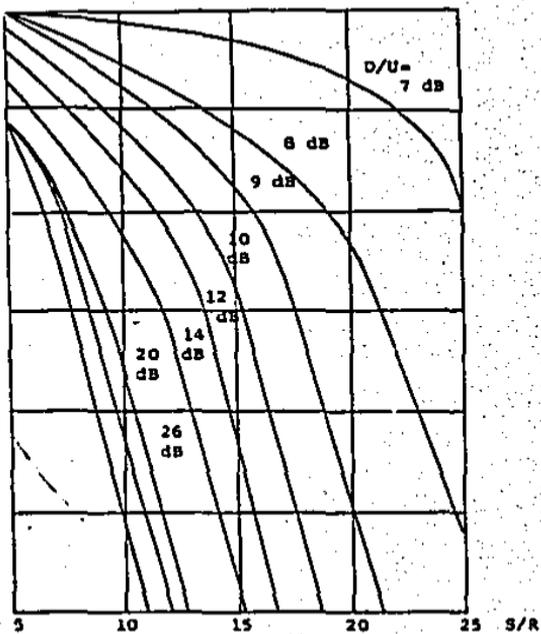


FIG. 3.15 RELACION S/R VS ERRORES -

Los efectos de esta interferencia se pueden evaluar teóricamente mediante su distribución estadística, en la práctica, ésto se hace mediante el patrón del ojo ( fig. 3.15 ). La altura del patrón en el punto de decisión ( E ), indica el margen de nivel contra ruido y su anchura en el mismo, el margen de intervalo de tiempo. La degradación de la relación portadora / ruido debido a este tipo de interferencia viene dada por:

$$S/R = - 20 \log E \quad ( 3.29 )$$

#### - Interferencia entre canales

Esta proviene de otros canales radioeléctricos, los cuales pueden ser adyacentes. Con la misma frecuencia o canales que entren en la banda de paso del receptor aunque no funcionen a la misma frecuencia, tanto analógicos como digitales.

Sus efectos se pueden calcular mediante la convolución de la densidad de probabilidad de interferencia y el ruido térmico, ya que ésta no es en si misma causa de errores, pero pueden ocasionarlos al sumarse el ruido térmico. En la fig. ( 3.16 ) se muestra la relación de errores vs. niveles relativos de señal

Relación  
portadora/ruido.  
W (dB)

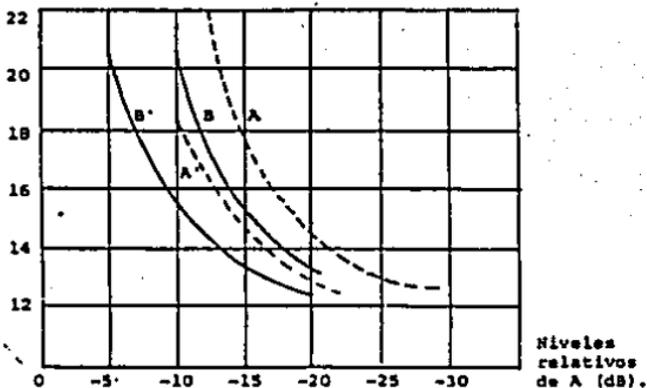


FIG. 3.16 RELACION S/N. VS. INTERFERENCIA.

A= PSK 4 FASES 2 SEÑALES INTERF.	B= PSK 2 FASES 2 SEÑALES INTERF.
A= PSK 4 FASES 1 SEÑAL INTERF.	B= PSK 2 FASES 1 SEÑAL INTERF.

interferente para 1 o 2 canales interferentes y PSK binaria o cuaternaria.

Desde luego, la interferencia entre canales está íntimamente relacionada con la separación existente entre éstos y su disposición.

Los cuatro parámetros básicos que influyen en la separación entre canales son:

- Separación entre transmisor y receptor adyacentes ( YS ) o sea separación entre las frecuencias centrales de los canales de ida y retorno más cercanos.

- Separación de los bordes de banda ( ZS ), o separación entre los bordes de la banda de frecuencia y las frecuencias centrales de los canales de RF más alejados del centro.

Donde S es la velocidad numérica de transmisión y X, Y, Z, son factores dependientes de cada parámetro.

La separación entre canales XS debe estar entre:

$$1.5 < x \leq 2.0$$

el límite inferior está determinado por la selectividad de los filtros de transmisión, recepción y

de derivación y el superior por la utilización aceptable del espectro. Por ejemplo, en la fig. ( 3.18 ) se ve que con una separación de 1.55 la interferencia entre canales será 27dB inferior al nivel de portadora deseada cuando la anchura es igual a 2.05 la del filtro receptor es de 1.05 y la del filtro de derivación es de 1.55 .

En la separación entre transmisor y receptor el valor de Y debe estar entre:

$$2.0 < Y < 4.0$$

el límite inferior está determinado por la selectividad de los filtros y la configuración de la antena y el superior por la utilización aceptable del espectro.

La experiencia señala que Z debe estar dado por 1.05 debido a:

- La densidad espectral de interferencia causada en las bandas de frecuencia adyacentes.

- La densidad espectral de interferencia causada en el sistema digital por las bandas adyacentes.

- Las características de los equipos y sistemas

Relacion  
pot. portadora/pot. interf.  
entre canales (dB)

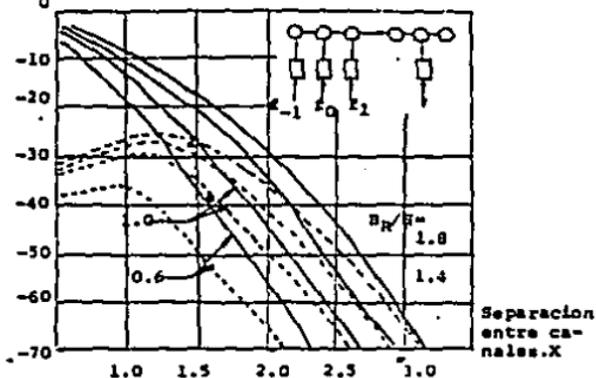


FIG.3.18 CARACTERISTICAS DE INTERFERENCIA EN  
TRES CANALES.

$B_p/S$  = Anchura de banda normalizada del filtro de recep.

$f_1$  — = Valor teórico de la interferencia causada por  $f_1$

$f_{-1}$  - - - = Valor teórico de la interferencia causada por  $f_{-1}$

de las bandas.

- Las condiciones geográficas.

Como se en la fig. ( 3.19 ) para un filtro de transmisión con una anchura de banda de 25 a 3dB, y con una relación de potencia de portadora de 0.5%, la separación de guarda es igual a 0.8(s) aproximadamente.

- Interferencia entre sistemas

Se puede presentar de dos formas:

- Sistemas analógico o digital interfiriendo a uno digital
- Sistema digital interfiriendo a uno analógico.

Ambos casos son difíciles de encontrar, debido a la alta inmunidad a las interferencias presentada por los sistemas digitales ya que éstos se transmiten a potencias considerables menores que los analógicos ( del orden de mW contra Watts ); además con frecuencia los digitales usan frecuencias más elevadas ( arriba de 106 Hz ).

POT. RESIDUAL / POT. PORTADORA (dB)

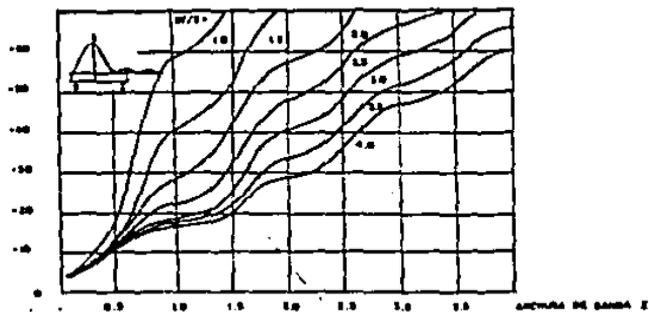


FIG. 3.19 RELACION ENTRE LA BANDA DE CUANDA Y LA POTENCIA RESIDUAL FUERA DE LA BANDA — OCUPADA.

- Interferencia causada a un sistema digital por uno digital o analógico, con modulación angular.

A pesar de la alta resistencia a las interferencias característica de los sistemas de radio digital, éstas pueden llegar a producirse debido a un sistema digital o analógico cercano, el cual posea modulación angular.

En la fig. ( 3.20a y b ) se muestran las curvas correspondientes a este tipo de interferencia cuando el sistema afectado tiene modulación PSK de 2 niveles de fase ( Gráfica a ) y 4 niveles de fase ( Gráfica b ).

En estas figuras  $E/N_0$  representa a la relación S/R y el eje de las ordenadas a la probabilidad de error. Cada una de las curvas paramétricas nos indica la relación portadora / señal interferente (J) en dB. Se puede observar que la vulnerabilidad aumenta con el número de niveles de fase empleado.

Para FSK diferencial se introduce un nuevo parámetro  $\theta$  que es el deslizamiento relativo de fase de la interferencia entre una muestra y la siguiente, lo cual disminuye al aumentar el número de niveles de fase fig. ( 3.21 ).

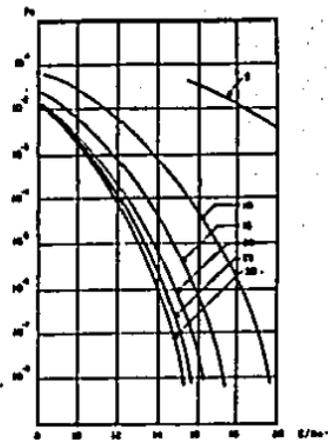
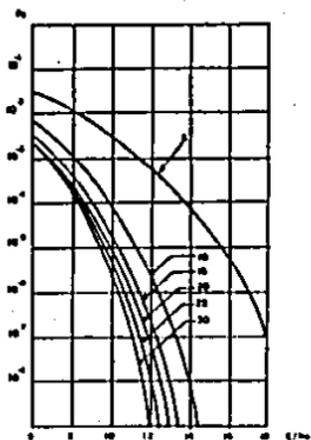


FIG. 3.20 a) DOS FASES

b) CUATRO FASES

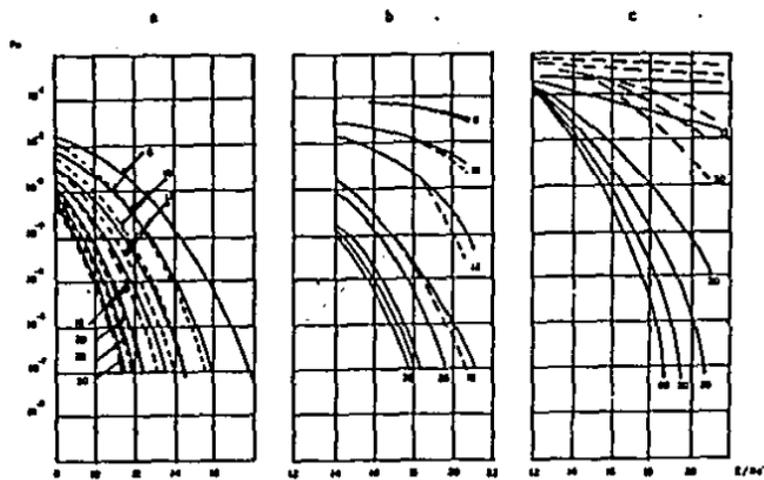


FIG. 3.23 a) 2 NIVELES DE FASE  
 b) 4 NIVELES DE FASE  
 c) 8 NIVELES DE FASE

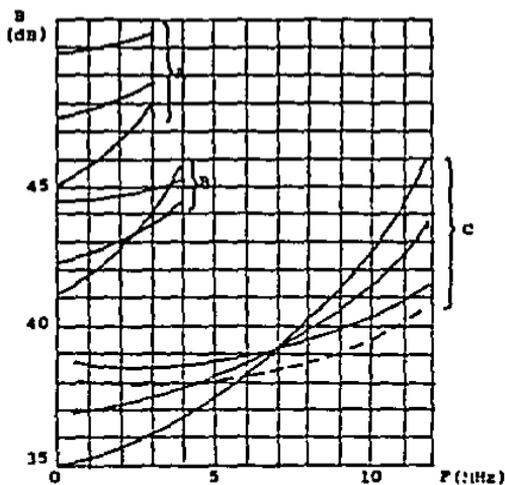


FIG. 3.22 INTERFERENCIA PRODUCIDA EN UN -  
SISTEMA ANALOGICO POR UNO PSK.

A= 120 CANALES

B= 240 CANALES

C= 600 CANALES

- Interferencia causada a un sistema analógico por un sistema digital.

Se calcula mediante el factor de interferencia B, dado por la ecuación:

$$B = 10 \log \left[ \frac{\text{pot. prueba}}{1 \text{ m W}} \times \frac{\text{Pot. señal interferente}}{\text{Pot. total de la señal}} \right] \text{ fig. ( 3.30 )}$$

del canal telefónico

Este, junto con la separación entre las señales deseada e interferente, nos da las gráficas de fig. ( 3.22 ).

## CAPITULO IV

### REDES DIGITALES Y SINCRONIZACION DE LA RED DIGITAL

#### LA TRANSICION A UNA RED DIGITAL

##### IV.1 Configuración de la Red Digital

Por cuestiones de interés de tráfico y cuestiones territoriales se forman áreas atendidas por un grupo de centrales con enlaces directos entre sí o a través de un centro de mayor jerarquía, centro que permite también la comunicación con otras áreas similares en otras partes del País, utilizando a su vez enlaces directos o tránsito a través de otros centros de mayor jerarquía que la de éste.

##### IV.1.1 Principales Areas de Aplicación Digital

Los circuitos de transmisión de la red telefónica existente pueden dividirse en tres categorías (fig 4.1)

##### -Red de abonado:

Es la red entre el aparato del abonado y la etapa del abonado.

##### -Red Troncal Urbana

Es la red que conecta centrales locales, dentro de

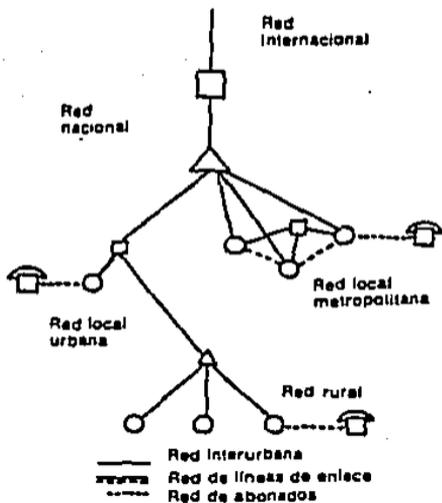


Fig. 4-1 La red telefónica

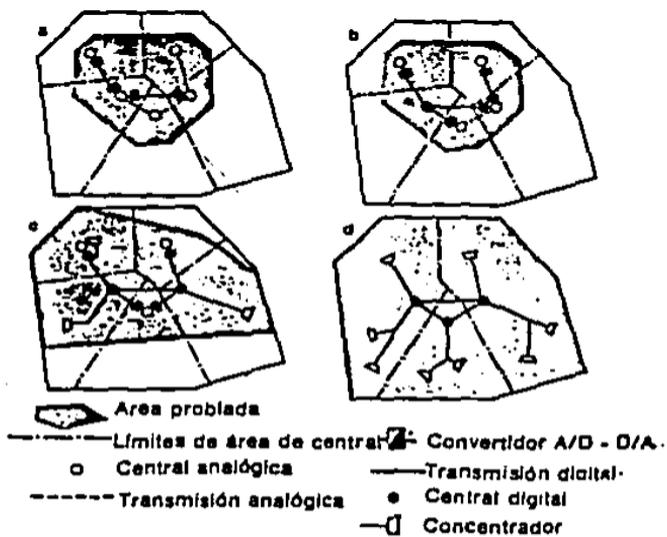


Fig. 4-2 Desarrollo hacia una red digital

la misma área local, tanto directamente como via centrales Tandem y la red que conecta centrales locales con su central primaria.

#### -Red Troncal Interurbana:

Es la red de larga distancia en los niveles primarios y superiores que conectan las diferentes áreas locales entre sí.

La Red de abonados es muy conservadora a causa de la gran cantidad de equipo implicado, las demandas de servicio uniforme para todos los abonados, etc. En la red troncal interurbana, los sistemas de portadora serán competitivos durante mucho tiempo. En la red troncal urbana, los sistemas digitales han tenido éxito.

La interacción entre la conmutación digital y la transmisión digital deberá incrementar la factibilidad de la conmutación digital en la red troncal urbana con el efecto de que la influencia total de la tecnología digital se sentirá más fuertemente en esta parte de la red.

#### IV.1.2. Desarrollo hacia una Red Digital

En áreas vírgenes se puede formar una red integrada, sin problemas de compatibilidad con el equipo existente. En redes establecidas el equipo de transmisión y la conmutación digital pueden introducirse de tres maneras: puede superponerse al equipo existente; puede remplazar al

equipo existente o puede usarse para actualizar equipo a analógico viejo. Para aplicaciones prácticas, el empleo exclusivo de uno de los métodos no parece probable. Más bien se espera emplear combinaciones de dichos métodos - en diferentes partes y etapas de desarrollo.

Un ejemplo de desarrollo hacia una red digital se muestra en la fig. 4.2, donde:

a) El punto de partida es una red analógica con cinco centrales locales. La red troncal urbana contiene ya algunos eslabones de transmisión digital, debido a la economía de PCM en comparación con la transmisión por frecuencia vocal. Las señales digitales se convierten en analógicas antes de ser conmutadas.

b) Ha sido substituida la primera central analógica. Se ha instalado una central con selector de grupo digital. La introducción de la conmutación digital apoyará la economía de la transmisión digital.

c) La situación unos años más tarde. Nuevas áreas de abonado han resultado en un empleo económico de concentradores, es decir, etapas de abonado a distancia conectados directamente al selector de grupo digital mediante transmisión PCM y controlados desde la central digital. En una de las centrales analógicas antiguas se ha solucionado el aumento de abonado, un concentrador conectado a una central digital y controlado desde ésta, formando así una red superpuesta.

d) Finalmente será digital la red completa. La red

constará de unos pocos selectores de grupos digitales y muchos concentradores. Los concentradores se colocarán en primer lugar con el selector de grupo digital.

La situación de los concentradores en la red local dependerá en gran manera de la capacidad disponible de la red de abonados y del espacio disponible en los edificios de central. En la fig. 4.3 se muestran diferentes posibilidades de situar los concentradores y conectarlos al selector de grupo digital.

#### IV.2 CONSIDERACIONES TECNICAS AL PLANEAR REDES DIGITALES PARA AREAS DE CENTRALES MULTIPLES

##### IV.2.1 Encaminamiento

El uso de concentradores a distancia para conectar abonados, hará económico el aumentar las áreas de central. Además los selectores de grupo digitales tendrán una capacidad para manejar el tráfico desde una gran cantidad de abonados. La combinación de selectores de grupo digitales y la señalización por canal común, hará más atractivo el uso de circuitos bidireccionales entre las centrales. Sin embargo seguirán habiendo las mismas posibilidades de encaminamiento: vías directas o conexiones tándem.

Una estrategia de introducción conveniente podría ser, instalar una central tándem digital en una etapa temprana y dejar que la tándem se haga cargo de las conexiones entre la red digital y la analógica. Una solución

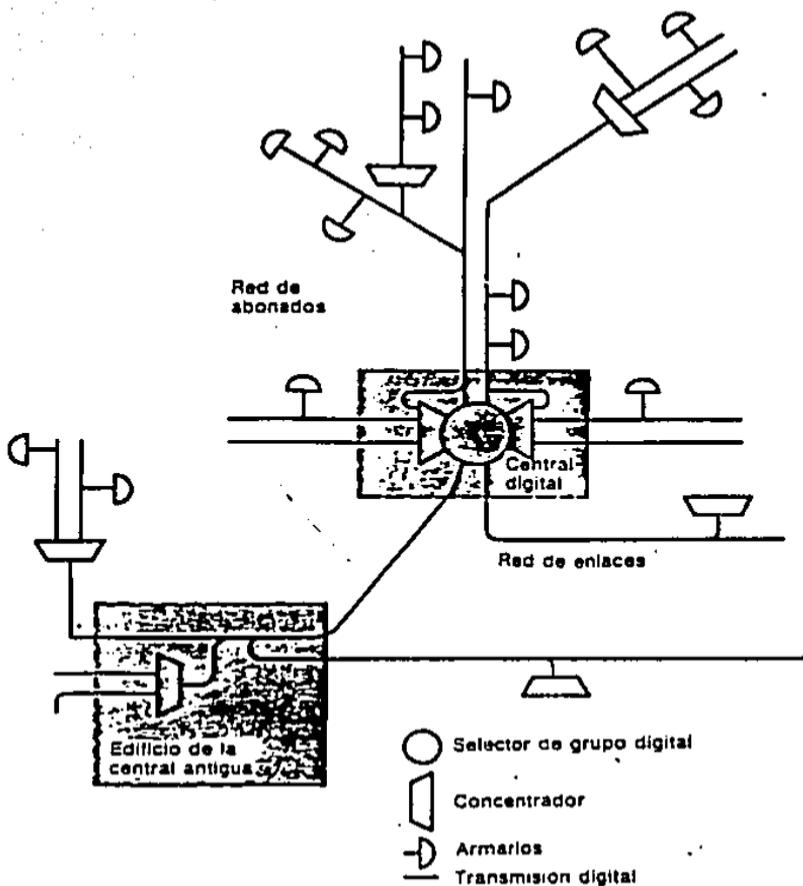


Fig. 4-3 Diferentes colocaciones de concentradores

de este tipo sería favorable para la estructura final de la red, respaldaría la nueva técnica y contribuiría a evitar tener que desarrollar y ampliar más las centrales analógicas existentes. Naturalmente el alcance de aplicación en la práctica de este método depende de transmisión y señalización en la red y sobre todo en el factor de costos.

#### IV.2.2 Sistemas de Transmisión

Como se mencionó anteriormente, la jerarquía de la PCM europea probablemente será de 2, 8, 34, 140 y 565 -- Mbits/seg. (30, 120, 480, 1920, 7680 canales). La transmisión de 2 Mbits/seg es transportada en el tipo existente de cables de pares, mientras que para sistemas más altos se requieren cables especiales (cable blindado o cable coaxial). La transmisión por radionlaces no es de interés en las áreas urbanas. De especial interés es la transmisión de 140 Mbits/seg en cable coaxial de diámetro pequeño.

Entre centrales analógicas normalmente es ventajoso usar PCM en vías de más de 6 a 12 Km., mientras que en centrales analógicas y digitales o entre centrales digitales, es ventajoso usar transmisión digital independientemente de la distancia.

La red de transmisión digital está formada por secciones digitales comunes a muchas vías de varios tamaños y tipos. Al principio las secciones digitales serán combinadas en una red en estrella pero más adelante se efectuará un cambio a red en polígono.

### IV.2.3 Planificación de Transmisión

El equivalente de referencia es el parámetro más importante para la planificación de transmisión. CCITT recomienda no solo los límites superiores sino también los valores medios para los equivalentes de referencia nacionales. El valor medio del equivalente de referencia de emisión (SRE) está entre 10 y 13 dB y el de recepción (RRE) entre 2.5 y 4.5 dB. Por lo tanto el equivalente de referencia medio efectivo para conexiones internacionales será de 13 y 18 dB.

La planificación de transmisión es una red que se está desarrollando según el principio de superposición. Con la introducción de PCM en las vías más largas entre las centrales locales, los equivalentes de referencia para las conexiones más largas serán reducidos. El desarrollo futuro con la introducción de concentradores digitales junto con la conmutación y transmisión digital, dará a más abonados un valor más bajo en SRE y RRE. Cuando introduzcan aparatos telefónicos digitales, se pueden introducir los equivalentes de referencia para éstos de un valor apropiado, que ofrezca un valor mejor para distribución de los equivalentes de referencia. Cuando se llegue a la meta de la digitalización total, es decir -- cuando toda la conmutación y la transmisión sea digital, todos los abonados tendrán valores idénticos de SRE y de RRE.

La substitución de una central analógica por una digital conservando los eslabones de transmisión analógicos, es equivalente a la introducción de un eslabón de transmisión extra. Si los eslabones analógicos son de dos hi

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALAR DE LA BIBLIOTECA**

los, la central digital formará un bucle pequeño de cuatro hilos, donde ha de mantener la estabilidad.

#### IV.2.4 Señalización

Una red digital, superpuesta o queemplaza a la red analógica existente, ha de usar la señalización por canal común (CCS).

La cantidad de equipo de señalización para colaborar con la red analógica existente, se minimiza si la interfaz entre la red analógica y la digital no es atravesada más que una vez para una llamada individual. También se reduce la cantidad de equipo de señalización si la colaboración puede llevarse a cabo en los niveles más altos de la red. Esto significa un uso mejor del equipo y además posibilita el evitar por completo la señalización MPC en centrales digitales en niveles más bajos.

En una vía PCM entre una central digital y una central SPC analógica, se ha de usar el mismo sistema CCS - que en la red digital. En caso de eslabones de transmisión analógica se puede usar una versión analógica del sistema CCS.

En una vía entre una central digital y una central analógica no SPC, se prefiere PCM junto con un tipo apropiado de señalización de canal asociado.

El sistema de señalización entre la central local digital y un concentrador, depende sumamente del sistema de conmutación. Puede estar basado en los mismos princi-

plos usados en el sistema CCS para centrales autónomas.

#### IV.3 UNA RED COMPLETAMENTE DIGITAL

Una red completamente digital implica la penetración de la transmisión digital hasta el nivel del aparato telefónico individual, donde se realiza la conversión analógica/digital. Como ya se ha mencionado esta penetración es a largo plazo. Aparte de los problemas técnicos y económicos, es deseable una estandarización internacional antes de que tenga lugar una introducción en gran escala de teléfonos digitales. En la fig. 4.4 se muestra un modelo de una red completamente digital, aplicado a una área de centrales múltiples.

La red consiste en selectores de grupo de central local grandes, conectados a una estructura de polígonos, que controlan una cantidad de concentradores digitales, los cuales pueden estar concentrados a distancia o colocados con los selectores de grupo. Los concentradores con su selector de grupo forman una estructura de estrella. El acceso a la red interurbana se arregla mediante una central interurbana digital. La conversión analógica/digital, usando por ejemplo PCM o modulación delta, se realiza canal por canal en el aparato del abonado.

#### IV.4 RELOJES Y METODOS DE SINCRONIZACION DE RED

La transmisión y conmutación de los bits a través de la red se llevan a cabo con una frecuencia específica, la velocidad de bits, que es generada por relojes de centrales. La sincronización de la red es una expresión

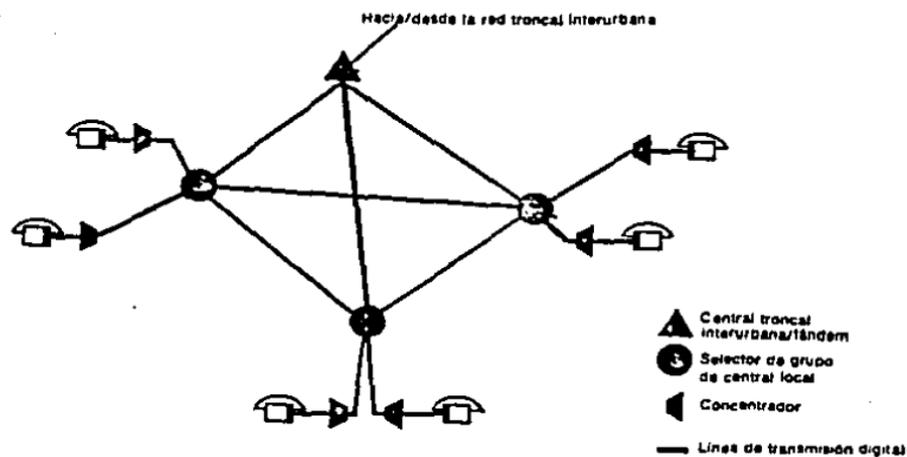


Fig. 4-4 Una red de centrales múltiples competemente digital. La conversión analógica/digital se efectúa en el aparato del abonado

colectiva para todas aquellas medidas que aspiran a originar y mantener una velocidad de bits común para todas las centrales digitales y evitar como resultado, que los deslizamientos deterioren la calidad de transmisión fuera de límites aceptables.

El problema de la sincronización de la red básicamente es el mantener un número de relojes interconectados sincrónicamente entre sí.

Un reloj se define aquí como una fuente de frecuencias conectadas a un divisor o contador. El reloj proporciona una base de tiempos para controlar la temporización de la red de conmutación de la central digital.

#### IV.4.1 Parámetro del Funcionamiento de los Relojes

Los dos parámetros más importantes para las características del funcionamiento de relojes son la precisión y la estabilidad.

-Precisión: (A).- Es el grado al cual la frecuencia de un reloj corresponde a la frecuencia de un estándar primario. Tal estándar es el que tiene la precisión más alta.

-Estabilidad: (S).- Es el grado al cual un reloj producirá la misma frecuencia durante un período de tiempo una vez establecida la operación continua. Es importante -- distinguir entre el concepto de estabilidad a corto plazo y estabilidad a largo plazo. La primera es una variación al azar de la frecuencia y la segunda es un cambio sistemático de la frecuencia.

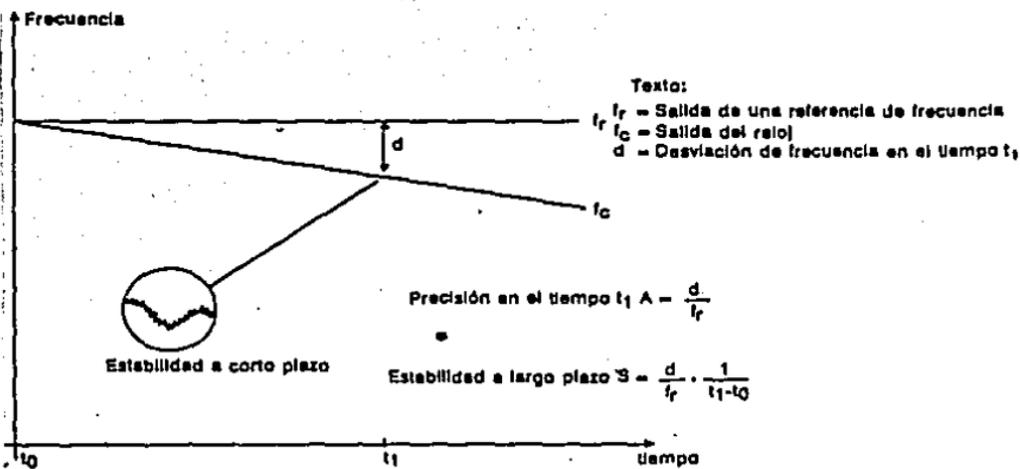


Fig. 4-3 Definiciones de precisión y estabilidad de un reloj con desviación de frecuencia negativa constante

En la fig. 4.5 se da una presentación de los conceptos de precisión y estabilidad. Para simplificar más estos conceptos podemos determinar la precisión y estabilidad de frecuencia de la siguiente manera:

Precisión en el tiempo  $t_i A = d/fr$

Estabilidad a largo plazo  $S = (d/fr) \cdot (1/(t_1-t_0))$

donde:

fr = Salida de una referencia de frecuencia.

d = Desviación de frecuencia en el tiempo  $t_i$

#### IV.4.2 Tipos de Relojes

Como generadores de frecuencia en los relojes se usan fuentes automáticas y cristales de cuarzo. Entre estos dos tipos hay diferencias fundamentales. La frecuencia de los relojes de cristal es lo bastante incierta para que requiera atención. Afortunadamente, puesto que el cambio de frecuencia en los relojes de cristal es muy estable y su comportamiento pronosticable con seguridad, pueda ser estimado con precisión. Tales estimaciones se pueden usar después para reajustar la frecuencia precisa.

Los relojes atómicos están representados por dos tipos: el patrón de haz de Cesio (reloj Cs) y la célula de vapor de Rubidio (reloj Rb).

-Los relojes de Cesio generalmente tienen una estabilidad a corto plazo limitada. Los relojes de Cesio típicos son menos estables que los de Rubidio durante intervalos de

tiempo menores que unos pocos de cientos de segundos. Sin embargo el oscilador de haz de Cesio tiene una estabilidad a largo plazo muy alta.

-La célula de vapor de Rubidio es más conveniente en cuanto a costo y tamaño que los relojes Cs. No obstante los relojes de Rubidio tienen una estabilidad a largo plazo generalmente un orden de magnitud por debajo de los de Cesio y nominalmente  $5 \times 10^{-11}$  por mes.

La discordancia en las frecuencias de los relojes de central, las variaciones de las demoras de transmisión y la fluctuación, pronto comenzarán a influir en el flujo de información entre los abonados causando muestras que se han de suprimir o repetir. Esto puede ser incluso que la conexión sea inservible. Por lo tanto es evidente que se ha de hacer algo si se han de evitar excesivas distorsiones de deslizamientos. Existen dos soluciones diferentes de red: Plesiócrons y Sincrona.

- Una red telefónica plesiócrons es una red en la cual los relojes que controlan las centrales son independientes unos de otros; no obstante su precisión de frecuencia se mantiene dentro límites estrechos especificados.

- Una red telefónica sincrona es una red en la cual los relojes están controlados de forma que andan, idealmente, a velocidades idénticas o a la misma velocidad media, con un desplazamiento de fase relativamente limitado.

Generalmente una red sincrona se puede considerar - como un sistema de control grande con la complejidad en aumento desde el método de control llamado principal-subordinado al método de control llamado jerárquico principal-subordinado a sincronización mutua con control uniterminal a sincronización mutua con control biterminal.

El método principal-subordinado es fácil de introducir y no tiene problemas de estabilidad. No obstante implica peligros para la fiabilidad, ya que depende de un reloj principal único. Por lo tanto los relojes en las centrales subordinadas han de tener una estabilidad relativamente alta de forma que el sistema pueda subsistir durante la falla del principal. La técnica del principal-subordinado es particularmente atractiva en sistemas con pocas vías alternativa, una red en estrella.

El método jerárquico principal-subordinado tiene mejor fiabilidad, es menos sensible a fallas de eslabones y es adecuado para cualquier tipo de red.

Se ha demostrado teóricamente que todos los métodos de sincronización son factibles en el sentido de que se mantendrá una frecuencia de sistema estable. El criterio de estabilidad de frecuencia para sistemas de control mutuos es posible de cumplir y se hará más adecuado ya que el número de centrales crece.

#### IV.5 CONSECUENCIAS Y CAUSAS DE UN DESLIZAMIENTO

Los deslizamientos en las corrientes de bits se experimentan de manera bastante diferentes en los distintos

servicios de telecomunicación tales como habla, datos, video, etc. Esto es debido entre otras cosas, a la diferencia en tre la redundancia de codificación y la velocidad de bits. A mayor velocidad de bits mayor impacto.

El efecto de un deslizamiento en algunos de los servicios se describe a continuación:

- El habla codificada en PCM tiene sensibilidad muy baja a causa de la alta redundancia. Un deslizamiento - produce simplemente un impulso de ruido (a menudo inaudible) en la señal analógica decodificada.

- La señalización por canal común puede ser diseñada de manera que cuando sea afectada por un deslizamiento la probabilidad de que una señal sea mal interpretada, o pérdida, sea en extremo baja. En general la ocurrencia de un deslizamiento sólo tiene por consecuencia una demora de la señal, la cual no tiene una influencia significativa en las funciones de señalización de la red.

- La transmisión de datos (usando un canal de 64 -- Kbits/seg.), tiene una redundancia considerablem ente menor que el habla PCM y por lo tanto no es tan tolerante a deslizamientos.

- El facsimil, dependiendo de la técnica de codificación empleada, puede ser afectado por un deslizamiento - con un ligero desplazamiento del resto de la línea que se está explorando. Esto significa que el deslizamiento incluso puede destruir toda la imagen y puede ser necesaria una retransmisión. En la fig. 4.6 se puede ver el efec-

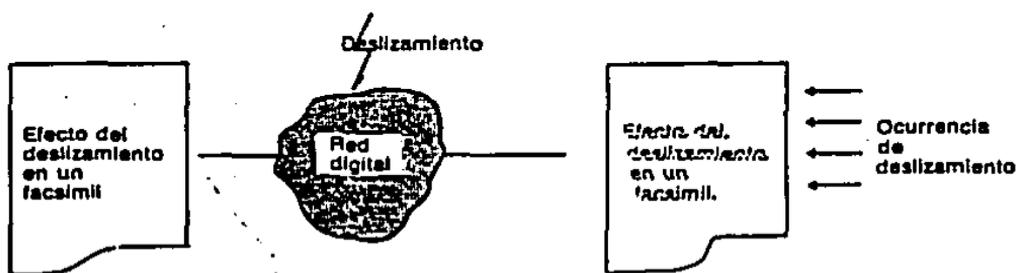


Fig. 4-6 Ejemplo del efecto de un deslizamiento en una serial de facsimil

to del deslizamiento en un tipo de transmisión de facsimil.

Si existen relojes perfectamente estables, ajustados inicialmente a la misma frecuencia y si están interconectados vía medios de transmisión ideal, una vez conectados trabajarían indefinidamente con una relación de fase constante y no podría ocurrir ningún deslizamiento. Por desgracia cualquier red digital realizable sufre de un número de limitaciones, que si son compensadas originan deslizamientos.

- Relojes imperfectos.- La precisión y estabilidad de frecuencias limitadas tienen por resultado un aumento de diferencia de fase, que produce a la larga un deslizamiento como consecuencia de exceso de búffer. Consideremos por ejemplo dos centros que intercambian bits a una velocidad de 2 Mbits/seg. Los relojes que controlan estos centros pueden mostrar una precisión de frecuencia del orden de entre  $10^{-7}$  para un oscilador de cristal y  $10^{-12}$  para un reloj atómico. La diferencia de fase expresada en bits, acumulada durante un día de operación y el número de deslizamientos usando un búffer de 8 bits, sería:

VELOCIDAD DE IMPULSOS	PRECISION DE FRECUENCIA.	BITS ACUMULADOS POR DIA.	DESGLIZAMIENTOS POR DIA (BUFFER DE 8 BITS).
$2 \times 10^{-6}$	$10^{-7}$	17 280	2 160
$2 \times 10^{-6}$	$10^{-12}$	0.17	0.02

- Variación de demora de transmisión.- Debido a cambios en la temperatura ambiente, las características de propagación de los medios de transmisión serán afectadas. Como un resultado de la demora creciente, la diferencia de fase en terminales de central de la vía de transmisión, crecerán simultáneamente y si son bastante grandes, puede causar que los dos buffers se vacíen, produciendo deslizamientos, aunque no exista diferencia en las salidas del reloj. La diferencia de fase debida a éste fenómeno, expresada en bits, es proporcional a la velocidad de bits, distancia y cambio de temperatura.

También se encuentran variaciones de demora de transmisión cuando se emplea un satélite para la creación de una vía de transmisión.

- Fluctuación.- Las variaciones no deseadas en los tiempos esperados de llegada de bits al terminal de central se llaman fluctuación. La fluctuación es causada por órganos en el eslabón de transmisión por ejemplo repetidores, equipo de justificación en múltiplex digitales.

Una forma de fluctuación de muy baja frecuencia (nominalmente menos de 0.01 Hz) ha recibido el nombre de oscilación. Una oscilación es provocada por la variación de demora de transmisión y también por el equipo de control de frecuencia de reloj.

## CAPITULO V

V.1 INTRODUCCIONV.1.1 HistoriaV.1.2 Características generales del sistema 1240V.1.3 Adaptabilidad a los diferentes sistemasV.1.1 Historia

La ITT ( International Telephone and Telegraph ), inició el desarrollo del sistema 12 ( 1240 ) a mediados de los años 70's.

Un procesador del sistema 12 fue PCM-B. Tres cambios experimentales fueron realizados en los años 1976 - 1977 en Carleroi ( Bélgica ) Madrid ( España ) y Roma ( Italia ).

El desarrollo del sistema 12 ha venido en la siguiente forma:

Sistema 1210. Cía Eléctrica del Norte DSS ( Sistema de Conmutación Digital ). La primera central fue puesta en operación en U.S.A. en 1978..

Sistema 1220. Central de Tránsito. Basada en la Metaconta y desarrollada por la Bell Telephone, la primera fue instalada en Bolonia ( Italia ).

Sistema 1230. Central Local, desarrollado por Lorenz en Alemania. Control Centralizado.

Sistema 1240. Sistema de Conmutación con Control Distribuido.

La Central Digital ITT ( 1240 ) representa un cambio fundamental en sistemas de distribución de información. Por haberse diseñado para operar en un ambiente futuro considerablemente distinto a lo conocido, hasta ahora la ITT 1240 incorpora conceptos básicos nuevos.

### Red 2000

La revolución de la información se halla aún en su infancia y se espera tendrá cambios enormes antes de alcanzar la madurez.

Nadie puede predecir detalladamente hasta donde nos conducirá finalmente, pero los grandes rasgos de su alcance son cada vez más evidente.

Red 2000 es un concepto cuidadosamente estudiado de la red del futuro, el sistema de distribución de información hacia el cual todas las redes actuales se dirigen. Representa, en consecuencia, una meta para los planificadores de redes, quienes tienen que tomar hoy decisiones congruentes con las necesidades del mañana.

### Datos

Habr  un gran aumento de tráfico, tanto de voz como de datos, a corto plazo, y la tasa de crecimiento continuará avanzando aceleradamente.

### Comunicación Digital

El sistema de distribución de información del futuro será completamente digital. Las técnicas digitales se optimizan para transmisión y conmutación de datos y mediante Modulación de Pulsos Codificados ( PCM ) también pueden dar transmisión de alta calidad. En cambio las técnicas analógicas no ofrecen el mismo grado de versatilidad.

### Distribución

El sistema de distribución de información operará bajo control totalmente distribuido. La potencia de procesamiento y control será tanta como sea posible en la práctica colocarla en las terminales, en lugar de concentrarse en una unidad central. Así se hará con el fin de incrementar la confiabilidad, reducir costos y permitir una adaptación suave y fácil a las nuevas demandas y la más reciente tecnología.

#### V.1.2 Características Generales del Sistema 1240

La Central Digital ITT 1240 es:

- Completamente Digital

- Totalmente Distribuida
- A Prueba de Fallas
- Futuro Asegurado
- De Rango Completo

- Completamente Digital

La ITT 1240 es completamente digital, a fin de manejar la carga creciente de tráfico de datos que será característica inevitable del sistema de entrega de información del futuro. Y también es digital para aprovechar al máximo los avances tan definitivos que son de esperarse en microcircuitaría para Tecnología Digital.

La completa digitalización de toda la red permitirá el más alto grado posible de integración voz/datos y hará mejorar la calidad y confiabilidad de la transmisión, principalmente por la relativa inmunidad de los sistemas digitales a interferencias y degradación a largas distancias.

- Totalmente Distribuido

Existen dos tipos de control utilizados en los equipos de conmutación: Control Centralizado y Totalmente Distribuido.

Los diseñadores de la ITT han roto con la práctica convencional de centralizar la mayor parte de la lógica de control, o toda ella, en un solo procesador central

grande.

El advenimiento de microprocesadores poco costosos y sus memorias asociadas de bajo costo, hacen posible ahora, dividir modularmente el control a través del Sistema; ya no hay un punto unido en el sistema en el que se almacena la mayor parte de la memoria o en el cual se ejecutan la mayoría de las funciones lógicas.

En una configuración de control centralizado, si la función de control no opera el sistema entero queda inoperante. Cuando el control se distribuye en un gran número de módulos individuales, el mal funcionamiento en cualquier módulo sólo tendrá un efecto marginal sobre el sistema total, sin reducir el servicio por debajo del límite aceptable.

El control totalmente distribuido y la modularidad ofrecen además otras ventajas:

- 1) Mayor facilidad en la planeación de la red.
- 2) Aprovechamiento de su capacidad.
- 3) Errores significativos en Software.
- 4) Abatimiento de costos.
- 5) Incrementar la capacidad de procesamiento en proporción a su nuevo tamaño y tráfico.

- A Prueba de Fallas

Una red de telecomunicaciones se considera a salvo

de fallas si el funcionamiento indebido de cualquier de sus elementos operativos no surte ningún efecto o casi ninguno sobre el sistema global. Esto puede lograrse mediante el control distribuido. Con el control distribuido, en la mayoría de los casos un máximo de 60 líneas o 30 troncales, pueden dejar de dar servicio a causa de una sola falla en cualquier momento dado.

Para obtener una confiabilidad aún mayor, muchas unidades funcionales de la ITT 1240 han sido duplicadas, reduciéndose así el riesgo de inhabilitación del sistema entero, casi hasta cero.

Otros aspectos de este concepto de seguridad en cuanto a fallas, es la confiabilidad de las trayectorias mediante la Red Digital de Conmutación basado en un circuito integrado LSI.

Estos circuitos integrados contienen su propia lógica y memoria y permiten el establecimiento de rutas múltiples por toda la Red de Conmutación Digital.

La falla de cualquiera de los circuitos LSI significa simplemente que a la trayectoria se le asigne otra ruta, a través de otro circuito LSI, este circuito LSI ( DSE ) realiza las 3 funciones siguientes:

- 1) Transmisión de voz y/o datos.
- 2) Selección de trayectorias
- 3) Comunicación entre los microprocesadores distribuidos.

SISTEMA 12 DIGITAL UNIDAD REMOTA DE ABONADO  
8 \* 90 LINEAS

CENTRAL DIGITAL DEL SISTEMA 12  
60 \* MAS DE 100,000 LINEAS  
120 \* MAS DE 60,000 TRONCALES  
25,000 ERLANGS  
750,000 SMCs

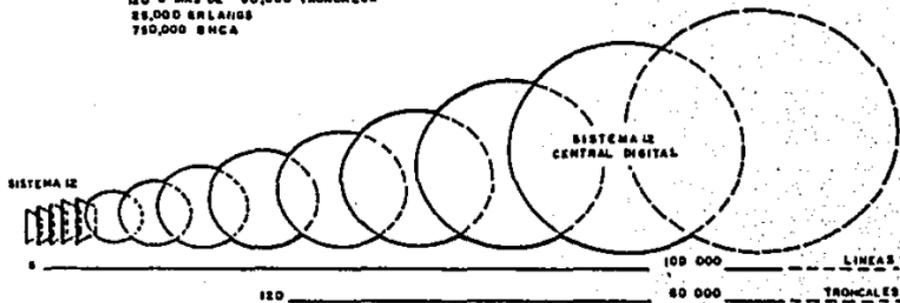


Fig 5.1 SISTEMA 12 - RANGO TOTAL DE APLICACION

### - Futuro Asegurado

La red a futuro será completamente digital y proporcionará servicios tanto de voz como de datos.

Uno de los aspectos más importantes del concepto Futuro Asegurado de la ITT 1240, es la habilidad de la central para mantenerse al día con los desarrollos más recientes tanto del Hardware como del Software. Cada módulo del Hardware de la ITT 1240, tiene su propio módulo de Software con un interfase fijo hacia el resto del sistema. Por lo tanto, para introducir un nuevo módulo de Hardware, solo es necesario cambiar su módulo asociado de Software.

El Software está estructurado para que las reformas no requieran una recomprobación extensa del Software ya existente.

### - De Rango Completo

El S-1240 abarca toda la gama de aplicaciones de controles locales, tándem y de cobro, desde la más pequeña unidad de abonados remotos hasta la central más grande local o de cobro con más de 100,000 - líneas o 60,000 troncales ( ver fig. 5.1 ), todas ellas con los mismos módulos de Hardware con la misma arquitectura de control distribuido. Además, el tipo más pequeño de central puede expandirse, fácil y económicamente, hasta el tamaño más grande, usando los mismos módulos de Hardware y Software.

El S-1240 comprende dos productos como sigue:

+ Unidad Digital ITT-1240 de Abonados Remotos ( RSU ).

- PCM de 32 o de 24 canales
- De 6 a 480 líneas
- Con 1 o 2 troncales digitales a la central digital matriz ITT 1240
- Con 8 puntos de multiconexión, para la distribución hasta de 480 líneas

La unidad digital de Abonados Remotos ( RSU ), funciona con el fin de convertir a digitales las señales analógicas procedentes de los abonados y para concentrar señales digitales que después se transmiten a una central matriz por conducto de uno o dos enlaces de transmisión PCM.

#### + Central Digital ITT 1240

- Local, tándem, Local/tándem, tarificación
- PCM de 32 o de 24 canales
- 60 o más de 100,000 líneas
- 120 o más de 60,000 troncales
- Más de 25,000 Erlangs de conmutación
- Más de 750,000 intentos de llamadas en horas de máximo tráfico

El centro de operación y mantenimiento ( S-1290 ) puede administrar de manera centralizada varias centrales digitales ITT - 1240 y varias unidades digitales ITT 1240 de Abonados Remotos.

#### V.1.3 Adaptabilidad a los Diferentes Sistemas

Las administraciones telefónicas de todo el mundo se han comprometido en la implementación de la IDN ( International Digital Network ) para el tráfico de voz. El Hardware digital de la IDN, que usa la tecnología de los semiconductores ofrece ventajas muy claras de costo y funcionamiento, respecto del equipo tradicional.

Conforme las centrales digitales, vayan sustituyendo a las centrales analógicas, serán menos las conversiones de analógicas a digital que resulten indeseables o costosas. El progreso de la IDN trae dos características que son cruciales para los planes a largo plazo de una administración.

- IDN significa enlaces totalmente digitales entre centrales.
- IDN significa canales de comunicación de 64 bits/seg. por toda la red, en comparación con un ancho de banda estándar de 3 KHZ en las redes analógicas.

Eventualmente, la red digital extenderá la operación digital al bucle de abonado y ése será su primer paso hacia la ISDN que es la Red Digital del Abonado. La CCITT está estudiando un bucle de abonado de 80 Kbits/seg que consta de 3 canales:

- Uno de 64 Kbits/seg para voz o datos de alta velocidad.
- Uno de 8 Kbits/seg para señalización con la central, alarmas y telemetría.
- Uno independiente de 8 Kbits/seg para datos de baja velocidad.

Un bucle de abonado digital así, podrá manejar la mayoría de los equipos terminales en proyecto:

- De teléfonos
- De facsímiles
- Terminales de video e interactivos, para comunicación con computadoras y bancos de datos.
- Terminales de propósitos múltiples

Al integrar voz y datos, se logrará economías importantes respecto a las actuales redes múltiples

y se beneficiarán tanto la administración como el usuario.

## V.2 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA - 1240

- V.2.1 Distribución
- V.2.2 Elementos de conmutación Digital ( DSE )
- V.2.3 Red de Conmutación Digital ( DSM )
- V.2.4 Elemento de Control Terminal ( TCE )
- V.2.5 Elemento de Control Auxiliar ( ACE )
- V.2.6 Procesador B y Memoria
- V.2.7 Interfase Terminal
- V.2.8 Módulos

### V.2.1 a) Distribución

La implementación del control completamente distribuido ( fig. 5.2 ) implica cierto número de nuevos conceptos que permiten a un gran número de microprocesadores ubicados por toda la central, el control tanto de un grupo pequeño de dispositivos terminales como el acceso a la red asociada de dispositivos terminales, sin la ayuda de ningún otro procesador.

Los conceptos más importantes son una red de conmutación que puede controlarse desde sus puntos extremos sin necesitar un control central para establecer y mantener trayectorias y una estructura de software que permite a cierto número de microprocesadores autónomos cooperar en el manejo de todas las funciones

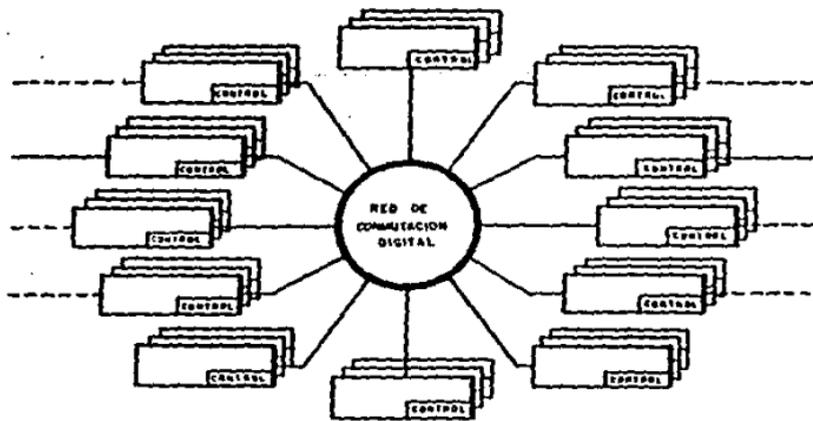


FIG 5.2 CENTRAL DIGITAL DEL SISTEMA 12

de la central. Esta estructura de software, requiere que cada microprocesador pueda establecer trayectorias en la red de conmutación, tanto para conexiones de terminal como para pasar información de control a otros microprocesadores.

Puesto que no se proporciona ninguna facilidad por separado para la comunicación de datos entre microprocesadores, éstos tienen que depender exclusivamente del establecimiento de trayectorias a través de la red de conmutación, de completar cualquier función de control deseada. Es este aislamiento físico de cada microprocesador respecto de los demás, lo que le permite a la estructura de control totalmente distribuido, evolucionar eventualmente hasta a un microprocesador por línea, para soportar facilidades avanzadas de control de terminales.

La Red de Conmutación Digital o DSN, no solo sustituye a la Red de Conmutación Convencional de Control Centralizado, sino también a los complejos sistemas con bus de intercomunicación que requiere el control centralizado para comunicarse y controlar uno de los dispositivos individuales en las terminales.

Las funciones principales de la DSN son responder a comandos de los microprocesadores para establecer conexiones entre terminales de abonado o troncal, transmitir digitalmente voz y datos y transmitir mensajes entre los microprocesadores, cada unidad funcional de la DSN contiene en si misma toda la lógica necesaria para actuar como una unidad independiente.

La Red de Conmutación Digital se basa en un solo circuito LSI. Este circuito es llamado Elemento de Conmutación Digital ( DSE ).

#### b) Modularidad

La central digital ITT 1240 ( fig. 5.3 ), tiene aspectos de una variedad de módulos conectados a una red central de conmutación digital. La DSN es el medio empleado para efectuar esta comunicación.

Gran parte de la lógica para la transmisión de voz y datos se aloja fuera de la DSN y dentro de los módulos.

Cada módulo del sistema ITT 1240 consta de dos partes: La terminal y el elemento de control. Cada tipo de terminal realiza un servicio distinto, por ejemplo, el manejo de líneas analógicas, líneas digitales, troncales analógicas, troncales digitales, etc.

En contraste, lo que hace el elemento de control de cada módulo es controlar la operación de la terminal y conectarla a la DSN. Esto se efectúa mediante formatos de mensajes estandarizados; o sea, sin importar en qué módulo se origina un mensaje, tendrá un formato estándar respecto de la DSN.

El elemento de control de cada módulo consiste en; un interfase de terminal, microprocesador y una memoria. Dependiendo de cual módulo se trate, puede haber un volumen mayor o menor de memoria; en todos sus demás



aspectos, todos los Elementos de control de terminal son exactamente iguales.

### V.2.2 Elementos de Conmutación Digital ( DSE )

Es de particular interés el diseño de la red de conmutación digital o DSN (Digital Switching Network) recientemente patentados por ITT y desarrollada para usarla en las Centrales ITT 1240. La DSN se constituye con elementos de conmutación digital o DSE idénticos, cada uno de los cuales tiene 16 puertos compuestos por una entrada y una salida independientemente de troncales PCM de 32 canales, llevando 16 bits por palabra.

El DSE realiza conmutación espacial entre puertos y conmutación temporal entre canales, permitiendo a cada uno de los 512 canales entrantes ( 32 X 16 ), conectarse a cualquiera de los 512 canales salientes.

Cada elemento de conmutación incluye circuitos de control y memorias para establecer y mantener una conexión entre todos los canales entrantes y sus canales salientes asignados.

Para establecer una conexión, una palabra de comando es enviada por un procesador de origen y a la periferia de la DSN; el elemento de conmutación ( fig. 5.4 y 5.5 ) reconoce la palabra como un comando y establece una conexión entre el canal entrante en que se recibió el comando y el canal saliente cuya dirección estaba dentro de la palabra de comando. Una conexión establecida puede ser cancelada por otro comando del

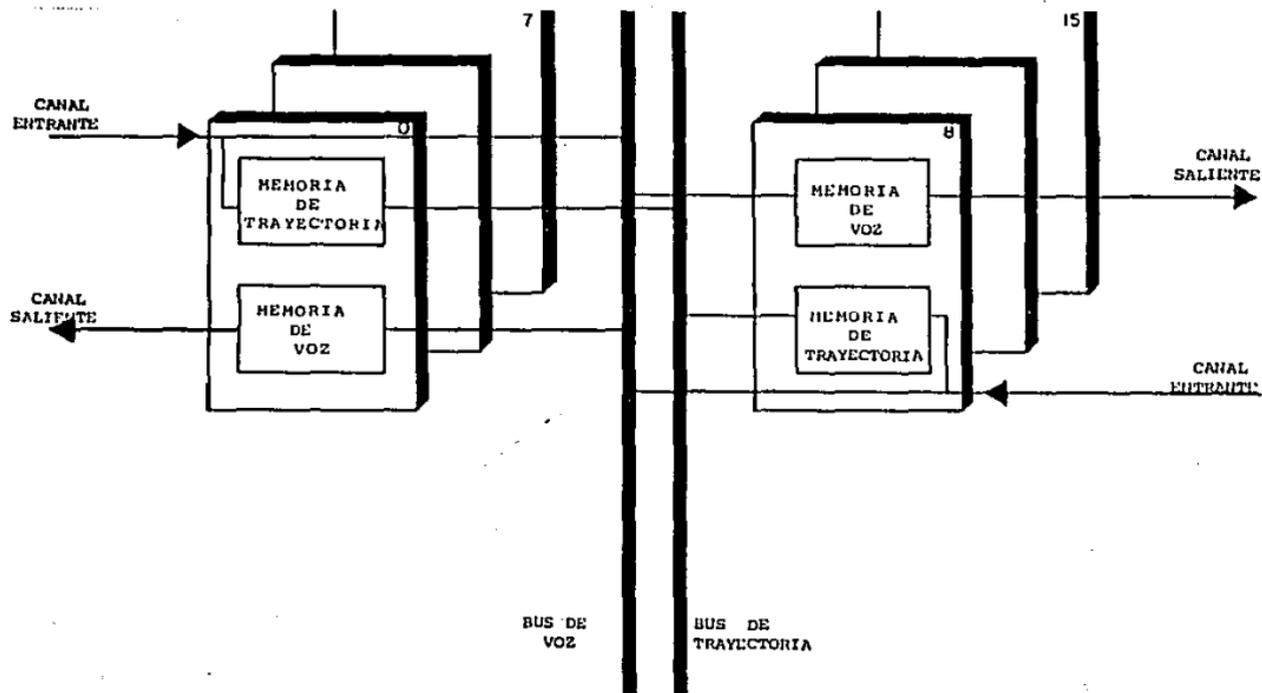
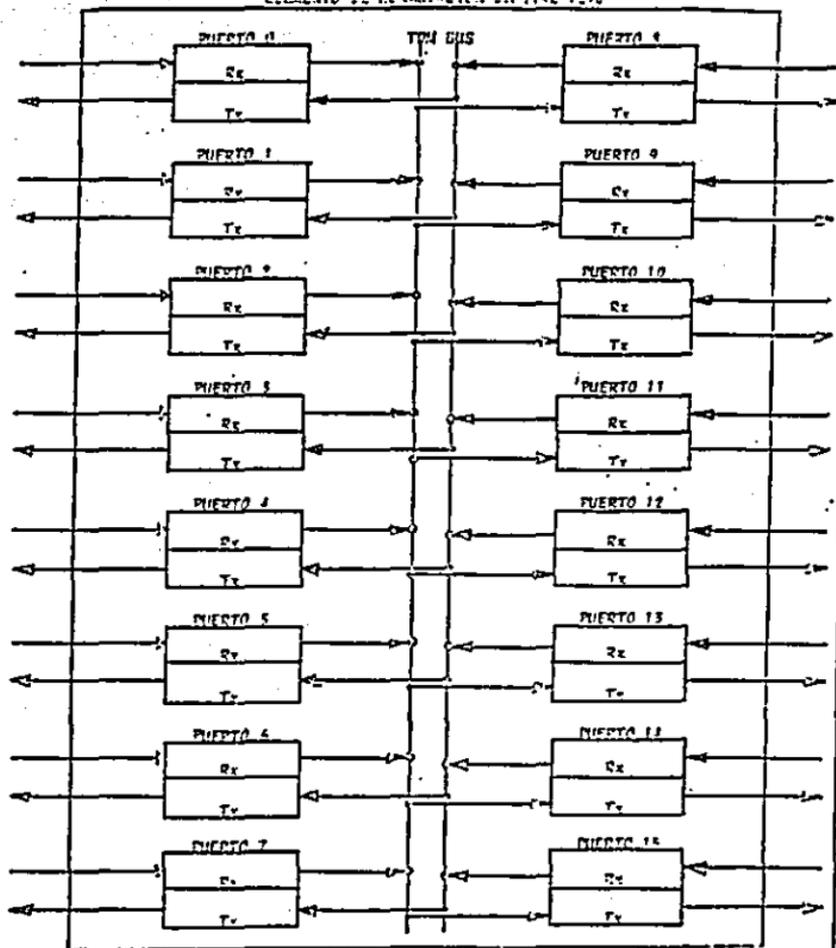


FIG 5.4 ELEMENTO DE CONMUTACION DEL SISTEMA 1240

## ELEMENTO DE CONEXIÓN DIGITAL 1210



procesador, el cual regresa los canales del elemento de conmutación a un estado desocupado, dejándolo disponible para nuevas conexiones. Además si un elemento de conmutación falla al reconocer un comando, se genera y envía al procesador de origen una señal de no - reconocimiento y un nuevo intento se hace.

### V.2.3 a) Red de Conmutación Digital ( DSN )

Las funciones principales de la DSN ( Red de Conmutación Digital ) son:

- A) Responder a los comandos de los microprocesadores para establecer conexiones entre terminales de abonado o troncal.
- B) Transmitir digitalmente voz y datos.
- C) Transmitir mensajes entre microprocesadores.

Aún cuando toda la DSN se contruye con los mismos elementos de conmutación digital ( DSE ), está dividida en 2 partes diferentes llamados:

1. Conmutador de Grupo
  2. Conmutador de Acceso ( Access Switch ) ( AS ).
1. El conmutador de Grupo consiste hasta de 4 ramales independientes llamados planos. El número de planos paralelos depende de las necesidades de tráfico, mientras más planos haya, más volumen de tráfico puede atender

la DSN. Para todos los fines prácticos, cuatro planos son suficientes para manejar cualquier requerimiento de tráfico.

2. Los conmutadores de Acceso son llamados así porque dan acceso a los planos del Conmutador de Grupo. Es decir, su función primaria de los conmutadores de acceso es distribuir el tráfico que entra a la DSN entre los planos del Conmutador de Grupo. El conmutador de Acceso aporta los puntos de conexión entre el Conmutador de Grupo y los diversos módulos de la ITT 1240 ( fig. 5.6 ).

Debemos recordar que los Conmutadores de Acceso y de Grupo se componen exactamente del mismo Elemento de Conmutación Digital ( DSE ). La única diferencia estriba en las funciones que desempeñan; por eso es que los conmutadores de Acceso siempre se instalan por pares a fin de proporcionar trayectorias duplicadas al conmutador de grupo y a eso se debe también que los ( DSE ) del conmutador de grupo estén configurados en planos para manejar distintos requerimientos de tráfico.

#### V.2.3 b) Establecimiento de Trayectorias

El establecimiento de trayectorias es también una función distribuida que no depende de un procesador central.

Cuando queremos establecer una trayectoria entre

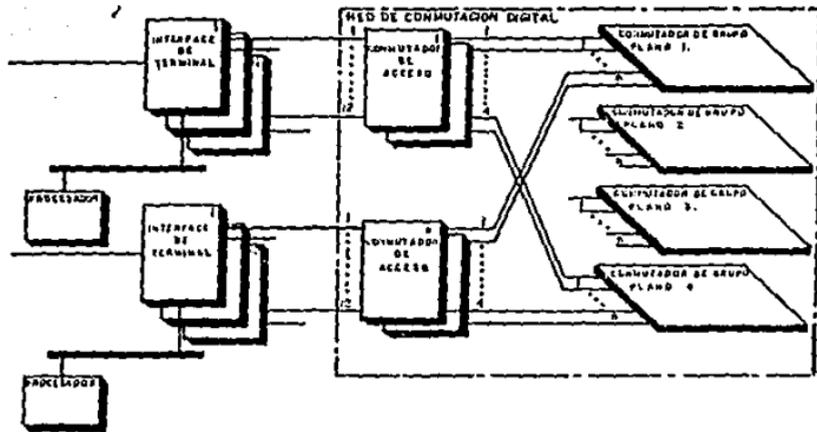
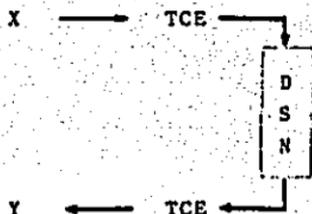


FIG 5.6 CONEXION ENTRE EL CONMUTADOR DE GRUPO Y DIVERSOS MODULOS

2 terminales ( X y Y ) ésto involucra a:

TCE ( Elemento de Control Terminal )



Consideramos por ejemplo:

Queremos preparar una trayectoria a través de la DSN completa de 4 etapas ( Conmutadores de Acceso más las 3 etapas de Conmutadores de Grupo ), es importante tener en mente que un circuito de comunicaciones completo consta de dos trayectorias simplex:

- a) Una que se establece desde la terminal de origen " X " hasta la terminal " Y ".
- b) Otra diferente que se establece desde la terminal " Y " hacia " X ", o sea de regreso.

El proceso de establecer las trayectorias de  $X \rightarrow Y$  se controla mediante órdenes expedidas por el TCE<sub>X</sub> y en viceversa  $Y \rightarrow X$  por el TCE<sub>Y</sub>.

Para la conexión entre X y Y, el número de equipo terminal " Y " es utilizado por el TCE<sub>X</sub> a fin de confi-

gurar los comandos de establecimiento de trayectoria ( fig. 5.7 ).

El proceso se desarrolla como sigue:

Ejemplo:

Determinar el número máximo de penetración en la red.

Abonado A:  $A_3, B_2, C_7, D_5$

Abonado B:  $A_2, B_0, C_7, D_5$

Donde:  $A_w, B_x, C_y, D_z$  son las etapas es decir:  $A_w \rightarrow$  etapa 0;  $B_x \rightarrow$  etapa 1;  $C_y \rightarrow$  etapa 2;  $D_z \rightarrow$  etapa 3.

y  $W, X, Y$  y  $Z$  son los números que identifican cuales puertos del DSE en cada etapa tendrán que atravesarse a fin de llegar al módulo.

1. La comparación de números de equipo de lados terminales determina hasta donde debe penetrarse en la red, antes de dar vuelta y reflejarse hacia la terminal B.

El TCEX emite dos tipos de comando:

- a) Búsqueda libre
- b) Búsqueda dirigida

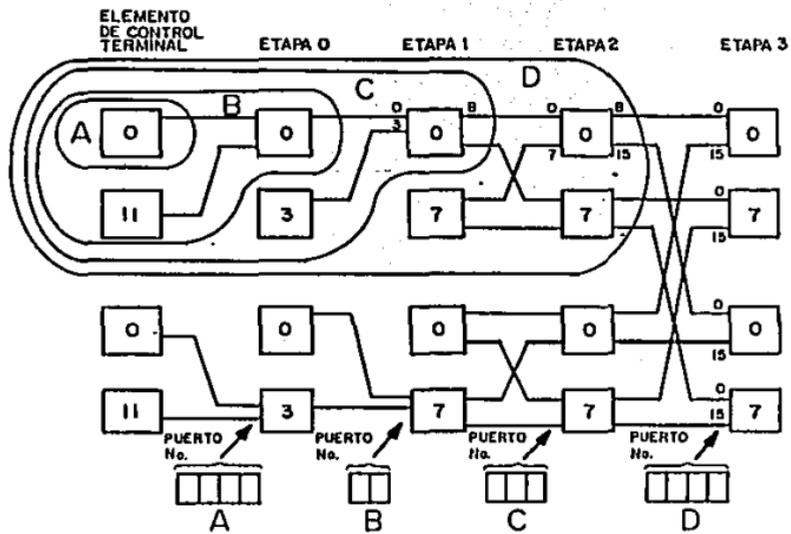


FIG 5.7 ESTABLECIMIENTO DE TRAYECTORIAS EN EL S-1240

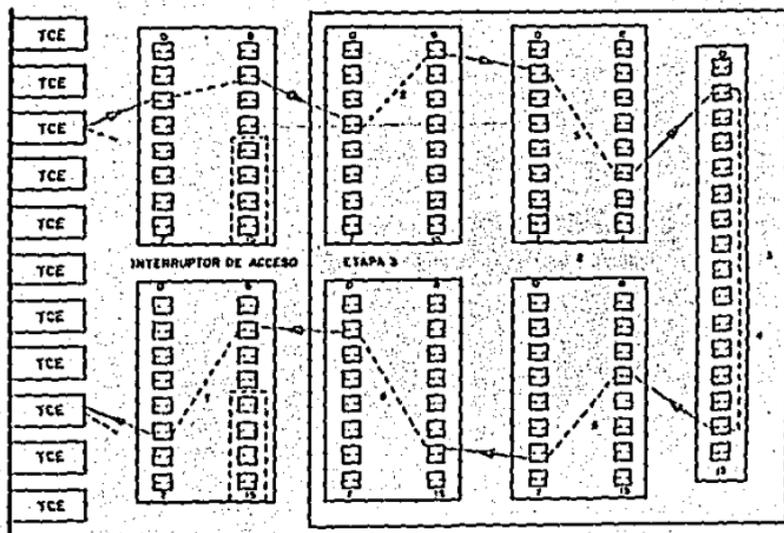


FIG 5.7.1 ESTABLECIMIENTO DE TRAYECTORIAS EN EL S-1240 (BIS)

- a) **Búsqueda Libre:** Establece la ruta en cada DSE hasta la etapa que ocurre la reflexión.
- b) **Búsqueda Dirigida:** Establece la ruta desde la reflexión hasta " Y ".

El TCEX le ordena al ASX que escoja cualquier puerto ( 12 - 15 ) y cualquier canal en el puerto escogido para que establezca una trayectoria con la 1ª etapa.

Con esto al DSE de la 1ª etapa se le ordena que escoja cualquier puerto ( 8 - 15 ) y cualquier canal que establezcan una conexión de trayectoria con la etapa.

2. Cuando la trayectoria haya penetrado hasta la etapa requerida, esta trayectoria tiene que ser reflejada en el DSE de etapa 3 que ha sido alcanzado por la Búsqueda Libre.

Ahora el TCEX manda un comando de Búsqueda Dirigida para el reflejo de regreso, hacia la Etapa 2 de la DSN a través de un puerto predeterminado que conduzca a la terminal B y así sucesivamente hasta que llegue a TCEY.

3. Una vez que el TCEX ha establecido una trayectoria simplex completa o sea, hasta la terminal " Y ", le ordena al TCEY que se establezca una 2ª trayectoria por el mismo procedimiento paso

a paso de regreso a la terminal " X ".

### V.2.3. c) Direccionamiento

Todas las terminales dadas en la DSN tiene una dirección de red definida. La dirección determina los puertos en particular que tienen que utilizarse en cada etapa de la DSN, a fin de conectar dos terminales, Aw, Bx, Cy, Dz.

Para determinar hasta donde tiene que penetrar una trayectoria en DSN se compara la dirección de red de la Terminal que llama con la dirección de red llamada.

Por ejemplo 1:

Abonado A: A3, B7, C4, D2

Abonado B: A5, B2, C4, D2

Puesto que hay 2 números de puerto en común, la trayectoria desde la terminal A tendrá que penetrar hasta la Etapa 1 de la DSN antes de ser reflejada de regreso a la terminal que llama.

Ejemplo 2:

Abonado A: A6, B1, C5, D2

Abonado B: A6, B8, C5, D2

Los puertos en las etapas 0, 2 y 3 son idénticos no así en la etapa 1, por lo tanto solo será necesario penetrar hasta la Etapa 1 antes de ocurrir la reflexión.

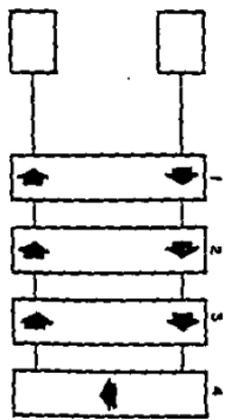
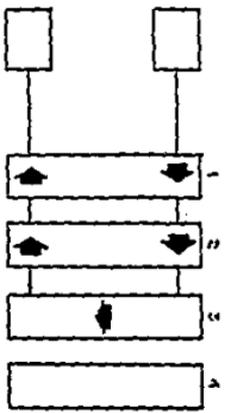
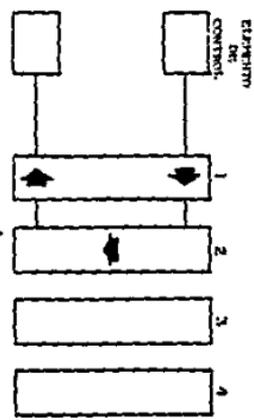
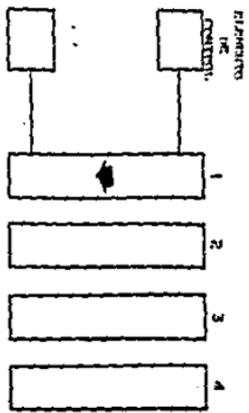


FIG 5.8 TRANSICION A TRAVEZ DE LA OSA

Es precisamente este proceso el que se repite cada vez que se prepara una trayectoria a través de la DSN ( fig. 5.8 )

#### V.2.4 Elemento de Control Terminal ( TCE )

Cada módulo del sistema ITT 1240 consta de dos partes: La Terminal y el Elemento de Control.

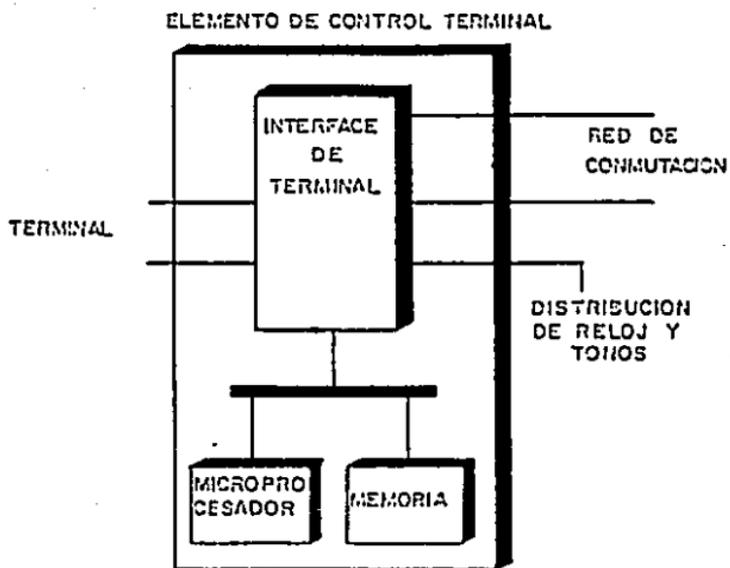
Cada tipo de terminal realiza un servicio distinto ya sea el manejo de líneas analógicas, líneas digitales, troncales analógicas, troncales digitales, etc.

La función del elemento de control de cada módulo ( TCE ), es controlar la operación de la terminal y conectarla a la DSN.

Esto se efectúa mediante formatos de mensajes estandarizados; o sea, sin importar en que módulo se origina un mensaje, tendrá un formato estandarizado respecto a la DSN.

El elemento de control de cada módulo consiste de un interfase de terminal ( TERI ), un microprocesador ( B. Pro ) y una memoria ( B Memory ). Dependiendo de cual módulo se trate, puede haber un volumen mayor o menor de memoria; en todos sus demás aspectos, todos los elementos de control de terminal ( TCE ) son exactamente iguales ( fig. 5.9 ).

#### V.2.5 Elemento de Control Auxiliar ( ACE )



**FIG 5.9 ELEMENTO DE CONTROL TERMINAL**

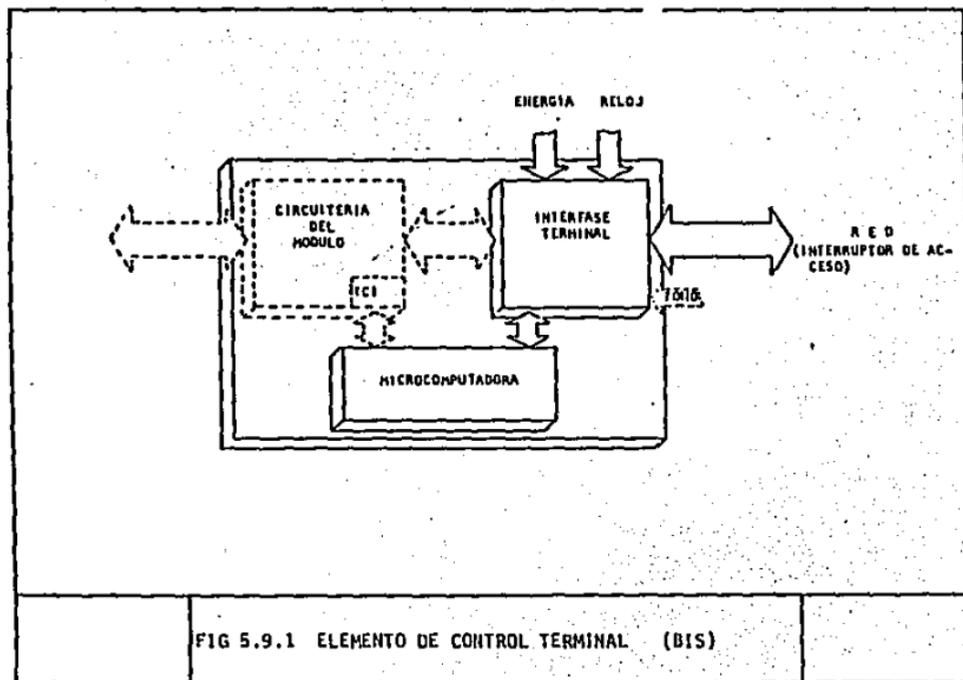


FIG 5.9.1 ELEMENTO DE CONTROL TERMINAL (BIS)

El elemento de control auxiliar aporta niveles adicionales de control distribuido, por medio de un microprocesador, su memoria asociada y un interfase terminal. Se proporciona los elementos de control auxiliar según se requieran, como parte de las unidades de equipo terminal. A cada uno se le asigna una tarea, como por ejemplo procesamiento de llamadas, traducciones, reserva, etc., cargándoseles con el software adecuado.

Se conectan con la DSN y se comunican a través de ella exactamente de la misma manera que todos los demás elementos de control, pero no se hallan conectados a ninguna terminal. El número de estos procesadores en las centrales grandes es aproximadamente de uno por cada 480 " líneas equivalentes " en las que una troncal cuenta como cuatro líneas equivalentes. ( fig. 5.10 ).

#### V.2.6 Procesador B y Memoria

El procesador B es una tablilla de circuito impreso cuya función es procesar la información y tiene dos tipos de aplicaciones:

- 1) Actuar como procesador auxiliar para control de llamada, funciones de administración y mantenimiento.
- 2) Como un procesador terminal en módulos que requieren una capacidad grande de memoria.

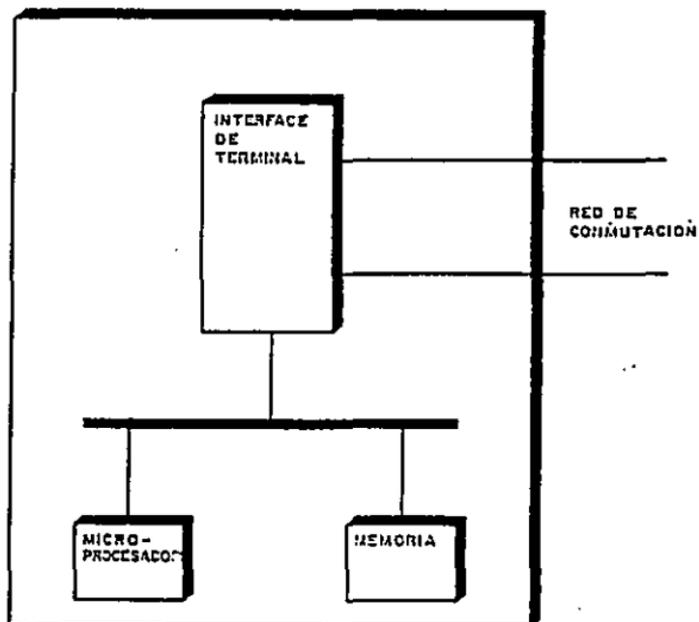


FIG 5.10 ELEMENTO DE CONTROL AUXILIAR

La memoria del procesador comprende 8 Kbytes de ROM contenida en la misma tablilla impresa del procesador y 256 Kbytes de RAM contenida en una tablilla impresa separada. La capacidad de direccionamiento de un procesador es de 1 Mbyte.

La fig. ( 5.11 ) muestra un diagrama simplificado a bloques, del procesador el cual contiene:

- Microprocesador 8086 de 16 bits operando a una frecuencia de 4 MHZ.
- 8 Kbytes de ROM o EPROM.
- 256 Kbytes de RAM dinámico.
- Sistema de interrupciones programables y reloj de sanidad.
- Sincronía y control lógico.
- Buffer para control de terminal.
- Buffer para el interfase de terminal.

El procesador requiere de una interfase para comunicarse hacia el dispositivo externo a través del mapeo de la memoria de entrada y salida, el cual tiene funciones de prueba y control residiendo en una ROM en el rango de 0 a 8 Kbytes, los 256 Kbytes de RAM residen en el rango de dirección desde 256 K a 512 K.

Para máxima confiabilidad, la RAM tiene un bit de código de corrección de error ( código Hamming ) y protección de dirección de escritura.

- Características de la Memoria

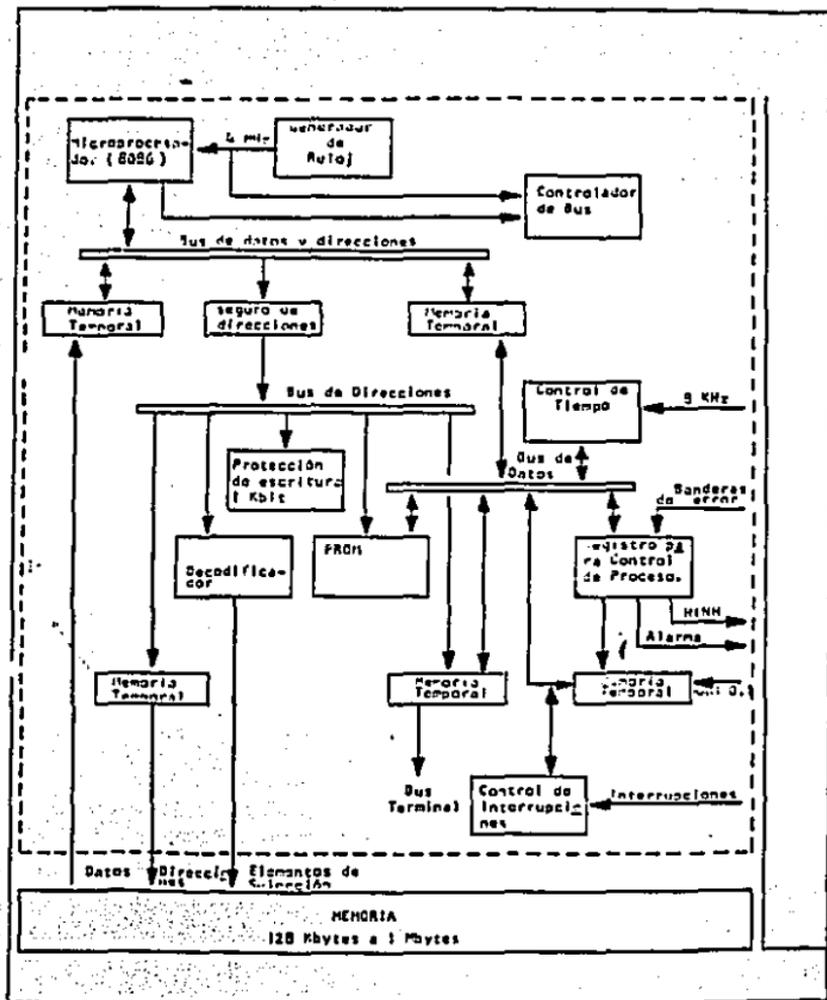


FIG 5.11 Diagrama a Bloques Simplificado del Sistema 1240



El bus de datos es usado para transferir datos entre el procesador y la memoria B. Es también usado para transferir datos entre el procesador y el control de módulos de la interfase de terminal y periféricos, usando un bus de 16 bits.

- Generador de Reloj

El generador de reloj está diseñado para proveer la señal del sistema de reloj de 4 MHz. Esta señal es derivada desde un oscilador de cristal de 12 MHz dentro del generador de reloj y es usado como el reloj básico para la circuitería de la tablilla del procesador B.

- Microprocesador

El microprocesador 8086 está arreglado en el modo máximo al aterrizar la entrada de control mínimo / máximo. Este modo requiere el uso de un controlador de bus para proveer señales de control y temporización durante la transferencia de información de dirección y datos.

Durante su operación, señales de interrupción pueden ser suministradas al microprocesador por el controlador programable de interrupciones. (Interrupts) Estos interrupts pueden ser producidos en respuesta a diversas condiciones de interrupt del procesador y pueden ser inhibidas por la acción del software del sistema.

Estas condiciones incluyen la detección de una dirección inválida, una violación a la protección de escritura o una detección de error doble. La transferencia de información de dirección y datos hacia y desde el circuito microprocesador son realizados en 20 líneas de direcciones y datos multiplexados en tiempo. Otras entradas y salidas del microprocesador son usadas durante la prueba del circuito.

- Controlador del Bus

El controlador del Bus está diseñado para uso con un microprocesador arreglado para módulo máximo. En esta configuración, el manejador de bus ejecuta la mayoría de las funciones de temporización entrada/salida y de control del microprocesador. Esto es hecho bajo el control del estado de la señal de entrada/salida.

- Controlador de Interrupt Programable

El controlador de interrupciones programable es puesto en un modo de "fully nested" (ahorro completo). En este modo el requerimiento de interrupciones que es aplicado a sus entradas, son ordenadas en prioridad. Esta orden de prioridad es controlada por software y puede ser alterado por cambios en el software del procesador. Cada una de las entradas de solicitud de interrupciones del controlador de interrupts programable puede ser enmascarado por el contenido de un registro de máscaras dentro del controlador.

### - Timer de Intervalos Programable

El Timer de intervalos programable contiene 3 contadores de 16 bits cuenta hacia abajo. Estos contadores son manejados por un reloj externo de 8 KHZ y cuenta desde un valor precargado hacia cero, a menos que llegue un reset.

Cuando una cuenta de cero es alcanzada por uno de los tres contadores, la salida del contador cambia de estado a un nivel lógico 1. Esto indica que un time out ha ocurrido.

Esta salida sirve como cualquier interrupt enmascarable o no enmascarable para el procesador.

### - Registro de Control de Procesador

Cinco Latches tipo D constituyen en su mayoría este elemento del registro de control de procesador ( PCR ). Dos de los cinco registros de control son usados para controlar salidas de información de control desde el microprocesador.

La restante circuitería del PCR es usada para regresar la información del estado del procesador al microprocesador. Esta circuitería incluye dos flip-flops y cuatro latch de entrada. Estos son usados para almacenar el estado del dato aplicado.

La circuitería también incluye un grupo de compuertas buffers a través del cual el dato de estado

es pasado a las líneas de datos del microprocesador. Los buffers también pasan los 8 bits del dato de comando. Este habilita al microprocesador.

- Protección de Escritura

Una protección de escritura programable es provista para la protección de la RAM. Este circuito de memoria de 1K x 1 suministrando protección de memoria con 1 Kbyte de resolución por todo el rango de la memoria del procesador. El contenido del espacio de memoria, ya sea 0 para protección o 1 para no protección, determina sin embargo el proceso de escritura será habilitado o abortado.

- Programa ROM

Una ROM de 8 K x 16 bits es provista en la tablilla del procesador B. Sirve como una memoria de programa segura durante las operaciones de inicio y restablecimiento (restart) y durante pruebas del sistema. La memoria ROM está mapeada doblemente dentro del rango de direcciones del procesador. Este doble mapeo permite a la ROM ser usada en requerimientos del procesador tales como resets e interrupts.

La ROM incluye dos áreas de programa principales, éstas incluyen un sistema operativo y una de facilidades de pruebas de laboratorio. Ambas áreas son accedidas por medio de sectores de programa.

- Bus de Control Terminal de Circuito de Tem-

### porización

Dos registros de corrimiento de 8 bits serie componen la mayor parte del circuito del elemento del bus de control terminal de temporización. Estos registros determinan el tiempo de las señales de control las cuales habilitan la transferencia de la información de direcciones y datos sobre el bus de baja velocidad del control terminal.

#### - Decodificación de Direcciones

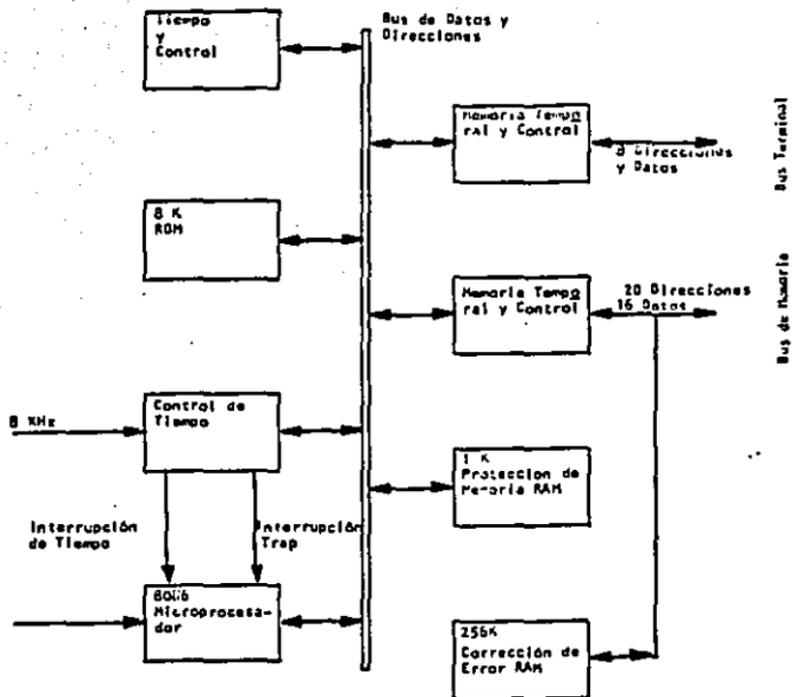
Una red de decodificaciones de dirección es usada para generar los diferentes tipos de comandos del procesador. Estos comandos son usados ambos para identificar y seleccionar dispositivos y para detectar la salida de una dirección inválida.

#### - Bus de Control Terminal Buffering

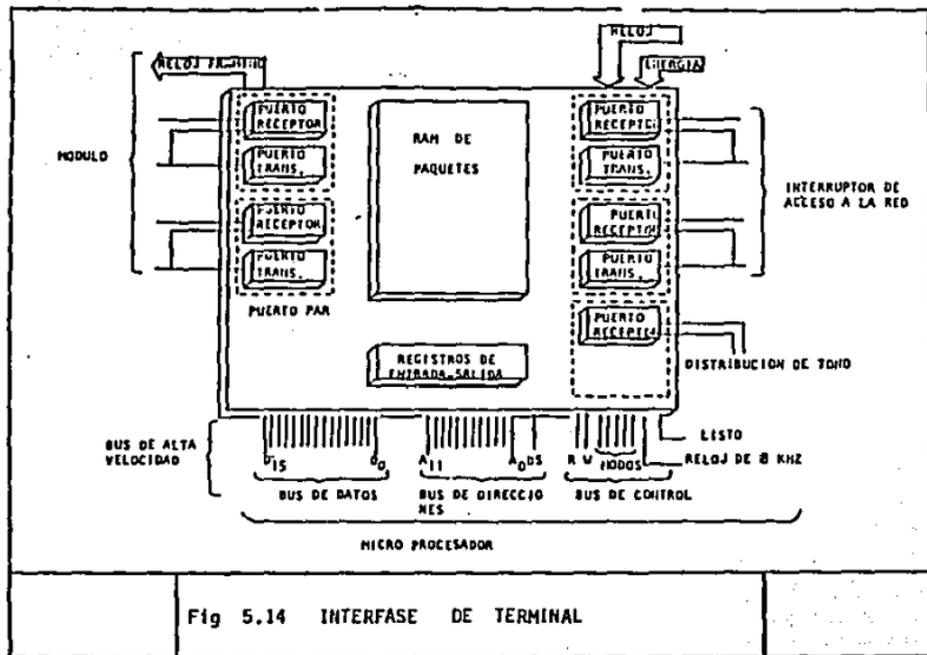
Transfiere ambas informaciones, direcciones y datos tomando lugar en el bus de control terminal de 8 bits. Los bits de dirección son, por supuesto, los primeros a ser enviados y aparecer en el procesador.

#### - Memoria / Interfase de Terminal Buffering

Durante la transferencia en la memoria e interfase de terminal, la información de dirección y datos es procesada en la misma forma. La información de dirección es nuevamente puesta en latch de direcciones



5.13 MEMORIA/INTERFASE DE TERMINAL BUFFERING



del procesador. fig. ( 5.13 )

### V.2.7 Interfase de Terminal

El interfase de terminal, proporciona la forma de establecer y mantener trayectorias a través de la Red de Conmutación. También aporta una etapa de conmutación entre los circuitos terminales de la ITT 1240 y el conmutador de acceso y una función de almacenamiento provisional para los mensajes interprocesadores.

El diagrama a bloques del interfase de terminal se ilustra en la fig. ( 5.14 ). El interfase con la red de conmutación contiene 4 enlaces unidireccionales para voz y datos, terminales en 2 puertos de recepción y 2 de transmisión el interfase de tonos contiene un enlace unidireccional que suministra los tonos al interfase de terminal. Cada enlace lleva los datos en el formato normal de 32 canales de palabras de 16 bits con el canal 0 y el canal 16 usados para sincronización y señalización. En el caso del enlace para distribución de tonos, el canal 16 de éste llevará información de tonos para no ser necesaria la señalización.

Cuando el interfase de terminal está asociado con un procesador de terminal, se usará el interfase con los circuitos Terminal, este interfase está organizado en una forma similar a la del interfase con la red de conmutación descrito anteriormente.

El interfase de terminal agrega tonos a las muestras de voz, cuando ésto se requiera, utilizando las señales recibidas en el puesto de distribución de tonos.

Hay una etapa completa de conmutación entre los puertos de la red de conmutación y las de los circuitos terminales. El interfase de terminal se concentrará a dos distintos elementos de conmutador de acceso. Un defecto en uno de esos elementos reducirá el número de canales disponibles en un 50%, pero los restantes permanecen en operación.

La comunicación entre un interfase de terminal y su procesador asociado se efectúa por conducto de tres buses:

- 1) Bus de control
- 2) Bus bidireccional de datos
- 3) Bus de direccionamiento

Este último se usa para especificar cual localidad de memoria del Interfase de terminal será la afectada por una transferencia de datos.

El almacenamiento en el interfase de terminal se divide en dos secciones mayores, que son:

- 1) RAM de Paquetes
- 2) RAM de Puertos y Canales

- 1) RAM de Paquetes

El papel principal de la RAM de Paquetes, es almacenar información que va a enviarse a la Red de Conmutación, bajo control del procesador asociado, o bien almacenar información que se recibe de otros procesadores por conducto de la red de conmutación. Cada ubicación de memoria puede contener una palabra completa de Canal.

## 2) RAM de Puertos y Canales

A cada canal dentro de cada enlace se le asigna un registro para almacenar la condición actual de cada canal, especificándose así qué procesamiento de rutina va a efectuarse con las palabras de canal.

También se le asigna un registro a cada puerto, que contiene información aplicable a todo el puerto, es decir, al enlace y los 32 canales. Por ejemplo, en el caso de los puertos de recepción registran si el puerto está en sincronía o no lo está.

El papel fundamental del interfase de terminal es proporcionar a su procesador asociado el medio de establecer y mantener trayectorias a través de la Red de Conmutación. Todas las conexiones entre elementos de la Red de Conmutación están duplicadas.

Esto significa que siempre hay dos conexiones físicas entre dos terminales. Ambas pueden llevar 30 canales de voz o de datos, además de los canales 0 y 16, y los trenes de datos de las dos conexiones corren en direcciones opuestas.

El interfase de terminal establecerá una ruta enviando un grupo de palabras de canal que contengan un formato de selección, por conducto de un canal libre hacia la Red de Conmutación. El formato de selección se define por una combinación especial de los dos primeros bits o de protocolo en la palabra de canal. Las etapas de conmutación de acceso de grupo se comportan de igual manera, al recibir palabras con formato de selección.

La primera palabra de selección es absorbida por el conmutador de acceso, y no se propaga más adelante dentro de la red. Si la preparación de la ruta no tiene éxito se devuelve al interfase de terminal un reconocimiento negativo ( NACK ) por conducto del canal 16 del enlace duplicado.

La segunda palabra de selección se propagará a través del conmutador de acceso, por conducto de la trayectoria que fue establecida por el anterior comando de selección y alcanza la primera etapa del conmutador de grupo por un canal antes libre.

Cada palabra de canal con formato de selección tratará de establecer una trayectoria a través de una etapa de la red de conmutación, y se devolverá un reconocimiento negativo ( NACK ), por conducto del canal 16 de los enlaces duplicados, cada vez que un intento de establecimiento de ruta no resulte exitoso.

Cuando va a ser establecida una trayectoria, el procesador cargará las palabras de selección en

la RAM de paquetes y el mensaje para el procesador de destino se carga en las localidades siguientes de la RAM de paquetes. Los 2 bits de protocolo de las palabras del mensaje son especiales para comunicación entre procesadores y se conoce como formato de Escape.

La palabra de escape permite al interfase de terminal y al procesador enviar su identificación hacia el otro extremo de la conexión y transferir los comandos apropiados. Esto puede iniciar un establecimiento de trayectoria desde la dirección contraria, si es que se necesita una comunicación en ambos sentidos.

El interfase de terminal envía las palabras de canal con formatos de selección y de escape de manera autónoma tomándolas de su RAM de paquetes y al terminar envía una interrupción a su procesador asociado.

En el extremo de recepción de la trayectoria, el interfase de terminal reconocerá la primera palabra de canal con formato de Escape enviada por conducto de un canal libre, las palabras con formato de selección no llegarán hasta la Interfase de Terminal receptor, puesto que son absorbidas por la Red de Conmutación.

El número de palabras de canal de Escape contenidas en una transferencia es normalmente menos de 62, cuando es detectada la primera palabra de Escape, se reservan las localidades necesarias en la RAM de paquete para almacenar el mensaje que viene a continuación:

Se envía una interrupción al procesador asociado después de recibida la última palabra con formato de Escape, y el procesador procede entonces de conformidad.

Una vez en las rutas se han establecido entre 2 procesadores y sus interfases de terminal asociados, los mensajes interprocesadores pueden ser de cualquier longitud. Todas las palabras de canal con formato de Escape se almacenan en la RAM de paquetes.

Toda la voz o los datos que genera el abonado, se transmiten en palabras con formato Spata que incluyen un bit de paridad. Estas las genera el puerto de transmisión del interfase de Terminal, y las verifica el puerto de recepción en el extremo opuesto de la ruta. La detección de un error de paridad hace que se incremente un contador. Este contador se ubica en el registro del canal y se encuentra siempre disponible para los fines de mantenimiento.

El Spata y los datos para procesador pueden transmitirse en forma alterna, pero no simultáneamente. Bajo determinadas circunstancias, esto puede resultar inadecuado; por lo tanto, se proporciona un medio de hacer pasar información de control entre procesadores por conducto de las rutas que por el momento llevan Spata. Esta facilidad no interrumpe la transferencia de la voz en forma alguna. Se puede anticipar que su uso más frecuente consistirá en transferir impulsos de medición a través de la red.

Cuando el Interfase de Terminal está, de momento, en espera de palabras de canal con formato Spata, también puede detectar y registrar la aparición de una palabra de canal con formato de selección. Los bits de control para formatos de selección o Spata pueden entonces cambiarse, para permitir que tenga lugar una señalización entre procesadores, siempre y cuando el canal ya haya estado transfiriendo palabras con formato Spata.

#### V.2.8 Módulos

- a) Módulo de Abonado Analógico
- b) Módulo de Abonado Digital
- c) Módulo de Troncal Analógica
- d) Módulo de Troncal Digital
- e) Módulo de Interfases de Unidad de Abonado Remoto
- f) Módulo de Circuitos de Servicio
- g) Módulo de Periféricos de Computadora
- h) Módulo de Reloj y Tonos

#### a) Módulo de Abonado Analógico

Un módulo de abonado analógico fig. ( 5.15 ), maneja dos grupos de 30 líneas de abonado analógico. A la entrada, transforma las señales analógicas de cada grupo de 30 en un solo tren de bits PCM de 32 canales, para su transmisión a través de la DSN. A la salida, convierte a las señales digitales en analógicas, para su recepción por las líneas de abonado analógico en su grupo. Cada línea de abonado tiene un circuito

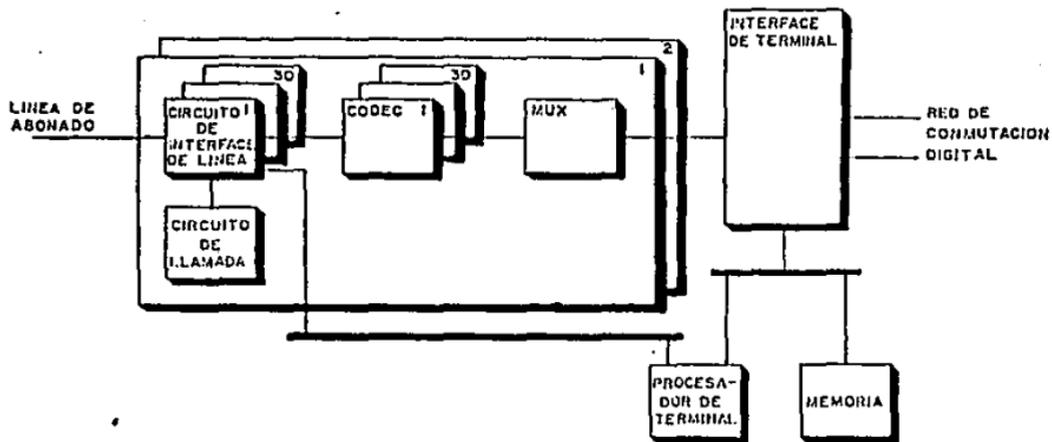


Fig 5.15 MODULO DE ABONADO ANALOGICO

dedicado de Interfase de líneas que maneja información de voz y de señalización en ambos sentidos. Un circuito de timbrado proporciona corriente de llamada, por conducto de los Circuitos de Interfase de Líneas bajo control del Elemento de Control Terminal. La conversión de analógica a digital y de digital a analógica es manejada por CODECS ( Codificador / Decodificador ) de un solo canal.

- Circuito de Línea de Abonado Analógico

El circuito de Línea de Abonado Analógico fig. ( 5.16 ) es una combinación de un circuito de Interfase de Línea y un Codec. Este circuito es el interfase entre el bucle de abonado analógico y la Red de Conmutación Digital. Todas las señales en el bucle de abonado que resulten incompatibles con el formato PCM debido ya sea a su alto nivel o porque caen afuera de la banda de voz, habrán de manejarse en el Circuito de Línea.

El grupo de funciones que se manejan en el circuito de línea se conoce como Las Funciones BORSCHT, ya que cada una de sus iniciales corresponde a una función en particular:

- B = Batte and Feed = Alimentación por batería.
- O = Overvoltage protection = Protección contra sobrevoltaje.
- R = Ringing = Timbrado.
- S = Supervision = Supervisión.
- C = Coding and decoding = Codificación y Deco-

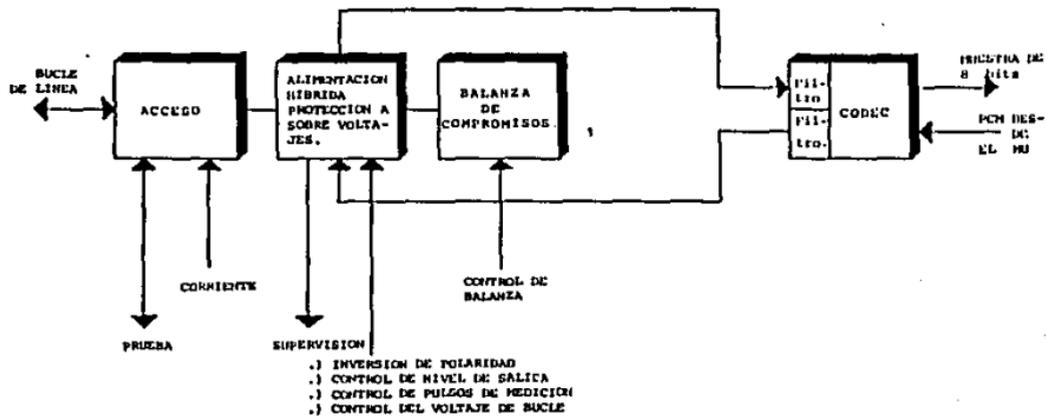


Fig 5.16 CIRCUITO DE LINEA DE ANCHADO ANALOGICO

dificación.

- H = Hybrid for 2 - wire to 4 - wire conversión =  
Híbrido, para conversión de 2 a 4 alambres.
- T = Testing = Pruebas.

Los circuitos de líneas constituyen parte sustancial del hardware total de una central digital local. Son por lo tanto, un componente significativo en el costo del sistema total y su diseño requiere una cuidadosa atención. La disponibilidad de circuitos integrados de codificador - decodificador PCM y filtros de banda de voz, hicieron posible la construcción de circuitos de línea económicos. Se empaican seis circuitos de línea por tarjeta de circuito impreso.

b) Módulo de Abonado Digital

El módulo de abonado digital fig. ( 5.17 ) proporciona interfase y control para 60 líneas de abonado que terminen en aparatos digitales. el aparato telefónico digital típico, aportará una salida consistente en canales multiplexados en el tiempo para voz, datos y señalización. El circuito de interfase de líneas digitales los separa, pasando la señalización al Microprocesador por conducto del bus y los canales de voz y datos a la DSN.

c) Módulo de Troncal Analógica

El módulo de troncal analógica fig. ( 5.18. ), proporciona interfase y control para 30 troncales analógicas. Las funciones que realiza el módulo de

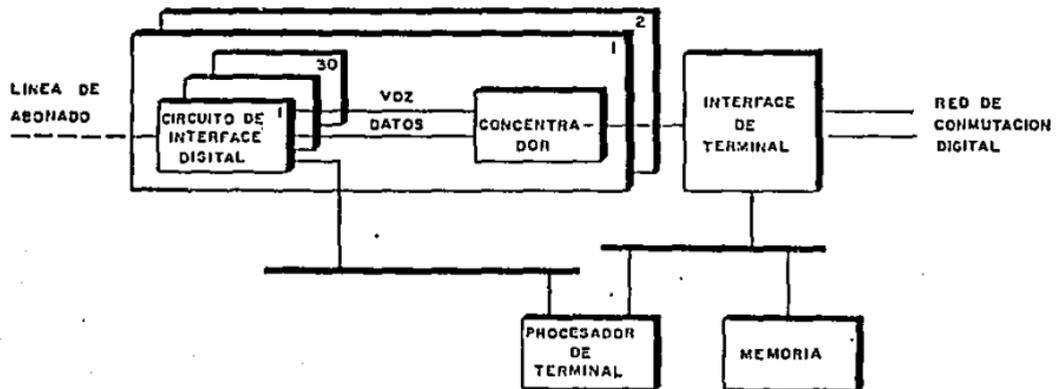


FIG 5.17 MODULO DE ABONADO DIGITAL

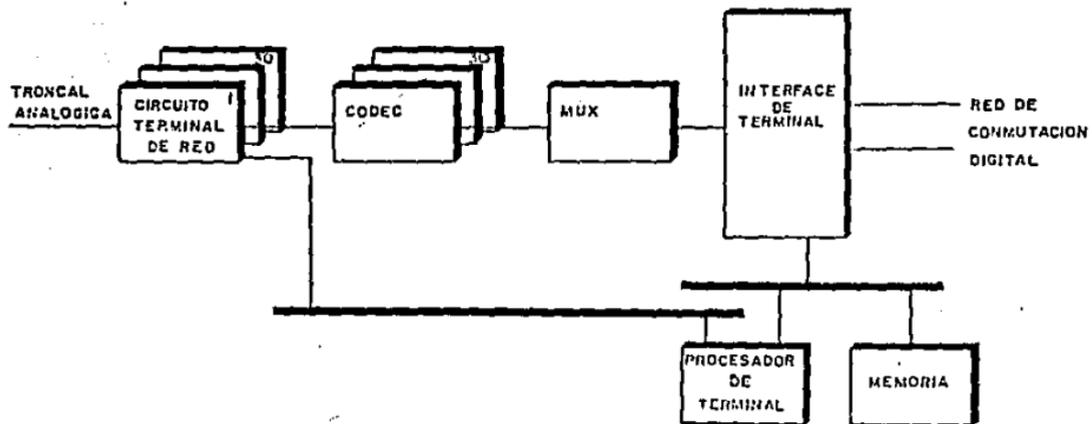


FIG 5.18 MODULO DE TRONCAL ANALOGICO

troncal analógica, son similares a las efectuadas por el módulo de abonado analógico, excepto que el Módulo de troncal analógica convierte a un grupo de 30 troncales analógicas en un tren de bits de 32 canales PCM.

Cada troncal analógica tiene un circuito dedicado de interfase de troncal similar al circuito de interfase de líneas de los módulos de abonado analógico. Cada circuito de interfase de troncal está enlazado a un Codec y filtro individual para la conversión de la señal analógica a digital, junto con los equipos necesarios de interfases y relevadores para proporcionar las características definidas por el sistema señalizador correspondiente a la troncal en cuestión.

También proporciona acceso para probar la troncal entre centrales, así como para probar el acceso del circuito de troncal a la central ITT 1240. Para troncales de 2 hilos, el circuito incluye una conversión de dos a cuatro hilos y funciones de transmisión semejantes a las de línea. Para troncales de 4 hilos, la facilidad de transmisión se halla en interfase directo con el Codec.

Se requiere supervisión E & M en cables aparte, son controlados separadamente también por el circuito de troncales. La transmisión y detección de pulsos de medición la maneja también este mismo circuito. No se requiere ninguna adopción para señalización de multifrecuencia, puesto que se adhiere un receptor, a través de la red, durante la fase de registro.

d) Módulo de Troncal Digital

El módulo de troncal digital fig. ( 5.19 ) proporciona interfase y control para una troncal digital de formato PCM de 32 o de 24 canales. La información de señalización se extrae del tren de bits PCM en el interfase digital y se aplica al elemento de control terminal para ser analizada. La información saliente de señalización del elemento de control terminal es insertada en la corriente saliente de bits PCM.

e) Módulo de Interfase de Unidad de Abonado Remoto - ( RSU )

El módulo de interfase de RSU fig. ( 5.20 ) ha sido estructurado de manera semejante al módulo de troncal digital, pero con software adicional para controlar una RSU de un solo enlace digital. Una RSU que tenga dos enlaces digitales, requiere dos módulos de interfase RSU.

El control de la RSU conectada al módulo de interfase de RSU utiliza una forma simplificada de señalización de canal común. Los mensajes de control son generados por el procesador, enviados por conducto del bus al circuito de troncales digitales, e inyectados en el canal 16 de los enlaces digitales.

- Unidad de Abonados Digitales Remotos ( RSU )

La RSU fig. ( 5.21 ), aporta conexión remota hasta para 480 abonados. La conexión con la central

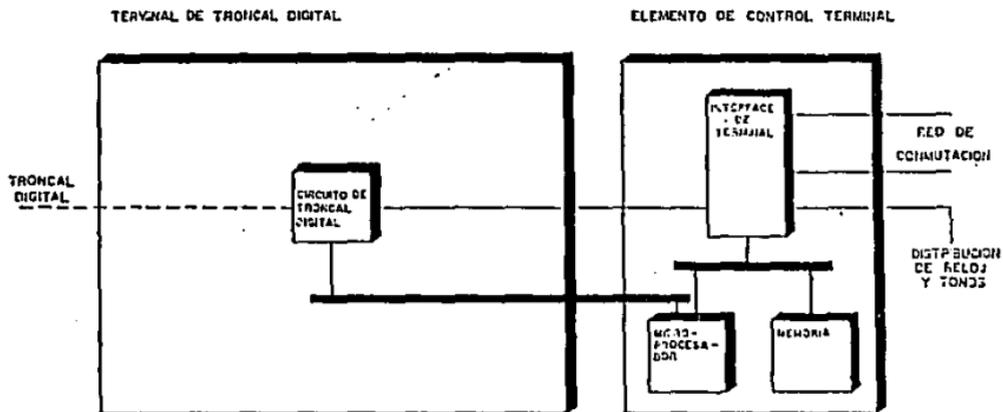


FIG 5.19 MÓDULO DE TRONCAL DIGITAL

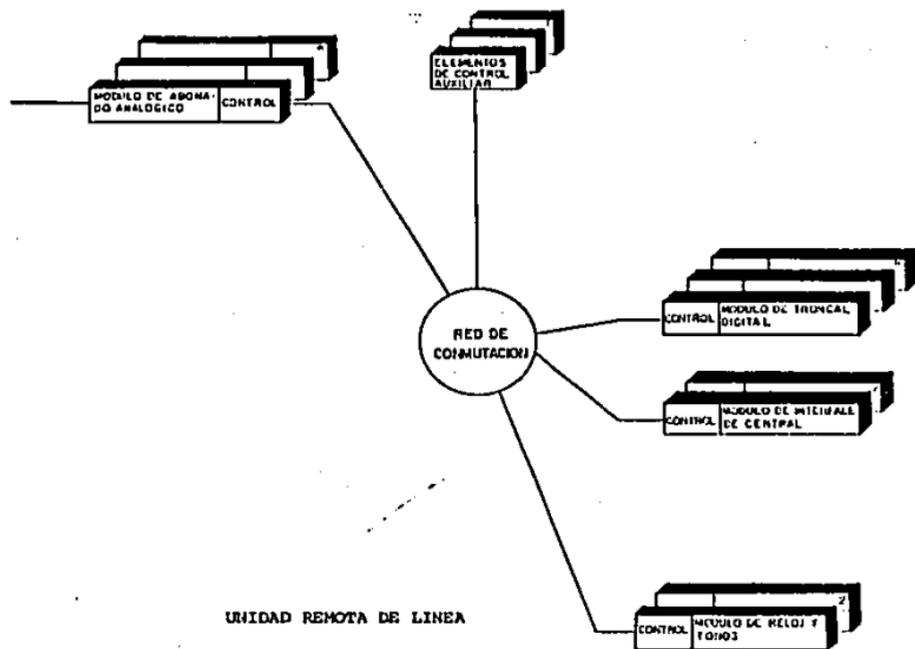


FIG 5.20 MODULO DE INTERFASE DE UNIDAD DE ABONADO REMOTO (RSU)

matriz ITT 1240 es por medio de uno o dos enlaces PCM. Los abonados conectados a la RSU tienen acceso a todas las características de abonados de la central matriz.

Hasta 8 RSU's distribuidas en distintas ubicaciones pueden conectarse a uno o dos enlaces PCM en una conexión múltiple. En el caso de una conexión múltiple dúplex fig. ( 5.22 ), pueden conectarse a dos enlaces PCM hasta un total de 480 abonados. Estos enlaces terminan en la central matriz, en módulos de interfase de RSU que están soportados en un elemento auxiliar para el control de las llamadas.

La RSU es controlada por la central matriz utilizando una versión simplificada de la señalización de canal común por el canal 16. Todas las funciones y características de servicio las suministra la central matriz. Además la central matriz controla las pruebas programadas, la supervisión de alarmas, los diagnósticos, la defensa del sistema y la comunicación hombre - máquina.

La mayoría de los bloques usados en la RSU son los mismos que se usan en la central ITT 1240, con lo que se asegura la igualdad de equipo en el sistema entero. Desde 6 líneas de abonados hasta el máximo de 480 pueden ser acomodadas mediante configuración de las terminales de abonado analógico, cada una de las cuales tiene dos conexiones digitales de 32 canales con el interfase de terminal. El multiplex de las líneas se efectúa mediante la conmutación selectiva de los circuitos de interfase de líneas a un bus común.

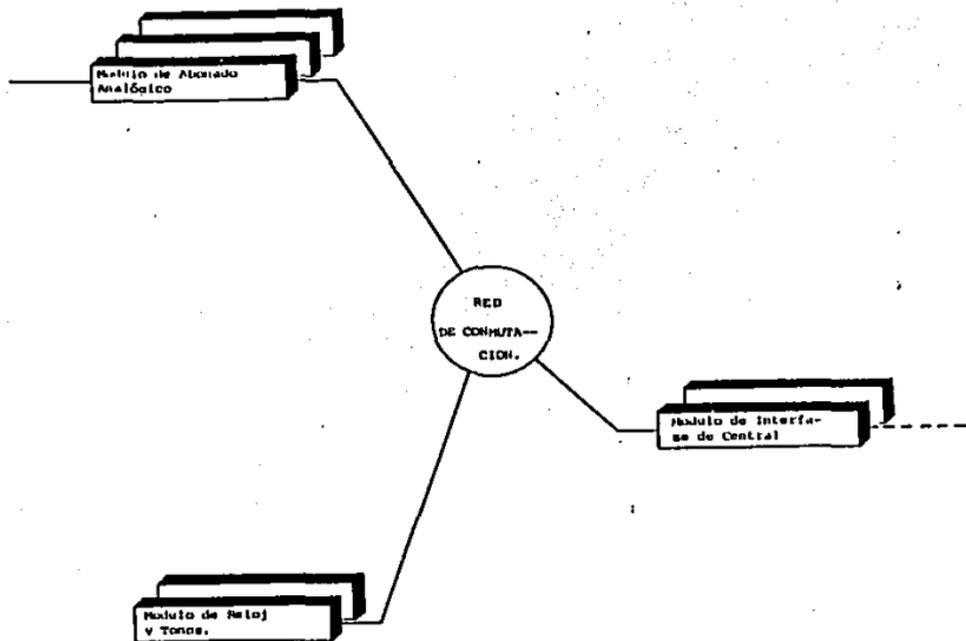


FIG 5.21 UNIDAD REMOTA DE ADONADO

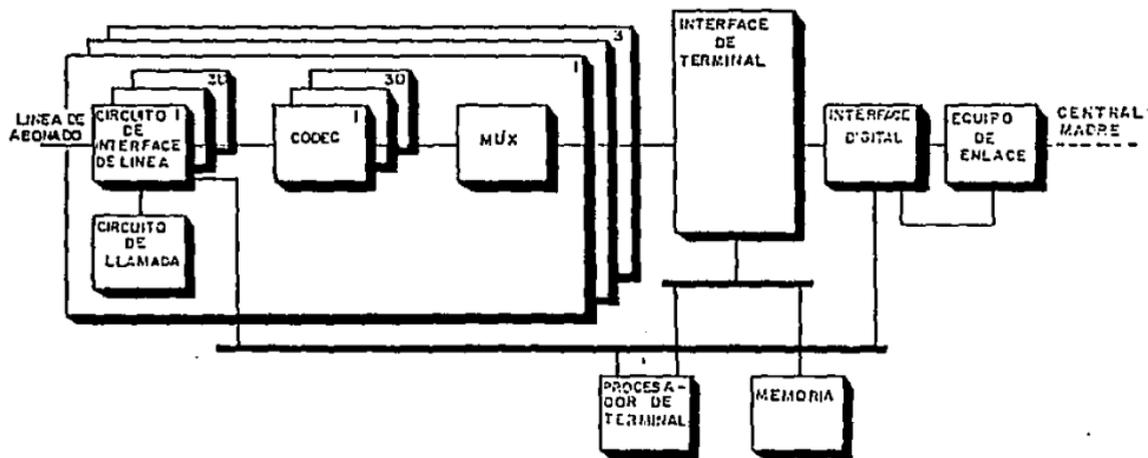


FIG 5.22 UNIDAD DE ABONADOS DIGITALES REMOTOS

bajo control del elemento de control de terminal. Los enlaces digitales a la central se conectan por conducto de un circuito de conexión múltiple de troncales digitales.

Una unidad estándar para acceso a prueba de línea se coloca en la RSU, ésto permite efectuar pruebas a control remoto. El reloj es simplificado, basándose en un oscilador de cristal local que puede ligarse en fase a una referencia externa, la cual se obtiene del enlace PCM de la central matriz.

#### f) Módulo de Circuitos de Servicio

El módulo de circuitos de servicio fig. ( 5.23 ), proporciona recursos y control para 2 circuitos de servicio de 16 canales, cada uno de los cuales aporta facilidades de señalización ya sea para:

- Aparatos telefónicos de botonería
- Centrales que usan señalización de troncales de multifrecuencia.

El interfase de receptores de botonería recibe dígitos decodificados en señales de frecuencias de banda de voz, de aparatos de abonado con botonería, a través de la DSN. Las señales se codifican en el receptor de botonera y los dígitos obtenidos se envían al procesador de la terminal para su análisis. Se toman precauciones especiales para proteger el reconocimiento de los dígitos contra las interferencias de voz.

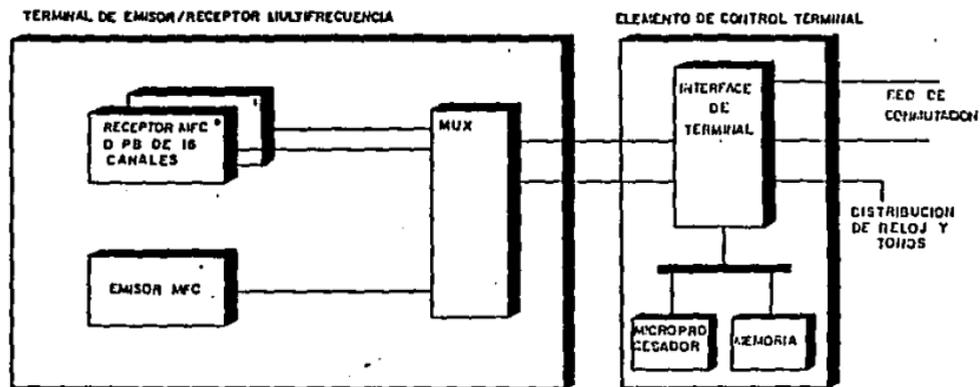


FIG 5.23 MODULO DE CIRCUITOS DE SERVICIO

El Receptor / Emisor de Multifrecuencias recibe y envía señales de frecuencia de banda de voz codificadas digitalmente. El Receptor de multifrecuencias opera en la misma forma que el receptor de botonería.

El Emisor de multifrecuencias recibe dígitos del Procesador Terminal y los convierte en señales de frecuencia de banda de voz codificadas digitalmente las que se transmiten por conducto de la DSN a la troncal debida. La señalización de registro la realiza el procesador terminal de los circuitos de servicio.

g) Módulo de Periféricos de Computadora

El módulo de periféricos de computadora fig. ( 5.24 ), proporciona interfase, controles y capacidad de procesamiento para los dispositivos de entrada / salida hombre - máquina ( la cantidad dependerá del tipo de dispositivos ) y la memoria de masa.

Lo que típicamente se almacena en la memoria de masa puede ser:

- Programas en línea y respaldo de datos.
- Programa fuera de línea
- Registros de facturación
- Datos estadísticos y de mantenimiento

h) Módulo de Reloj y Tonos

Este es el reloj central y la fuente de los tonos digitales fig. ( 5.25 ). Los tonos digitales se distribuyen al interfase terminal de cada módulo. Esto

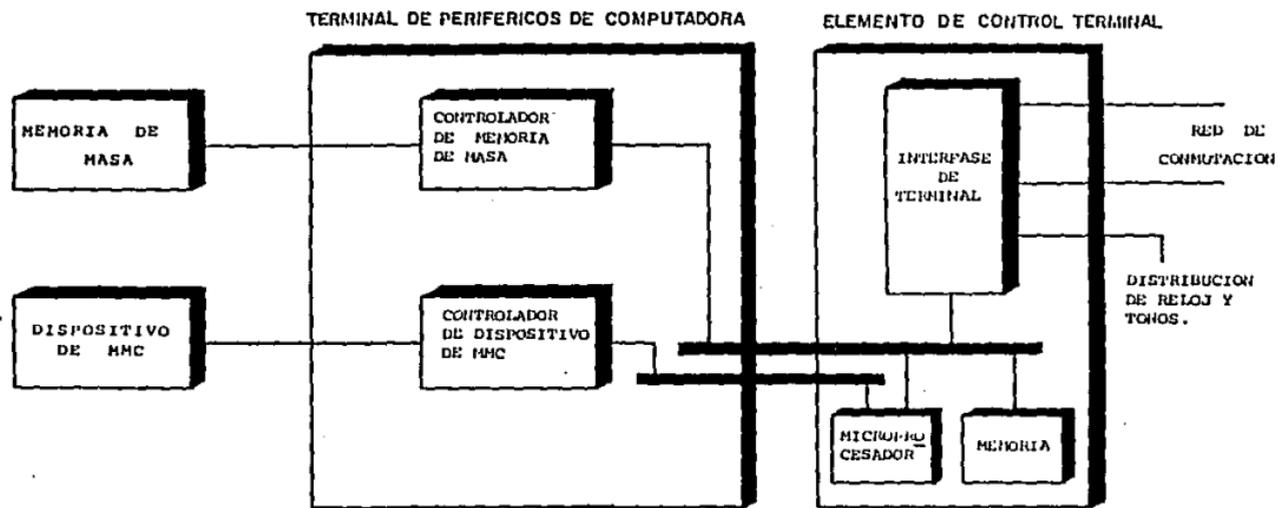


FIG 5.24 MODULOS DE PERIFERICOS DE COMPUTADORA

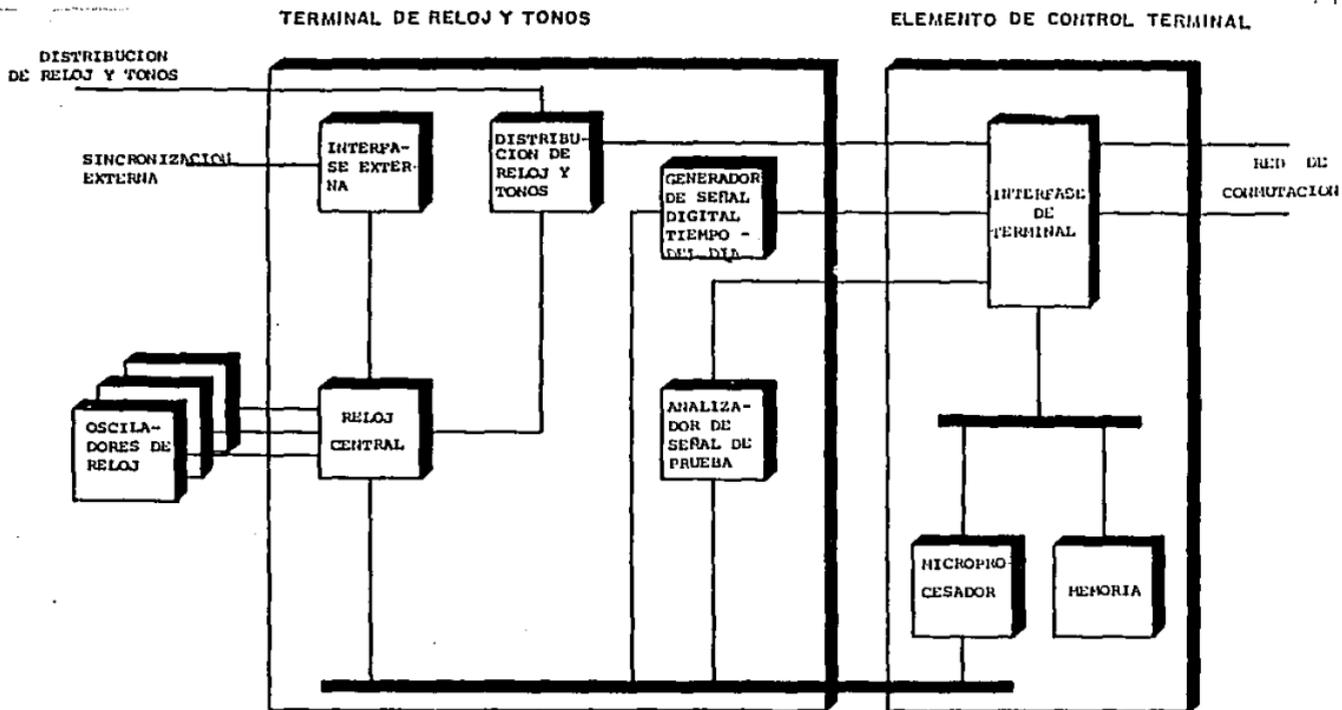


FIG 5.25 MODULOS DE RELOJ Y TONOS

proporciona, a su vez, un acceso bajo el control de microprocesadores. En las configuraciones de centrales pequeñas, los tonos digitales pueden ser generados por la central matriz. Los generadores de relojes son triplicados, pudiendo sincronizarse ya sea mediante enlaces digitales o por un reloj atómico residente.

### V.3 CONCEPTOS GENERALES DEL SOFTWARE

- V.3.1 Sistema Operativo de los Elementos de Control
- V.3.2 Manejadores de Dispositivos Telefónicos
- V.3.3 Manejo de Llamadas
- V.3.4 Mantenimiento y Administración
- V.3.5 Implementación del Software
- V.3.6 Facilidad de Uso

#### - Introducción

Las funciones del software están distribuidas en diversas formas entre los procesadores que controlan a la central y reflejan el control distribuido de la ITT 1240. Básicamente, el software de la ITT 1240 fig. ( 5.26 y 5.27 ) tienen 5 subsistemas principales:

- Sistemas Operativos de los Elementos de Control.
- Manejadoras de Dispositivos Telefónicos.
- Manejo de Llamadas.
- Mantenimiento.
- Administración.

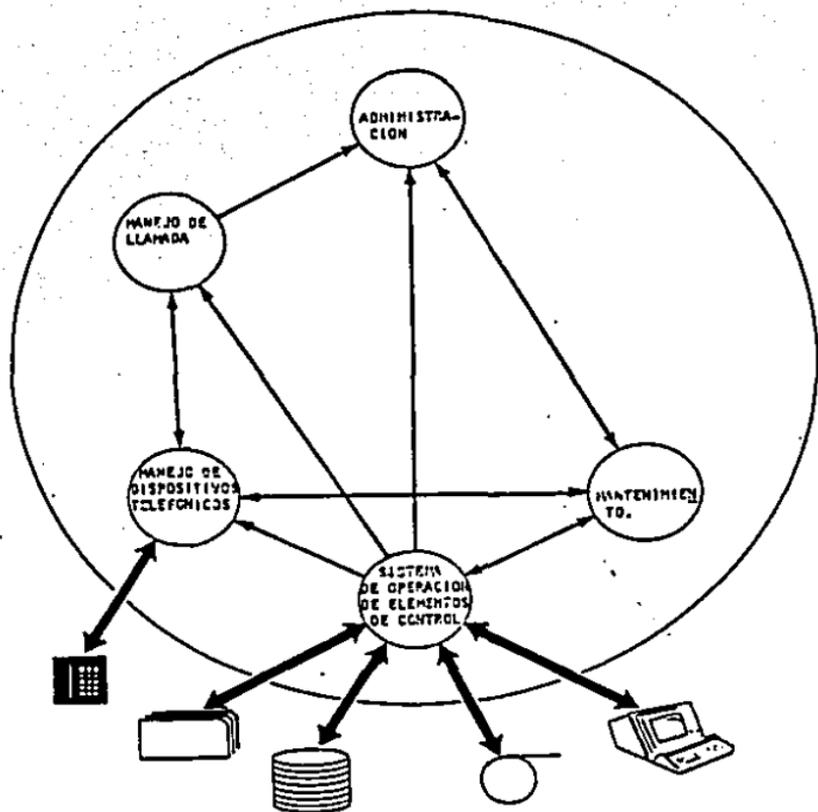


FIG 5.26 ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL SOFTWARE

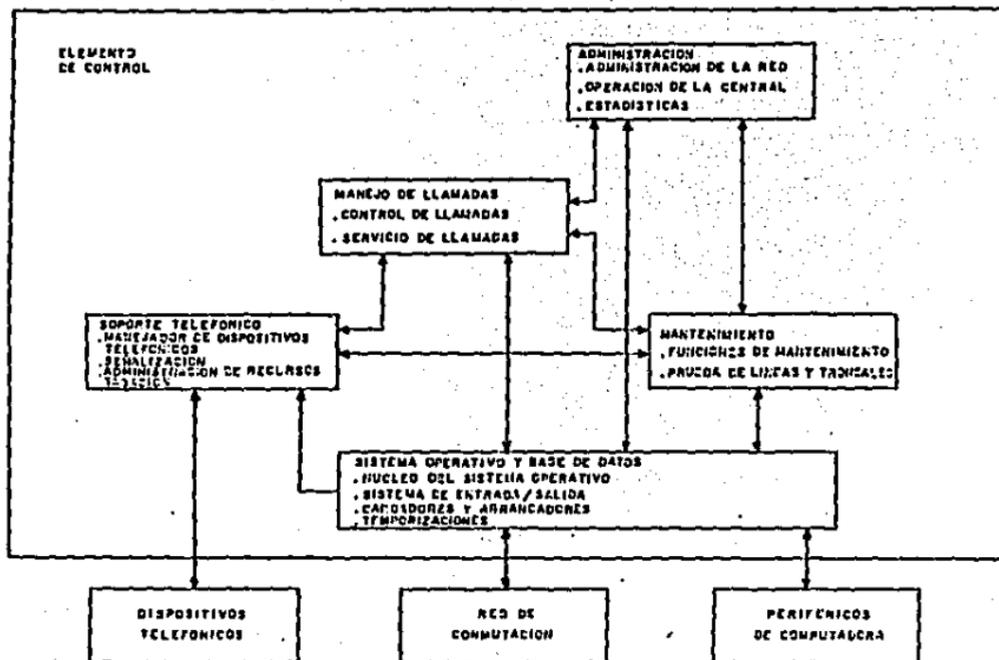


FIG 5.27 ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL SOFTWARE

Las funciones de los subsistemas del software están ya sea replicadas en elementos de control que realizan las mismas tareas, divididas entre distintos elementos de control o asignadas a un elemento específico de control. Un ejemplo lo constituye el software de las manejadoras de dispositivos telefónicos, que se replica en un gran número de TCE's ( si están atendiendo al mismo tipo de terminales ). Otro ejemplo es el sistema operativo del elemento de control que reside en cada elemento de control.

Las funciones del software el Manejo de llamadas pueden distribuirse en varios niveles de elementos de control. La parte de señalización, que se asocia estrechamente con las manejadoras de dispositivos telefónicos, se ubica en los TCE's de líneas / troncales. La parte de control de llamadas, que dirige el desenvolvimiento de las llamadas, reside en los ACE's de control de llamadas. La administración de recursos telefónicos reside en el par de ACE's del sistema.

Las funciones no distribuidas son, por ejemplo, las funciones comunes de mantenimiento asignadas al TCE de periféricos de computadora. Estas funciones controlan y ejecutan tareas menos críticas de mantenimiento, tales como la localización de un PBA defectuoso.

Los subsistemas de software de la ITT 1240 se subdividen en cierto número de módulos de software funcional, con interfases bien definidos y que se comunican entre si mediante mensajes. Los módulos de

software son máquinas de mensajes finitos ( FMM's ) y contribuyen a la estructura de alta modularidad del software de la ITT 1240.

El software distribuido ofrece diversas ventajas:

- No se produce una inhabilitación total del sistema
- Hay menos funciones del software para cada elemento de control, lo cual reduce la complejidad y consecuentemente incrementa la confiabilidad
- Las extensiones pueden hacerse fácilmente y con seguridad
- Capacidad de control ilimitada
- Carga reducida en procesadores individuales, lo que reduce al mínimo las fallas por sobrecarga.
- Estructura Funcional del Software

La estructura del software en módulos discretos permite una flexibilidad bastante considerable en el diseño y la aplicación de la arquitectura de control distribuido de la ITT 1240. Los módulos de software pueden asignarse de acuerdo con el total de recursos de procesamientos disponibles, pueden reasignarse en caso de expansión de la central o de que se le agregen características y se reasignan automáticamente cuando ocurren fallas de procesador.

La división completa y el uso de lenguaje de alto

nivel ofrecen la ventaja de pequeños programas independientes segmentados que son fáciles de diseñar, codificar, probar y mantener. Estos puntos clave dan como resultado un software total que es fácil de entender y es fácilmente modificado para satisfacer nuevas demandas por parte de los clientes o para aprovechar al máximo la tecnología involucrada.

La estructura del software se basa en una división estricta, ordenada como cierto número de niveles funcionales. La estructura funcional del software discreto es una jerarquía. Cada nivel abarca un aspecto progresivamente más detallado del requerimiento total de la central. El nivel más bajo se asocia directamente con el hardware, mientras que los niveles más altos llevan a cabo funciones telefónicas particulares dentro de la central.

#### V.3.1 Sistema Operativo de los Elementos de Control.

El sistema operativo de los elementos de control está compuesto por el sistema operativo propiamente dicho y el sistema de control de la base de datos.

##### - Sistema Operativo

Cada elemento de control de la ITT 1240 tiene un núcleo de sistema operativo residente. Esto, junto con el hardware del sistema, constituye un procesador virtual para el resto del software.

Las tareas principales de este núcleo, son:

- Programación de los procesos del software.
- Transferencia de los mensajes entre procesos.
- Manejo del interfase de terminal y la red de conmutación digital; es decir, el control de trayectorias, la comunicación de paquetes y las funciones de mantenimiento de soporte para la DSN y el interfase de terminal.
- Proporciona facilidades de sincronía y hora del día.
- Manejo de interruptores, carga de programas no residentes, soporte para la prueba y acciones de recuperación.

Hay otros dos componentes del sistema operativo usados en los elementos de control de periféricos de computadora.

- Manejadores de entrada y salida
- Cargadores

Los manejadores de I/O soportan la interfase para los periféricos de computadora y la facilidad de comunicación hombre - máquina. El software cargador se requiere para cargar los diferentes elementos de control con su software específico. Cada elemento de control tiene un programa local de "bootstrap" en memoria de solo lectura (ROM) el cual es ejecutado cada vez que el elemento requiere cargarse desde el disco o la cinta magnética. Los programas cargadores también se usan para traer programas no residentes

a la memoria del procesador.

Debido a que la ITT 1240 es un sistema de tiempo real, muchas de las mismas funciones, tiene que realizarse simultáneamente para cierto número de usuarios. Por ejemplo, una sola FMM de manejo de llamadas puede requerirse para manejar llamadas múltiples que se traslapan en el tiempo. Cada uso que se hace de la FMM es designado como " un proceso ".

- Sistema de Control de Base de Datos.

Los diversos procesadores en la central requieren información relativa a los recursos disponibles del sistema, el plan de numeración de la central, las clases de abonado y los esquemas de señalización, junto con toda la información que tradicionalmente se considera como datos de la central.

En cuanto a las funciones del software, la base de datos está distribuida entre los procesadores del sistema. Por ejemplo, los datos que caracterizan la clase de línea, se localizan en el TCE del abonado, mientras que los datos que describen la clase de servicio ( aparato, de botonera, servicio restringido, etc ) residen en el ACE de control de llamadas asociado con el TCE del abonado.

El sistema de control de la base de datos rescata datos y opera con ellos sin importar cual sea su ubicación, tipos de memoria, órdenes de acceso o forma en que se almacenan los datos.

En la memoria de masa se proporciona almacenamiento de respaldo para todos los datos no dinámicos de la base.

La integridad de la base de datos salvaguardan programas que realizan verificaciones de validez para todas las actualizaciones solicitadas por abonado o por el personal de la central, ya sea mediante auditorías regulares o por cotejando los datos en el procesador con el contenido de la memoria de masa.

### V.3.2. Manejadores de Dispositivos Telefónicos

La función básica del manejador de dispositivos telefónicos es la traslación entre señales físicas (eléctricas) en el nivel de hardware y las señales lógicas en el nivel de usuario. Todo acceso al y del dispositivo telefónico, tanto para el manejo de llamadas como para el mantenimiento, se efectúa a través del manejador de dispositivos. Se proporciona un manejador de dispositivos especializados para cada tipo de hardware de terminal; es decir, de línea de abonado analógico, troncal digital, etc.

Cada manejador de dispositivos, junto con su circuitería asociada, aparece como un "dispositivo virtual" para el resto del software del sistema. La ventaja de este enfoque es que los detalles de la implementación del hardware de las terminales son independientes de la lógica de señalización. De esta manera, el efecto del cambio en el hardware de una terminal se limita al software del manejador del dis-

positivo.

Los manejadores específicos de dispositivos telefónicos, residen siempre en los TCE's conectados a las terminales que controlan.

### V.3.3. Manejo de Llamadas

Hay 4 componentes mayores en el software del manejo de llamadas:

- Señalización
- Control de llamadas
- Servicio de llamadas
- Tarificación

Estos componentes se subdividen en máquinas de mensajes finitos ( FMM's ) y son cargados en uno o varios elementos de control durante la inicialización del sistema.

Las funciones primarias proporcionadas por señalización son, de darle un significado telefónico a todo evento recibido del manejador de dispositivos telefónicos y la de transformar los órdenes telefónicos precedentes del control de llamadas en la debida secuencia de eventos que ha de transmitirse por conducto de la terminal.

Las funciones de Señalización dependen de la señalización de línea y de registro y cada función se implementa en una FMM. Esta partición hace posible unas modificaciones sencillas y económicas para acep-

tar nuevos sistemas de señalización el lo futuro.

El software de control de llamadas aporta el control de alto nivel para el tratamiento de llamadas básicas, así como otras facilidades para llamadas más complejas. La lógica del control de llamadas se divide entre FMM's que implementan las diferentes fases de una llamada; es decir, preselección, terminación de llamada y liberación. Cada una de estas etapas puede a su vez subdividirse en FMM's específicas de una facilidad que se halle activa durante esa fase de la llamada, por ejemplo, preselección de conferencia.

El interfase entre la señalización y el control de llamadas está a nivel de lenguaje telefónico, utilizando términos como "toma", "contestación", "liberación", etc. Este lenguaje es independiente del sistema de señalización asociado con una terminal, así que la lógica de control de llamadas está aislada de la lógica de señalización. el software de control de llamadas se ubica normalmente en los ACE's de control de llamadas.

Las FMM's de servicio de llamadas proveen a las FMM's de control de llamadas, por ejemplo, con información de enrutamiento basada en los dígitos recibidos y la clase de terminal, la identidad del abonado local y las identidades de los recursos telefónicos disponibles, tales como troncales, emisores / receptores, etc. la mayoría de las FMM's de servicio de llamadas sus relaciones de datos asociadas, están ubicadas en ACE's del sistema.

Las FMM's de tarificación manejan el control y la generación de los registros para la facturación de las llamadas, que pueden ser ya sea en conjunto o detallada por abonado. Luego ya pueden vaciarse los registros en la memoria de masa, para su procesamiento posterior y la facturación a abonado.

#### V.3.4 Software de Mantenimiento y Administración

El software de mantenimiento asegura un alto grado de servicio, en presencia de defectos en el hardware y el software.

El software de mantenimiento explota la naturaleza distribuida del sistema, al distribuir todas las funciones de detección y de recuperación de emergencia, mientras mantiene su tamaño y su complejidad al mínimo. La redundancia adecuada de los elementos de control asegura que el nivel global de servicio se obtenga sin necesidad de duplicar todos los elementos de control.

Cada elemento de control contiene dos niveles de funciones autónomas de recuperación de manejadores de dispositivos y la recuperación de fallas de procesadores. Los manejadores de dispositivos y la recuperación de fallas de procesadores. Los manejadores de dispositivos proporcionan también funciones de aislamiento del dispositivo, de inicialización y de soporte de pruebas, para el TCE de periféricos de computadora.

Los elementos de control tienen suficiente capa-

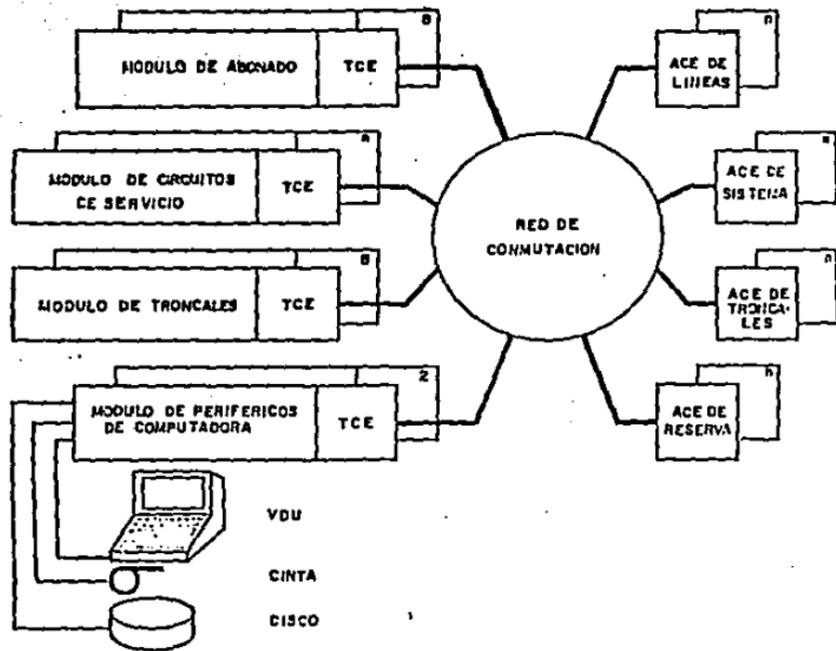


FIG 5.28 DISTRIBUCION DEL CONTROL

idad de verificación de datos para permitir la detección de errores y la inicialización automática.

El TCE periféricos de computadora controla y ejecuta la mayoría de las reacciones de menor urgencia del mantenimiento a las fallas, las pruebas de enrutamiento y las auditorías. Además, este TCE está involucrado en la recarga del software, ya sea para un elemento de control o para la inicialización total del sistema.

La propagación de fallas se detiene de manera efectiva por verificaciones del protocolo de comunicaciones, mediante acciones defensivas autónomas en cada elemento de control y con auditorías que se efectúan independientemente de cada elemento de control.

Estructuralmente, el software de mantenimiento es altamente modular, cada FMM realiza una función específica.

El software de administración se reparte entre varias áreas funcionales principales, tales como mediciones de tráfico, administración de la red, comunicaciones hombre - máquina, facturación, extensiones, etc. El software de administración también es altamente modular; cada función es implementada en una FMM. El interfase con el software de manejo de llamadas es por interfase de alto nivel, lo que hace al software de administración enteramente independiente el resto del software del sistema.

### V.3.5 Implementación del Software

El software del S - 1240 se caracteriza por su alta confiabilidad, su inmunidad a la falla total y su capacidad de aceptar con facilidad y de manera económica la incorporación de nuevos servicios y tecnologías. Con el fin de alcanzar estos objetivos, el grupo técnico encargado del software en la ITT ha aprovechado los métodos y conceptos de diseño más avanzados.

#### - Hardware Virtual

Cada subsistema principal del hardware tiene una porción asociada de software que se conoce como " manejador de dispositivos " fig. ( 5.29 ). Conjuntamente el subsistema de hardware y el manejador de dispositivo se convierte en una forma de máquina virtual conocida como Hardware Virtual. Se escogió esta terminología porque el manejador de dispositivo se comunica con los otros niveles de software a través de un interfase que consiste en un bien definido juego de mensajes en ambas direcciones. Mientras se mantenga este interfase, sin importar qué haga el subsistema de hardware ni como puede ser modificado, la comunicación con el resto del sistema será siempre la misma.

El concepto de hardware virtual aporta una o varias capas de software entre el hardware y el interfase virtual, independizado así del resto del sistema la implementación específica del hardware.

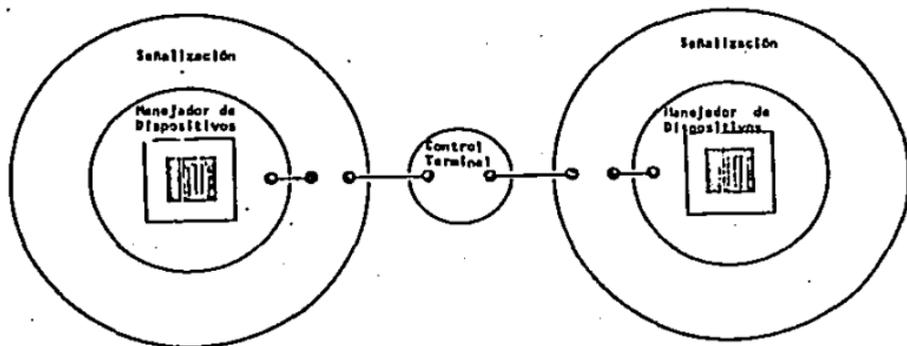


FIG 5.29 APLICACION DEL HARDWARE VIRTUAL

Por ejemplo, el manejador de dispositivo transforma los órdenes de mensaje del software en señales para control del hardware y reporta los cambios en el estado eléctrico del hardware.

Este enfoque se aplica no solamente al hardware de telefonía, como por ejemplo, los circuitos de línea y la Red de conmutación digital, sino también al procesador. De esta manera, puede incorporarse un nuevo tipo de procesador adaptando su manejador de dispositivo, efectuando cambios menores en el sistema operativo y el software de mantenimiento y modificando partes del compilador de lenguaje de alto nivel.

- Máquina de Mensajes Finitos ( FMM )

Una FMM es una aplicación de la máquina de estado finito, un concepto que se estudia en la teoría de las máquinas secuenciales. Una FMM fig. ( 5.30 y 531 ) es un módulo de software dedicado a una función en particular ( por ejemplo señalización entrante de registro R2 ), la cual tiene las siguientes propiedades:

- Consiste en un bien definido grupo de estados, y en las transiciones permitidas entre estos estados.
- Se define para cada estado cierto número de mensajes de entrada permitidos y cierto número de mensajes de salida permitidos.

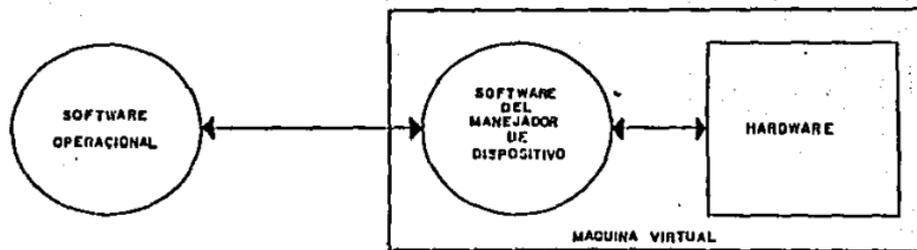


FIG 5.30 APLICACION DE MAQUINAS VIRTUALES

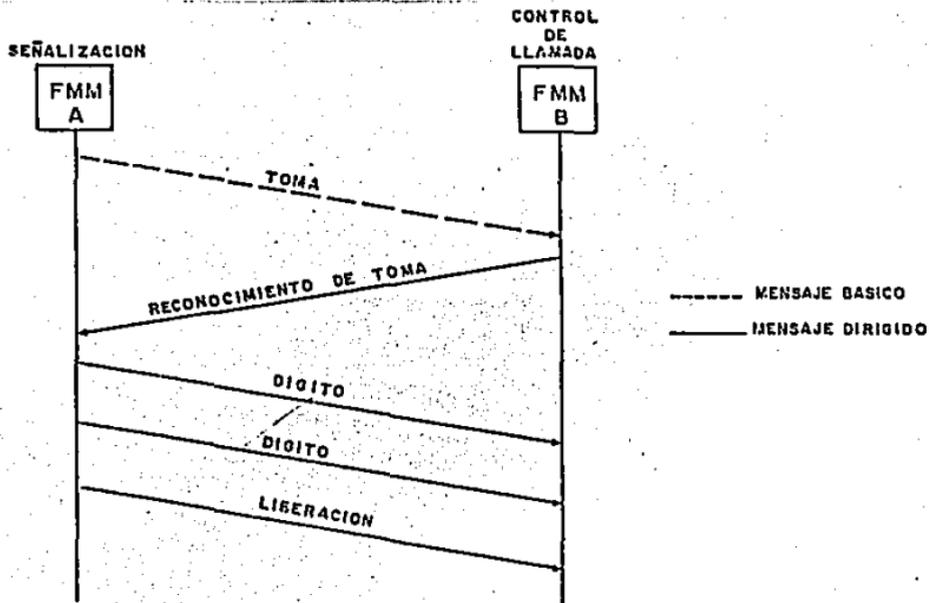


FIG 5.31 FLUJO DE MENSAJES

- Para cada combinación específica de estado de FMM y mensaje de entrada recibido, la FMM primeramente toma una acción bien definida, genera luego uno o varios mensajes de salida y después pasa a un nuevo estado específico en el que espera hasta recibirse el siguiente mensaje de entrada, para comenzar un nuevo ciclo. En términos generales, la secuencia principia desde un estado inactivo, al recibirse un mensaje inicial y termina eventualmente con el regreso al estado de inactividad.
- Una FMM opera en modo de tiempo compartido, de manera que cierto número de FMM's pueden ser usados casi simultáneamente.

En la ITT 1240, muchas FMM's existen como una participación más de las diversas funciones y se comunican mediante mensajes entre ellas mismas únicamente fig. ( 5.32 ). Estos mensajes se definen en las primeras etapas del diseño del sistema y constituyen un paso importante en la arquitectura modular. El intercambio de mensajes entre FMM's es soportado por el sistema operativo.

Para prevenir la propagación de errores las FMM's reaccionarán únicamente a formatos de mensajes aceptables: los mensajes que no están en el formato apropiado son rechazados o ignorados o pasados a un programa manejador de errores.

Para mantener las FMM's independientes unas de

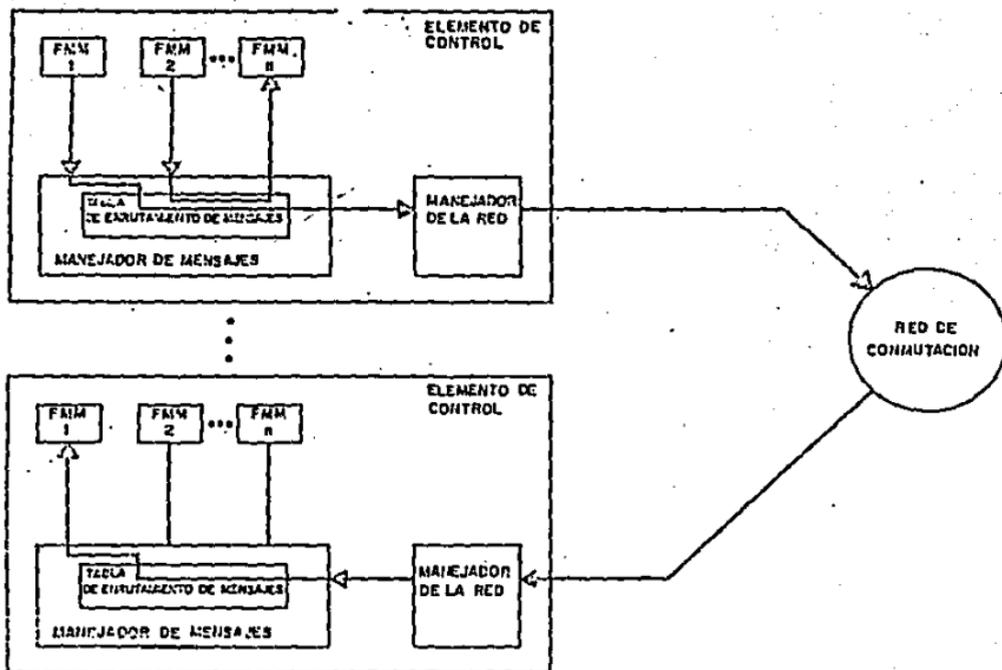


FIG 5.32 COMUNICACION ENTRE FMM'S

otras, las FMM que transmiten no necesitan conocer la identidad de la FMM receptora ni su localización física en la memoria. La identidad de las FMM receptoras es determinada por la manejadora de mensajes la cual deriva la información del tipo de mensajes y la fuente.

### - Lenguajes de Programación

El uso de lenguajes de alto nivel en el diseño del sistema, elimina la necesidad de que el programador sepa los detalles del funcionamiento de la computadora, permitiéndose así que las expresiones usadas en las instrucciones de los programas sean similares a las funciones por implementar.

El lenguaje básico utilizado en la ITT 1240 es el CHILL, el lenguaje CCITT de alto nivel diseñado especialmente con lenguaje común estándar para las autoridades mundiales en materia de telecomunicación. El CHILL tiene muchas características que mejoran el proceso de desarrollo del software: estructura de software coherente, legibilidad, transparencia, confiabilidad, tiempo breve de desarrollo, código de origen fuente entendible y facilidad de mantenimiento y de corrección de defectos.

Otro instrumento importante para el diseño del software son los lenguajes orientados hacia problemas (POL). Los Pols tienen todos los elementos necesarios para la programación estructurada, pero incluyen comandos para la ejecución directa de funciones de

conmutación. Los Pols utilizados en la ITT 1240, se basan en el CHILL y reúnen las siguientes características:

- Son lo más parecido posible al lenguaje telefónico de ingeniería.
- Son de fácil entendimiento para personal de ingeniería telefónica, que no necesitan ser programadores para poder implementar debidamente las funciones telefónicas.
- El código producido es mantenido fácilmente, tanto durante la fase de su implementación como por toda la vida útil de la central.

#### V.3.6 Facilidad de Uso

##### - Comunicación Hombre - Máquina

Las centrales de Control de Programa Almacenado, complejas y avanzadas requieren un sistema de comunicación hombre - máquina ( MMC ) a fin de realizar todo su potencial en cuento a eficiencia.

La naturaleza de la MMC determina la facilidad de uso del sistema y consecuentemente que tan efectivo puede ser el personal de operación. Algunas de las características clave de la poderosa MMC en la ITT 1240 son las siguientes:

Lenguaje CCITT                      Todos los formatos de mensajes

de entrada y salida son conformidad con el estándar recomendado por el CITT para el lenguaje Hombre - Máquina.

#### Lenguajes Nacionales

La MMC puede manejar cualquier lenguaje nacional que utilice el alfabeto romano. Pueden proporcionar varios lenguajes nacionales en una sola central ITT 1240.

#### Acceso a Terminales

La MMC proporciona comunicación Monólogo / Diálogo con ayuda para fluidez.

#### Niveles de Usuarios

El lenguaje se diseñó para usarse en más de un nivel; es decir, que a diferentes niveles de personal de la central les permite el acceso a distintos grupos de funciones.

#### No es Cerrado

El lenguaje no es cerrado, permitiendo la adición de nuevas funciones si así se desea.

#### Variedad de Elementos Periféricos

La MMC es adaptable a una amplia variedad de elementos periféricos, tales como teleimpresoras eléctricas, unidades

de video y unidades de cinta magnética y discos.

Los dispositivos de entrada / salida pueden estar localizados en la Central o en locales remotos. Para su localización remota hay dos posibilidades:

- Cierta número de centrales ITT 1240, pueden conectarse a un centro de operaciones y mantenimiento ITT 1290 centralizado. En este caso, la mayor parte de la actividad de mantenimiento y de administración ocurre por conducto de una terminal de hombre - máquina ubicada en el ITT 1290. Este arreglo no excluye el que algunas de las centrales supervisadas tengan terminales adicionales.
- Ocorre una segunda posibilidad, cuando una o varias centrales ITT 1240 son supervisadas por otra. Los dispositivos de entrada / salida de esta central supervisora, se usan entonces para las otras centrales. La comunicación requerida entre las centrales supervisadas y supervisora, se efectúa por conducto de enlaces de datos que usan canales de voz en las troncales de interconexión.

La supervisión remota tiene algunas ventajas de importancia. Concentra en un solo lugar la actividad requerida, reduciendo en consecuencia el volumen de equipo periférico de entrada / salida y su mantenimiento. Además hace que mejore el nivel de habilidad

del personal de mantenimiento, puesto que quedan expuestos a una variedad más amplia de situaciones de falla.

- Operaciones

Las funciones de operación utilizan aproximadamente una tercera parte del software de la ITT 1240, y caen dentro de tres clasificaciones: administración de la central, mediciones y administración de la red.

- Administración de la Central

Este grupo de funciones se encarga de la administración de abonados, troncales, sistemas de señalización, análisis de rutas y tarificación.

Para la administración de los abonados es posible, mediante la comunicación hombre - máquina, agregar o eliminar nuevos abonados, o características especiales para abonados, asignar números de directorio o de equipo y definir o modificar clases de servicio. La administración de troncales consiste en definir, añadir o retirar, rutas de troncal, grupos de troncales y características de las mismas, así como el manejo de troncales individuales. La administración de la señalización modifica los tipos de señalización y las capacidades de registros.

Existe una capacidad muy amplia de enrutamientos y tarificación de llamadas en la ITT 1240. Elementos tales como las zonas de tarificación, las tarifas ( en función de la hora y el día ) y los formatos de

salida, se modifican fácilmente a través de la terminal MHC.

- Mediciones

La central digital ITT 1240, proporciona una gama muy útil de mediciones de datos en la central que pueden modificarse o ampliarse rápidamente.

La recolección de los datos se halla separada del análisis y reporte de los mismos, asegurándose así la modularidad.

Los datos se recolectan sobre una base continua, sin importar si están efectuándose o no mediciones y son almacenados en una base de datos de mediciones. Los programas de mediciones operan sobre la base de datos, a fin de realizar el análisis requerido y generar reportes.

Se proporciona un grupo básico de reportes de medición; tales como distribución de las llamadas, uso del código de destinos, sobrecarga, etc. Debido a la modularidad de este subsistema, pueden añadirse fácilmente capacidad adicionales para satisfacer las necesidades peculiares de un cliente.

- Administración de la Red

El propósito de la administración de la Red, es optimizar el uso de las facilidades disponibles bajo todas las circunstancias de carga ofrecida y de dispo-

nibilidad de equipo, mejorando así la calidad del servicio y consecuentemente, los ingresos de la administración.

Las funciones de la administración de la red, pueden dividirse en dos clasificaciones principales, que son las funciones internas de la central y las funciones externas de la red.

En el nivel interno de la central, se proporcionan indicadores como la ocupación de los dispositivos de manejo de llamadas y la ocupación de los procesadores, que dan una medida del estado de la central en cuanto a tráfico.

De igual manera, en el nivel de la red, se proporcionan indicadores que dan una medición del estado de otras partes de la red, tales como relación de llamadas por código o destino, o el estado de las troncales salientes de la central.

#### - Mantenimiento

Las facilidades de mantenimiento de una central ITT 1240, se simplifica grandemente a pesar de la mayor complejidad de su circuitería. La filosofía de mantenimiento adoptada, es un procedimiento de autosupervisión y diagnósticos que utiliza técnicas de rápida detección, análisis, identificación, aislamiento, generación de alarmas y reporte detallado de fallas sin trastornar el tráfico.

La única intervención humana que se requiere es para la sustitución de elementos defectuosos, por lo general PCB's, identificados por el sistema de mantenimiento y señalados al personal encargado del propio mantenimiento mediante las facilidades de comunicación hombre - máquina y las alarmas visuales.

El alto nivel de automatización caracteriza el aspecto de mantenimiento de las centrales ITT 1240, se alcanza mediante programas de software cuyas principales funciones son las siguientes:

- Supervisión continua del sistema durante su operación normal, con el fin de detectar mal funcionamiento.
- Procesamiento de los datos generados por la función de supervisión y preparación de decisiones relativas a acciones defensivas.
- Coordinación, iniciación y realización de todas las acciones en defensa del sistema.
- Coordinación de todas las acciones resultantes de órdenes de mantenimiento expedidas por el personal de mantenimiento, por medio de una terminal hombre - máquina.
- Diagnósticos sobre el equipo defectuoso y generación de informes de alarmas dirigidos al personal de mantenimiento.

### - Bloques de Seguridad

Un bloque de seguridad se define como un grupo de unidades de hardware, más las unidades de software relacionadas con ellas, que en conjunto realizan un juego de funciones escogidas de tal manera que si falla cualquiera de ellas, las funciones restantes ya no le son de utilidad al sistema, así que todo ese bloque de seguridad es retirado del servicio.

## V.4 EXPLORACION DEL SISTEMA

La central digital 5 - 12 está disponible y operando aquí y ahora, pero su razón de ser es señalar el camino hacia la Red 2000. ¿ En qué forma afectará la vida diaria de los usuarios en última instancia, está esta tendencia en dirección de la red de entrega de información del futuro ?.

### - En el Hogar

La terminal avanzada del futuro, que puede manejar de manera simultánea voz y datos, puede servir principalmente durante el día como un medio de persona a persona para voz, imágenes y material impreso.

Por la noche, el usuario podrá emplear una sola instrucción para transformar la terminal en un dispositivo de enseñanza con base en computadora, a fin de ayudar a los niños en sus estudios. Más tarde en la misma noche, otra orden de la compañía telefónica o de

la administración puede recurrir a su función teleimpresora para proporcionar un impreso con la cuenta mensual de la familia. Y por supuesto, a la mañana siguiente podrá utilizarse la terminal para liquidar la cuenta y efectuar transferencias de fondos.

- En la Oficina

Para el usuario final, el sistema de información aparece como una terminal enchufada en una toma de corriente en la pared. Esta terminal le entrega el correo, por las mañanas. Le muestra su calendario particular, para que verifique su agenda. Le brinda acceso a una computadora, para que ponga a prueba sus decisiones alternas. El usuario efectúa una llamada del tipo de conferencia a fin de organizar una junta y su correspondiente orden del día. El sistema anota fecha, hora y participantes en el calendario, imprime la agenda en que se convino y envía copias de ella a cada asistente a la junta y al archivo electrónico. Por la tarde, el usuario escribe un memorándum, quizá se lo dicte a la terminal, que entonces exhibirá un despliegue del dictado.

En otro departamento, un ingeniero podrá usar otra terminal esencialmente igual para diseñar circuitos electrónicos o para trazar un programa de software. Un ejecutivo de finanzas tal vez la utilice para ver si se decide a ejecutar determinadas transacciones en divisas extranjeras.

- Aplicaciones

Unidad de Abonado Remoto  
 Central Local  
 Central Tándem  
 Central Local / Tándem  
 Central de Cobro / Internacional  
 Sistemas de Transmisión PCM de 24 o de 32 canales.

- Capacidad

Líneas	más de 100,000
Troncales	" " 60,000
Tráfico ( en Erlangs )	" " 25,000
Intentos de llamadas en la hora pico	" " 750,000

- Características

Líneas de Abonado analógico a 48v, 60v optativos; 1,900 ( incluyendo aparato ). Resistencia mínima de aislamiento 15,000 .

Señalización supervisora de troncales.

CD

CA

VF en banda.

VF fuera de banda.

Señalización de registro/

CD

VF pulsante.  
MFC

Señalización de canal común

CCITT # 6  
CCITT # 7

- Rutas

Erutamiento alterno  
Administración de red

- Líneas

Individuales  
Multicompartidos  
De PBX  
De Servicio restringido, o sea de origen  
o de terminación.  
De Servicio en ausencia  
De Intercepción, con aviso grabado  
De Marcación con botonería  
De Localización de llamadas maliciosas  
De Marcación abreviada  
De Servicio prioritario  
De Medidores privados de abonado  
De Transferencia de llamadas  
De Conferencia agregada  
De Llamadas en espera  
De Reloj automático de alarma  
De Alcancía

## De Llamada automática de contestación

## - Cargos por llamada

Medidores de abonado

Multimedición

Cargos por llamadas locales

Cargos centralizados por llamadas

Boletaje de cobros detallados

- DISPOSITIVOS PERIFERICOSOperaciones, Administración, Mantenimiento

Video teletipo

Lenguaje Hombre - Máquina CCITT

Pruebas de línea de abonado

Mediciones de Transmisión automáticas

Mediciones de Tráfico

Mediciones de la actuación del sistema

Supervisión Remota

Envío Remoto de alarmas

## - Central de Tránsito

Metaconta

Tándem

Erlangs

IDN

CCITT

Abonado A y B

Troncales

Lineas  
Memoria ROM  
Memoria RAM  
Código Hamming  
E & M

PBA  
Bootstrap  
Erlangs

## CONCLUSIONES

En el desarrollo de este trabajo se ha descrito la forma en que se digitaliza en sistema telefónico, en lo que es transmisión, como son los sistemas de radios digitales y los sistemas PCM; Así como en conmutación, con el sistema 1240 y las redes digitales, también se hace una comparación entre lo que son los sistemas analógicos y los sistemas digitales tanto sus ventajas como sus desventajas.

En este capítulo concluiremos con un análisis a mediano plazo para la digitalización de las comunicaciones telefónicas.

## 1) AVANCE TECNOLÓGICO

Estamos en un época de transformación tecnológica sin precedentes. En todos los campos de la ciencia y de la técnica se multiplican los conocimientos cada año, en proporción cada vez mayor. La electrónica es indudablemente la rama que más rápidamente ha evolucionado desde sus orígenes a finales del siglo XIX. La base fundamental de ésta evolución ha sido el perfeccionamiento de los elementos, como se puede ver en la figura A1. Lo anterior ha dado como resultado aumento en la capacidad de procesamiento de información y en la velocidad de transmisión de ésta, frecuencias utilizables, confiabilidad, etc. y una disminución en los costos de producción, dimensionamiento de los circuitos, consumo de energía etc.

## 2) DIGITALIZACION

Con el desarrollo y popularidad de los sistemas de computación, la técnica digital empleada en ellos surgió como una alternativa a los sistemas analógicos tradicionales. En telecomunicaciones se implanta cada vez más - con frecuencia este tipo de medios de comunicación, llegando dentro de poco tiempo a sustituir completamente a los sistemas analógicos. No debemos olvidar el enorme costo que representa cambiar una infraestructura analógica establecida. Sin embargo la creación de redes de transmisión de datos a gran escala en todo el mundo y la necesidad de manejar en un futuro no lejano cantidades enormes de tráfico telefónico son sin duda un factor decisivo para este cambio, ya que los sistemas numéricos son más compatibles con estas tareas que las tradicionales. La transformación de una red analógica en digital debe ser gradual, pudiendo establecerse 5 etapas secuenciales. Fig. A2

**PRIMERA ETAPA:** Interconexión de centrales locales o tandems con sistemas PCM de primer orden (24 ó 30 canales), aliviando de esta manera - el congestionamiento en las vías troncales. La conmutación sigue siendo analógica, requiriéndose conversores A/D y D/A - en las entradas y salidas de las centrales.

**SEGUNDA ETAPA:** Las centrales locales tandem son digitalizadas y los conversores se colocan entre las líneas de abonado y las centrales.

**TERCERA ETAPA:** Digitalización de los circuitos interurbanos mediante radios y línea digital.

**CUARTA ETAPA:** El proceso es casi total, integrada la conmutación y transmisión digital, excepto las líneas de abonado.

**QUINTA ETAPA:** Digitalización de la línea de abonado, lo que exige circuitos de cuatro hilos. Para facilitar esto, se podrían concentrar a los abonados por medio de concentradores.

### 3) LOS SISTEMAS DIGITALES EN EL AMBITO TELMEX

En la actualidad, existen más de 4500 sistemas PCM de primer orden (24 y 30 canales), operando en el área Metropolitana de la ciudad de México; en Guadalajara, Monterrey y en otras ciudades del interior se están instalando estos equipos. Obviamente esto constituye el primer paso de la digitalización.

En el Centro Telefónico San Juan están en funcionamiento 66 centrales digitales de distintos fabricantes y se planea para 1990 la instalación de 150 centrales en el Distrito Federal; por otro lado, desde 1979 está en operación la central digital de Tlahuac que da servicio a las distintas poblaciones de esa zona del Distrito Federal agrupadas en concentradores. Esto marca el inicio de la segunda etapa de la digitalización.

En lo que respecta al radio, existen en la actualidad 19

sistemas de radio digital instalados en México, siendo éstos de mediana capacidad para distancias pequeñas. La instalación de estos tipos de radios se incrementará con siderablemente en un futuro cercano, debido a las ventajas técnicas y económicas que brinda.

Finalmente, quiero expresar mi deseo de que este pro ceso de digitalización ya iniciado, nos conduzca a tener en nuestro país una red digital a la altura de las mejores del mundo.

## BIBLIOGRAFIA

- El Sector Eléctrico en México/Publicaciones SPP/ 1982.
- Proyección Telmex al año 2000/ Dirección de Planeación/ Enero 1975.
- Digital Telephony/ LM. ERICSSON/ 1974.
- Facilitating the use of Digital Radio/ Neil P. Dinn / Revista Telephone Engineer & Management Magazine/ Diciembre 1979.
- Historia de las Comunicaciones/ Valery Ponti/ Salvat Editores/ 1970.
- Comunicaciones Digitales/ Ing. Rubén J. Krustra/ Editorial Hispano Americana.
- Communication Systems/ A. Brice Carlson./Mc Graw Hill Edition.
- Ingeniería de Transmisión (Generalidades)/ Japan International Cooperation Agency.
- Ingeniería de Transmisión (Sistemas de Modulación por Impulsos Codificados)/ Japan International Cooperation Agency.
- Manual Sistema DT2-MF Telettra Industrial.

- Information, Transmission, Modulation and Noise / M. Schwartz/MC Graw-Hill.
- Fundamentos de Propagación de Microondas/ Noboru Yamane / Publicaciones Telecomex, 1974.
- Ingeniería de transmisión (Diseño de Sistemas de Microondas)/ Japan International Agency.
- Introducción a la Teoría de Sistemas de Comunicación / B. P. Lathi / Ed. Limusa.
- Volúmen no. IX /CCIR, Ginebra 1975.
- Manuales Sistema MD3-13 Telettra Industrial.
- Establecimiento de un sistema de Radio Digital en México / Ing. Hugo A. López Ortiz.