

31  
2er



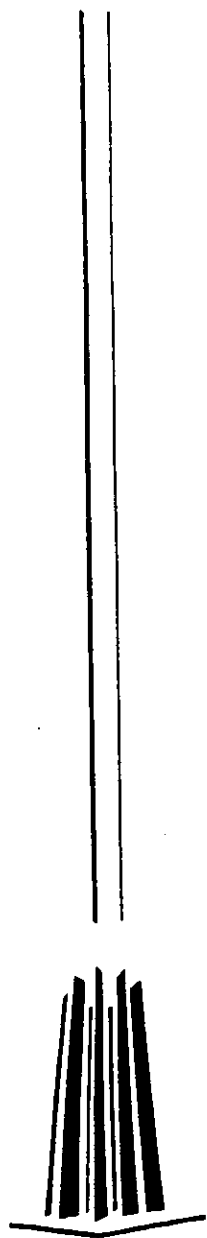
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"CAMPUS ARAGON"**

**MODELO DE UNA RED DE LARGA  
DISTANCIA SDH**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO MECANICO-ELECTRICO  
P R E S E N T A :  
JOSE ROGELIO GILDARDO GARRIDO VERISTAIN**



MÉXICO

1998.



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.

**AGRADESCO LA OPORTUNIDAD DE VIVIR QUE ME BRINDARON MIS PADRES,  
LAURO GARRIDO Y MARIA BERISTAIN Y POR CONSIGUIENTE EL APOYO  
QUE DE ELLOS OBTUVE, PARA LA CULMINACIÓN DE MIS ESTUDIOS  
CON RESPETO Y CARIÑO GRACIAS**

**MI MAS SINCERO AGRADECIMIENTO PARA MI BELLA ESPOSA  
LILIA PATRICIA VELAZQUEZ, QUIEN CON SU PACIENCIA Y CONS-  
TANCIA ME IMPULSO INFATIGABLEMENTE , PARA FINALIZAR EL  
PRESENTE TRABAJO.**

**FINALMENTE AGRADESCO EL ESTIMULO QUE  
DE MIS HERMANOS ROCIO ROGELIO Y JOSE L.  
OBTUVE**

## INDICE

	PAG
INTRODUCCIÒN	v
CAPÍTULO 1 SISTEMAS DE COMUNICACIÒN.	1
1.1.- GENERALIDADES (SISTEMAS DE COMUNICACIÒN)	2
1.2.- SISTEMAS DE COMUNICACIÒN ANALÒGICOS	4
1.3.- TIPOS DE MODULACIÒN	4
1.4.- MODULACIÒN EN AMPLITUD	4
1.5.- MULTICANALIZACIÒN POR DIVISIÒN DE FRECUENCIA (FDM)	6
1.6.- PLAN DE MODULACIÒN	8
1.7.- TEORÌADE INFORMACIÒN	11
1.7.1.- CANTIDAD DE INFORMACIÒN	13
1.7.2.- ENTROPÌA (PROMEDIO DE INFORMACIÒN)	14
1.7.3.- TEOREMA DE SHANÒN (CAPACIDAD DE CANAL)	16
1.7.4.- CAPACIDAD DE CANAL GAUSSIANO	16
1.8.- MODULACIÒN DE PULSOS	19
1.8.1.- REQUERIMIENTOS DE ANCHO DE BANDA	20
1.8.2.- MODULACIÒN POR AMPLITUD DE PULSOS (PAM)	26
1.8.3.- MODULACIÒN POR DURACIÒN DE PULSOS (PDM)	27
1.8.4.- MODULACIÒN POR POSICIÒN DE PULSOS (PPM)	29
1.9.- MODULACIÒN DE PULSOS CODIFICADOS (PCM)	30
1.9.1.- CUANTIFICACIÒN	32
1.9.2.- PRINCIPALES LEYES DE COMPRESIÒN	35
CAPITULO 2 : LA FIBRA ÒPTICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÒN	38
2.1.- MEDIOS DE TRANSMISIÒN	39
2.2.- PROPIEDADES DE LA LUZ	40
2.3.- LA FIBRA ÒPTICA Y LA CONDUCCIÒN DE ONDAS LUMÌNICAS	44
2.4.- MODOS	50
2.5.- TIPOS DE FIBRA ÒPTICA	51
2.6.- ATENUACIÒN DE LA FIBRA ÒPTICA	55
2.7.- CABLES DE F.O.	61

2.8.- EMISORES Y DETECTORES ÓPTICOS	68
2.8.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES EMISORAS	68
2.8.2.- DETECTORES ÓPTICOS	77
2.9.- CÁLCULO DE SISTEMAS	82
2.10.- CONECTORES DE F.O.	86
2.10.1 CLASIFICACIÓN DE CONECTORES	87
2.11.- EMPALMES	91
CAPÍTULO 3: TÉCNICA SDH (SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY)	94
3.1.- TRANSMISIÓN PDH (PLESYOCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY)	96
3.2.- PRINCIPIOS SDH	99
3.3.- JUSTIFICACIÓN	106
3.3.1.-DEJUSTIFICACIÓN EN LA RECEPCIÓN	108
3.4.- FUNCIÓN DEL APUNTADOR	109
3.5.- PREPARACIÓN DEL VC-4	116
3.6.- MULTIPLEXAJE DE BAJO NIVEL	118
3.7.- MULTIPLEXAJE DE ALTA VELOCIDAD	125
CAPITULO 4: APLICACIONES DE LA TÉCNICA SDH	129
4.1.- TOPOLOGÍA DE RED	130
4.1.1.- RED BUS O LINEAL	130
4.1.2.- RED ANILLO	132
4.1.3.- TIPOS DE ANILLO	132
4.1.4.- PROTECCIÓN RED MALLADA	136
4.1.5.- RED ESTRELLA	138
4.2.- EQUIPOS DE LINEA	138
4.2.1.- DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DE UNA TERMINAL	138

4.3.- EQUIPO MULTIPLEXOR DE INSERSIÓN EXTRACCIÓN (ADM)	144
4.4.- EQUIPO CROSS CONNECT	153
<b>CAPÍTULO 5: EQUIPO DE GESTIÓN Y RESTAURACIÓN</b>	<b>165</b>
5.1 RESUMEN DE FUNCIONES DE EQUIPO DE GESTIÓN	166
5.2.- CONFIGURACIÓN DE RED EQUIPO DE GESTIÓN Y CROSS CONNECT	168
5.3.- CONCEPTOS DE EQUIPO DE GESTIÓN	168
5.3.1.- LA RED DE TRANSPORTE	169
5.4.1.- VISTA FÍSICA DE LA RED	171
5.4.2.- VISTA LÓGICA DE LA RED	172
5.4.- CONCEPTO DE SUBRED	174
5.4.1.- MODELO DE SUBRED	174
5.4.2.- REGLAS PARA LA DEFINICIÓN DE SUBRED	175
5.4.3.- RELACIÓN ENTRE "GRUPOS DE ENLACES Y CABLES"	177
5.5.- ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN DE TRAYECTORIA	177
5.6.- CAPACIDAD DE RED DE TRABAJO Y RESERVA	178
5.7.- ALARMAS DE RED	179
5.8.- PRIORIDAD DE TRAYECTORIA	182
5.8.1.- MECANISMOS DE PRIORIDAD DE TRAYECTORIA	182
5.8.2.- TRAYECTORIAS SDH Y PDH	182
5.8.3.- RESTAURACIÓN	183
5.8.4.- RECUPERACIÓN DE TRAYECTORIA	183
5.9.- ALGORITMO DE RESTAURACIÓN DE TRAYECTORIA	185
5.9.1.- RECOPLILACIÓN DE ALARMAS	185
5.9.2.- LOCALIZACIÓN DE FALLAS	187
5.9.3.- SELECCIÓN/BUSQUEDA DE TRAYECTORIA DE PROTECCIÓN	187
5.9.4.- ALGORITMO DE RESTAURACIÓN	188

5.9.5.- SELECCIÓN DE TRAYECTORIA DE PROTECCIÓN DE LA TABLA DE RUTA PRECOMPUTADA	188
5.9.6.- CONSTRUCCIÓN DE LA TABLA DE RUTA PRECOMPUTADA	189
5.9.7.- SELECCIÓN DE RUTA DE PROTECCIÓN USANDO EL ALGORITMO DIJKSTRA	190
5.9.8 IMPLEMENTACIÓN DE RUTA DE PROTECCIÓN	191
5.9.9.- VALIDACIÓN DE RUTA DE PROTECCIÓN	192
5.9.10.- RESTAURACIÓN DE TRAYECTORIA	192
5.9.11 AJUSTE COSTO Y EVALUACIÓN DE CALIDAD	193
CAPÍTULO 6: CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE LARGA DISTANCIA SDH DE TELMEX	196
6.1.- RED DE TRANSPORTE	197
6.1.1.- CÁLCULO DE ENLACES FIBRA ÓPTICA	199
6.2.- SUPERVISIÓN DE EQUIPO DE TRANSPORTE	208
6.2.1.- ARQUITECTURA GENERAL DE SUPERVISIÓN	208
6.2.2.- PROTECCIÓN DE GESTIÓN	210
6.3.- GESTIÓN Y RESTAURACIÓN DE LARED CON EQUIPOS CROSS CONNECT Y 1354RA	218
6.3.1.- RED PILOTO	221
CONCLUSIONES	226
BIBLIOGRAFIA	228

## INTRODUCCIÒN

La invenciòn del telèfono en el año de 1876, realizada por Alexander Grham Bell, puede considerarse como el inicio de la telefonia, aùn cuando fuè hasta 15 años despuès en Alemania, cuando se iniciaron en forma comercial, las conversaciones telefònicas con 48 abonados (en Alemania se realizan anualmente 30 billones de conversaciones telefònicas). A partir de entonces se iniciò el desarrollo en el àrea de telecomunicaciones y en 1938 Alan H Reeves propuso una tècnica para transmisiòn de seàales codificadas, tècnica conocida como *PCM (Pulse Code Modulation)*; este desarrollo permitiò la transmisiòn de mutiples seàales digitales a travès de un solo circuito, auxiliandose del *TDM (Time Division Multiplex)* sin embargo fuè un invento adelantado a su tiempo, ya que fuè hasta 1961 que debido al acelerado desarrollo en materia de smiconductores, aparecieron en el mercado una gran variedad de dispositivos electrònicos, abatiendo con esto los costos de fabricaciòn en los sistemas PCM y hasta entonces fuè posible comercializar a los equipos PCM, de entonces y a la fecha existen 2 estandares para la digitalizaciòn de las seàales analògicas, uno es el estandar europeo basado en una velocidad primaria de 2048 Kb/s y otro el estandar Norte Americano basado en una velocidad de 1544 Kb/s

A partir de la introducciòn de equipos PCM, se iniciò una evolucion gradual pero constante en materia de telecomunicaciones, como lo prueba la introducciòn de centrales digitales a nivel local y de larga distancia extendiendo la red digital hasta las instalaciones mismas de los abonados.



Las redes digitales, han evolucionado a tal grado que en la actualidad, basan su transmisión en redes de fibra óptica y las redes digitales integradas, son capaces de ofrecer servicios tales como: teléfonos con video, videoconferencias, transmisión de datos a alta velocidad, etc

La introducción de la jerarquía digital sincrona (SDH) pretende mejorar en forma significativa la capacidad y el manejo de la red, ya que entre los beneficios que proporcionan se encuentra la gestión y restauración automática de circuitos digitales.

La jerarquía digital sincrona no es un conjunto más de especificaciones para interfaces, tramas y velocidades, ya que en realidad esta técnica pretende estandarizar la interconexión entre redes de transmisión, haciendo uso de la tecnología PDH existente, las redes SDH ("SDH" Synchronou Digital Hierarchy) se forman sobre enlaces plesiócronicos existentes.

Las principales ventajas de la Jerarquía Digital Sincrona (SDH) son :

**Estandar mundial.**- permite a las señales digitales cruzar fronteras internacionales sin la necesidad de convertirse en otro estandar

**Interfaces estandarizadas.**- el estandar de la interfaz SDH pretende terminar con la proliferación actual de interfaces.

**Mejoras en la economía.**-el uso de la F:O. permite longitudes entre termina-

les de entre 40 y 100 Km. a una velocidad de transmisión de 2.5 Gb/s lo que equivale a una capacidad de 30720 canales.

**Red de distribución de banda ancha** .- las redes de banda ancha, pueden transmitir señales de TV de alta definición, pueden interconectar Redes de Area Local (LAN) Redes de Area Metropolitana (MAN)

En suma esta nueva técnica permite una gran flexibilidad a las redes de comunicación, y ofrece una gama ilimitada de servicios a los abonados, garantizando calidad en la señal.

## 1.1. GENERALIDADES

La comunicación es la transferencia de información entre 2 puntos un emisor o fuente y uno destino o receptor.

Un sistema de comunicación es aquel que cuenta con los elementos y dispositivos que proporciona un enlace para transferir la información desde la fuente hasta el destino. En la fig. 1.1 se muestran a bloques los elementos que componen un sistema de transmisión.

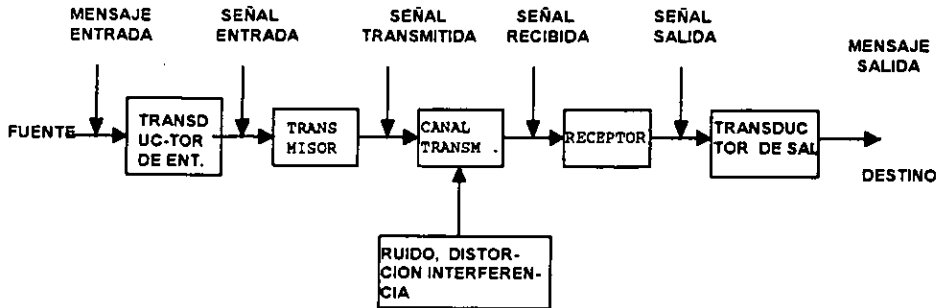


FIG. 1.1 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN

En este sistema de comunicación puede observarse como inicio del mismo la fuente de información, de la cual existe una gama de posibilidades que van desde la voz del hombre, información gráfica y escrita, fax, imágenes, datos, etc.

Se establece que el mensaje producido por la fuente no siempre es eléctrico por lo que es necesario el uso de un transductor para convertir el mensaje (acústico por ejemplo) en una señal eléctrica variable, esta señal es suministrada al transmisor.

**Transmisor:** este dispositivo es el responsable de adaptar la señal para una transmisión; esta adaptación es realizada mediante el procesamiento de la señal (la modulación es una de las operaciones más importantes del proceso).

**Medio de transmisión (canal):** es el enlace o vía que une al transmisor y al receptor; el medio de transmisor, puede ser un par de alambres, cable coaxial, espacio libre, laser a través de fibra óptica.

**Receptor:** el receptor es el responsable de extraer del medio la señal enviada por el transmisor; las señales recibidas normalmente son muy débiles, debido a la atenuación inherente a cualquier medio de transmisión, por tal motivo se requiere de una o más etapas de amplificación (la demodulación es la principal operación de receptor).

**Señales contaminantes:** dentro del proceso de transmisión de información, existen efectos que degradan la señal tales como atenuación, que reduce la potencia de la señal en función de la distancia entre el transmisor y el receptor y ocurre en diferente medida en cualquier medio de transmisión.

**La distorsión:** es la alteración de la señal, debido a la respuesta imperfecta del sistema mismo; la distorsión puede compensarse, con el diseño de redes de compensación a límites prácticos tolerables (en teoría se puede lograr una compensación perfecta).

**Interferencia:** la interferencia es la contaminación de nuestra señal por otras fuentes de información que envían señales semejantes a la nuestra es decir el receptor puede captar 2 o más señales simultáneamente; el problema de interferencia es generalmente encontrado en los sistemas de radio comunicación.

**Ruido:** el ruido es el contaminante más común y más nocivo en una señal de información y el ruido son generalmente las señales aleatorias e impredecibles de tipo eléctrico originadas dentro o fuera del sistema. Existe el ruido generado por los propios componentes del sistema, por la línea de alimentación etc. cuando el ruido se agrega a la señal portadora de información, esta puede quedar oculta o al menos oculta en gran parte; el ruido a diferencia de la distorsión, no se puede eliminar al 100% ni aún teóricamente, siendo uno de los principales problemas de la señal eléctrica.

## 1.2 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ANALÓGICOS.

El uso de portadoras de alta frecuencia proporciona una radiación de energía eléctrica más eficiente y pone al alcance anchos de banda superiores para una mejor transferencia de información.

**Modulación:** Normalmente las señales de información no pueden ser enviadas directamente hacia el medio de transmisión; por lo que es necesario usar una señal portadora que es modificada por la señal de información moduladora, la modulación es la alteración sistemática de una onda portadora de acuerdo a la señal moduladora (señal original de información); las variaciones a la portadora se hacen en la amplitud frecuencia o fase.

### 1.3 TIPOS DE MODULACIÓN:

Existen diferentes tipos de modulación como son modulación angular, modulación en amplitud, modulación en frecuencia, en fase, etc, este trabajo será enfocado hacia la transmisión simultánea de muchas señales a través de un canal de transmisión; esta tarea puede lograrse mediante el de multiplexaje (multicanalización), por división de frecuencia (FDM) por lo tanto mencionaremos en forma general la modulación en amplitud que es uno de los procesos para el multiplexaje en frecuencia (FDM).

### 1.4 MODULACIÓN EN AMPLITUD

Este procedimiento consiste en la translación de mensaje a una portadora no modulada, el distintivo de esta modulación consiste en que la envolvente de la portadora modulada tiene la misma forma que la onda del mensaje.

La fig. 1.2 muestra la señal portadora, la señal modulante (mensaje) y la señal modulada en amplitud.

La representación natural de señal modulada es:

$$A_m(t) = A(1 + M \cos_m t) \times \cos \omega_c t. \dots (1)$$

Donde la amplitud está determinada por  $A(1 + M \cos \omega_m t)$   
 $M$  = índice de modulación y es:

$$M = \frac{a}{A}$$

$a$  máxima amplitud de moduladora  
 $A$  amplitud máxima de la portadora

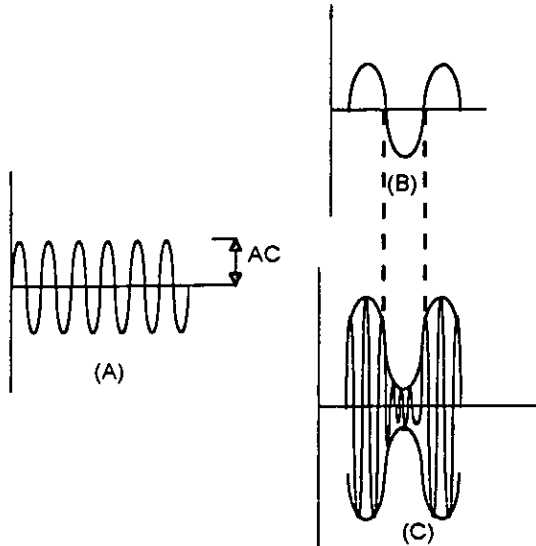


FIG 1.2 A) PORTADORA SENEOIDAL, B) FORMA ONDA MODULADORA  
 C) MODULACIÓN EN AMPLITUD

de la ec (1)  $A_m(t) = A \cos \omega_c(t) + MA \cos \omega_m(t) \cos \omega_c(t)$  ..... (2)

de la expresión :  $\cos(a) \cos(b) = \frac{1}{2} \cos(a+b) + \frac{1}{2} \cos(a-b)$

$$A_m(t) = A \cos \omega_c t + \frac{MA}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t + \frac{MA}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t$$
 ..... (3)

portadora      Banda lat. sup      Banda lat. inf.

En la ecuación (3) puede observarse que la modulación está en el dominio de la frecuencia y el contenido de información está en las bandas laterales “ambas bandas laterales contienen la misma información”.

## Representación espectral de AM

$f_a = f_r$  modulante

$f_b =$  frecuencia modulada

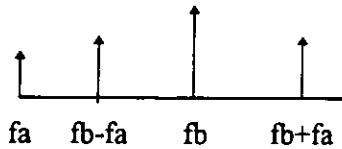


Fig 1.3 representación de las bandas laterales

Las bandas laterales están transpuestas en frecuencia y para la transmisión de información se requiere sólo una de ellas, por lo que se elimina una de las bandas laterales y la portadora; esto se logra mediante un filtro que permite el paso de una banda específica (la banda de la lateral seleccionada). El resultado del filtraje de la señal, es una señal con banda lateral única con portadora suprimida.

## 1.5 MULTICANALIZACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FREQUENCY DIVISION MULTIPLEX)

Multiplexaje es la transmisión simultánea de 2 o más señales a través de un medio de transmisión, en el caso de FDM, este multiplexaje se hace en el dominio de frecuencia.

La heterodinación o mezcla de señales de frecuencia A y B se muestra en la figura 1.4

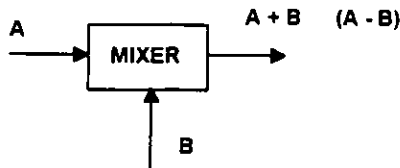


FIG 1.4 MEZCLA DE SEÑALES A Y B

A la salida del mezclador encontramos ambas señales presentes, así como la representación de la suma y diferencia en el dominio de frecuencias.

Si imaginamos que el mezclador tiene una portadora de 20 MHz y tiene espectros de frecuencia de 300 a 3400 Hz (canales telefónicos) obtendríamos a la salida la portadora y las bandas laterales superior e inferior (AM) como lo muestra la fig. 1.5

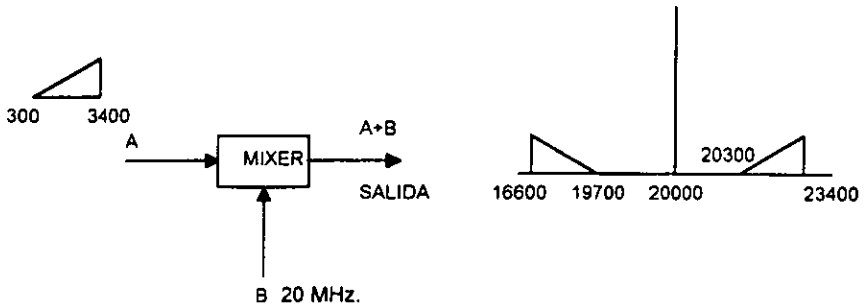


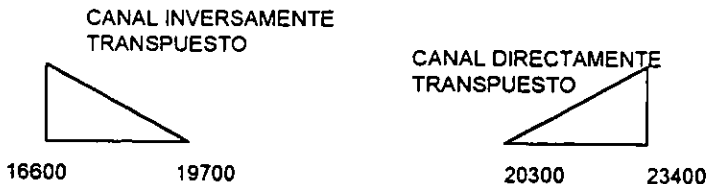
FIG 1.5. BANDAS LATERAL SUP E INF. PARA UNA PORTADORA DE 20 MHz

Podemos observar que la salida del mezclador es una señal modulada en amplitud con sus 2 bandas laterales.

Existen 2 formas de representación de los canales telefónicos en la FDM

- a) canal transpuesto directamente.
- b) canal transpuesto inversamente.

depende de la elección de la banda lateral si la transposición será directa o inversa: de la fig. 1.5 tenemos



Ahora pongamos 3 canales telefónicos como se muestra en la Fig. 1.6



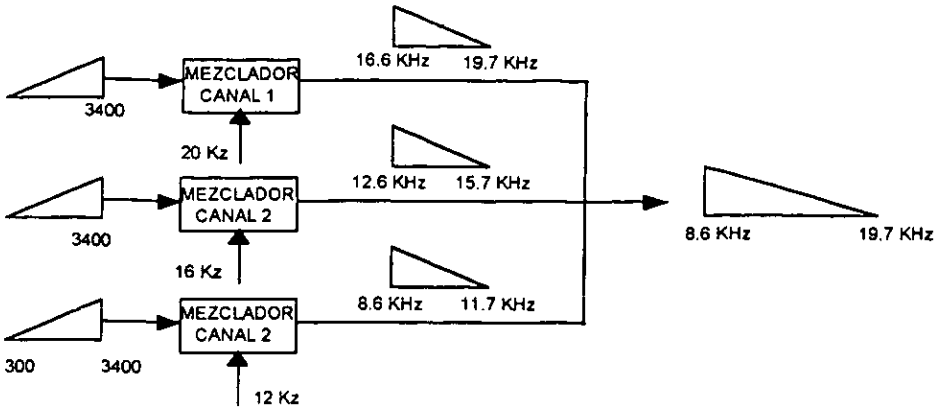
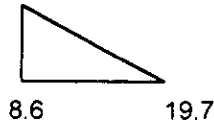


FIG 1.6 CONSTRUCCIÓN DE UN PREGRUPO

En caso de seleccionar bandas laterales inferiores y filtrar las bandas superiores en la fig.16 se observa la salida del modulador como un bus común y la señal resultante aparece como una banda de frecuencias de 8.6 KHz-19.7 KHz conteniendo 3 canales de voz trasladados en frecuencia.



## 1.6 PLAN DE MODULACIÓN

El plan de modulación es un diagrama que normalmente muestran las frecuencias y las bandas laterales seleccionadas por medio de los triángulos descritos anteriormente.

El estándar internacional indica que un pregrupo o subgrupo es la modulación de 3 canales telefónicos.

El grupo primario o grupo básico es aquel que se constituye de 12 canales telefónicos distribuidos en una banda de frecuencias de 48 KHz, mezclando cada uno de los canales de voz con una frecuencia portadora a cada canal.

Existen dos posibles bases para el grupo primario; el grupo primario fig. 1.7 donde los canales telefónicos

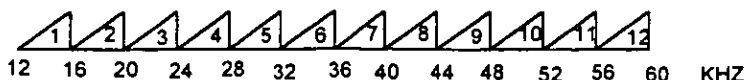


FIG. 1.7. GRUPO PRIMARIO BASE A

Son directamente transpuestos y son numerados de 1 a 12 por orden creciente de frecuencias de la banda de grupo primario es decir el canal 1 ocupa la banda de Frs. más baja.

El grupo primario de base B, en el cual los 12 canales telefónicos son inversamente transpuestos y están numerados del 1 al 12 por orden decrecientes de frecuencias; es decir el canal 1 ocupa la banda de frecuencias más alta fig. 1.7. a

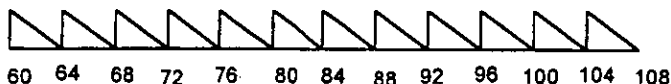


FIG 1.7. a GRUPO PRIMARIO BASE B

## GRUPO SECUNDARIO O SUPER GRUPO BÁSICO

Un super grupo contiene 5 grupos primarios (de 12 canales) equivalentes a 60 canales telefónicos; ocupando la banda de fr de 240 Khz la fig. 1.8 muestra los grupos secundarios.

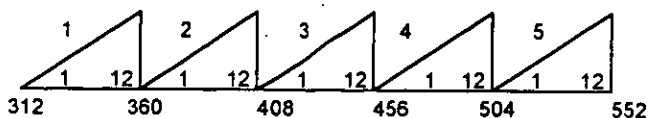


FIG 1.8 CONSTRUCCIÓN DE UN SUPER GRUPO

## GRUPO MAESTRO

El grupo maestro contiene 5 grupos secundarios de 60canales y es equivalente a 300 canales de voz, ocupando un espectro de fr. de 812-2044 Khz es decir o-

cupa una banda de 1232 KHz.; entre cada grupo secundario de 60 canales hay una separación de 8 KHz. la fig 1.9.a muestra la construcción de un grupo maestro

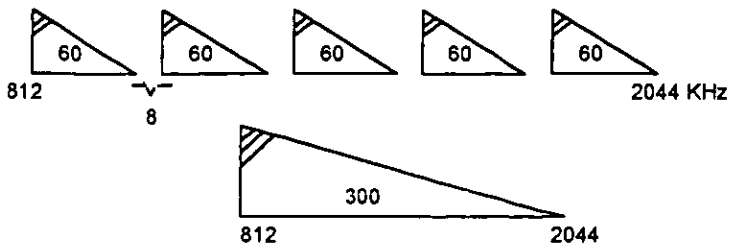


FIG. 1.9.a GRUPO MAESTRO

### SUPER GRUPO MAESTRO

El super grupo maestro (super master group) contiene 3 grupos maestros de 300canales equivalente a 900 canales y ocupa la banda de frecuencias de 8516 a 12 388 KHz., existe una separacion de 88 KHz. entre cada grupo maestro, la fig 1.9 b muestra un super grupo maestro

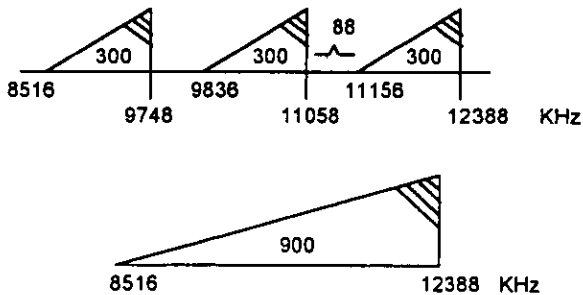


FIG 1.9 B SUPER GRUPO MAESTRO

### MIGRACIÓN A LA TRANSMISIÓN DIGITAL

Aún cuando desde sus inicios las comunicaciones eléctricas iniciaron con la transmisión de señales telegráficas (digitales, discontinuas) transmitidas en forma digital mediante el código Morse. La mayoría de las comunicaciones fueron analógicas continuas como la telefonía que por naturaleza es analógica.

El transistor y los circuitos integrados, hicieron posible una nueva orientación en el desarrollo de las telecomunicaciones hacia la red digital integrada.

### **Ventajas de la tecnología digital:**

- *Una tecnología normalizada y circuitos digitales.*
- *La posibilidad de una transmisión y conmutación de las señales normalizadas como telefonía, texto, imágenes y datos.*

La transmisión digital tiene grandes ventajas comparada con la tecnología analógica ya que una señal digital tiene valores discretos y puede ser transmitida libre de interferencias causadas por el ruido y la diafonía los cuales normalmente se sumarían la señal; esto es posible, debido a que en la transmisión digital los valores discretos (forma de pulsos) pueden ser regenerados eliminando así los problemas que deforman a la señal.

### **Desventajas de la tecnología digital**

Las desventajas que se tuvieron inicialmente en los sistemas digitales, fueron principalmente de costos, ya que la conversión de la señal analógica resultaba cara y complicada, otra desventaja es la distancia máxima que existe entre regeneradores que es de 1800 m., así como el incremento del ancho de banda .

Una parte importante para las comunicaciones digitales es la llamada teoría de información, que a continuación abordamos.

## **1.7 TEORÍA DE INFORMACIÓN**

En los años de 1948 y 1949 Claude Shannon encontró que la razón de error para un canal dado, puede reducirse tanto como se desee, es decir la probabilidad de ocurrencia de un error durante la transmisión de un tren de bits puede reducirse mediante una adecuada codificación de la señal de entrada, siempre y cuando la velocidad de señalización binaria  $R$  b/s, sea menor que un número específico y determinado por la potencia del transmisor, el ruido de canal y el ancho de banda.

La máxima velocidad de transmisión es conocida como "capacidad de canal" o "capacidad de sistema" propiamente dicho.

**Contenido de información:** es el número de símbolos binarios necesarios para la transmisión de un mensaje.

**INFORMACIÓN:** Dentro del concepto de teoría de información, el término información, es únicamente técnico ya que no existe una definición precisa de él, aunque existen algunas definiciones que intentan dar una idea aproximada del significado del término, como la que a continuación se expresa:

Se entiende por información una señal o un conjunto de señales que cambian impredeciblemente con el tiempo; pero la idea fundamental de la teoría de información, es aquella que nos dice que la información es una cantidad física medible como la masa o el calor por ejemplo y se usa para establecer matemáticamente la velocidad de información de una fuente, la capacidad de canal y la eficiencia del código mediante el cual se transmite la señal.

Entendamos por contenido de información el número necesario de símbolos binarios aleatorios, para la transmisión de un mensaje.

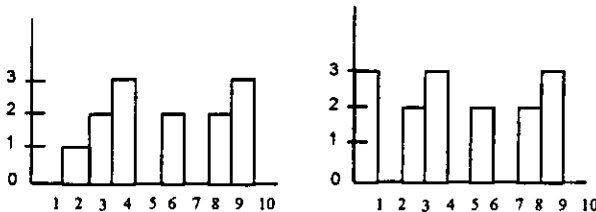


FIG. 1.10 SIMBOLOS BINARIOS ALEATORIOS

La fig. (1.10) muestra 2 combinaciones del total que pueden transmitirse cuando se tiene un intervalo  $T = 10$  seg., con 4 diferentes niveles de amplitud, incluyendo el 0, en esta fig., puede apreciarse que cambian únicamente los primeros 2 niveles de amplitud siendo iguales los demás y se deduce que en este caso existen  $4^{10}$  diferentes combinaciones; si en lugar de 4 niveles tuviésemos  $n$  niveles e intervalos de  $t$  seg. de duración en lugar de 1 seg., entonces el número total de combinaciones en un periodo de  $T$  seg. sería:

$$n^{T/t}$$

y podemos decir que la información es proporcional al tiempo de transmisión:

$$I \text{ Transm. } \frac{T}{t} \log n$$

$$I = \frac{T}{\tau} \log_2 n \quad (2.1)$$

### 1.7.1 CANTIDAD DE INFORMACIÓN

Para obtener mayor idea de este término, considérese que se tiene un sistema que maneja los mensajes  $m_1, m_2, \dots, m_n$  con sus respectivas probabilidades de ocurrencia  $p_1, p_2, \dots, p_n$  sabiendo que  $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$  y suponiendo que se transmite el mensaje  $m_k$  con su probabilidad de ocurrencia correspondiente  $p_k$  y el receptor identifica correctamente el mensaje enviado el sistema lleva una cantidad de información dada por:

$$I_k = \log_2 \frac{1}{P_k} \dots \dots \dots (2.2)$$

En la expresión anterior se nota que  $I_k$  es adimensional, por lo que se asigna por convención como unidad de información el bit; el razonamiento en el que se apoya esta convención es el siguiente: La información, es una medida de la elección ejercida por la fuente y la elección más simple es la binaria.

Por lo tanto, el término bit, se usa para recordar que en la ecuación 2.2, la base del logaritmo es 2. así cuando los dígitos binarios 0 y 1 pueden ocurrir con la misma probabilidad ( $P(1) = P(0) = 1/2$ ) entonces cada bit lleva una cantidad de información de:

$$I = \text{Log}_2 1 // 1/2 = \text{Log}_2 2 = 1 \text{ bit}$$

Cuando se tienen 2 posibles bit, con diferente probabilidad de ocurrencia uno de ellos (el de menor probabilidad) tendrá mayor incertidumbre y por lo tanto contendrá mayor información por ejemplo, pensemos en el 0 y el 1 que tienen una probabilidad de ocurrencia de  $1/4$  y  $3/4$  respectivamente el "0" lleva una cantidad de información igual a:

$$\text{Log}_2 4 = 2 \text{ bits de informaci3n}$$

$$\text{Log}_2 \frac{1}{1/4} = \text{Log}_2 4 = 2$$

$$\text{y el 1: } \text{Log}_2 1/3/4 = \text{Log}_2 4/3 = 0.42 \text{ bits}$$

Suponiendo que haya **M** mensajes independientes igualmente probables y que  $M = 2^N$ , donde N es un No. entero, entonces la informaci3n en cada mensaje ser3:

$$Y = \log_2 2^N = N \text{ bits}$$

Si tuvi3ramos una probabilidad  $P_k = 1$  se tiene 3nicamente un posible mensaje y en este caso puesto que el receptor conoce ya el mensaje, no existe la menor incertidumbre y por lo tanto no hay informaci3n para transmitir tal como queda comprobado aplicando la expresi3n 2.2

$$I = \text{Log}_2 \frac{1}{1} = \text{Log}_2 1 = 0$$

De lo anterior deducimos que la medida de la informaci3n est3 relacionada con la incertidumbre y adem3s que la cantidad de informaci3n depende 3nicamente de la incertidumbre del mensaje.

En caso de tener dos mensajes independientes  $m_k$  y  $m_l$ , los cuales son identificados correctamente, la cantidad de informaci3n contenida es la suma de informaci3n asociada a cada uno de los mensajes, donde la probabilidad compuesta es  $P_k P_L$  y el correspondiente contenido de informaci3n es:

$$I_{kL} = \text{Log}_2 \frac{1}{P_k P_L} = \text{Log}_2 \frac{1}{P_k} + \text{Log}_2 \frac{1}{P_L} = I_k + I_L \dots\dots\dots (2.3)$$

### 1.7.2 PROMEDIO DE INFORMACI3N ( ENTROPÍA )

Sabemos que un sistema de comunicaci3n se encuentra dise1ado para el mayor n3mero de mensajes posibles que la fuente de datos pueda producir, por lo que la fuente debe describirse en t3rminos de la informaci3n promedio producida, esta informaci3n promedio recibe el nombre de entropía.

En una sucesión de símbolos estadísticamente independientes se tiene una transmisión de M diferentes mensajes siendo éstos  $m_1, m_2, \dots, m_n$  con sus correspondientes probabilidades de ocurrencia  $P_1, P_2, \dots, P_n$  suponiendo que se genera una secuencia de mensajes "L" siendo L muy grande, entonces la secuencia de transmisión de los mensajes será:

$$P_1 L \text{ mensaje de } m_1 \quad P_2 L \text{ mensajes de "m}_L\text{"}$$

Por lo que tendremos una cantidad total de información de:

$$I \text{ total} = P_1 L \log_2 \frac{1}{P_1} + P_2 L \log_2 \frac{1}{P_2} + \dots + P_k L \log_2 \frac{1}{P_k} \dots \dots \dots (2.4)$$

Si la expresión anterior se divide entre L encontramos el promedio de información por intervalo de mensaje (H).

$$H = \frac{I_{\text{total}}}{L} = P_1 \log_2 \frac{1}{P_1} + P_2 \log_2 \frac{1}{P_2} + \dots + P_k \log_2 \frac{1}{P_k} \text{ bits/símbolo} \dots \dots \dots (2.5)$$

Este promedio de información se conoce como entropía y significa que aunque no se pueda decir cuál es el símbolo inmediato que producirá la fuente, sí se sabe que en promedio se obtendrán H bits de información por símbolo o bien LH bits, en un mensaje de L símbolos. Además la entropía se encuentra en función (es dependiente) de la probabilidad del mensaje; un ejemplo de la dependencia de H es cuando se tienen únicamente 2 mensajes con probabilidades P y (1-P) donde la H (entropía):

$$H = P \log_2 \frac{1}{P} + (1-P) \log_2 \frac{1}{1-P} \dots \dots \dots (2.6)$$

La fig. 1.11 muestra la construcción gráfica de la expresión anterior, en ella se puede apreciar que para  $P=0$  y  $P=1$  la entropía es igual a cero y la máxima entropía se encuentra cuando  $P=0.5$



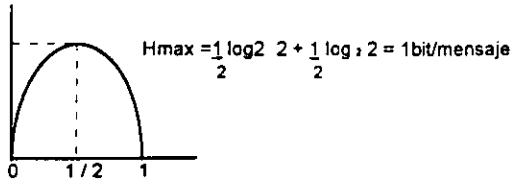


FIG. 1.11 ENTROPIA MAXIMA EN P= 0.5

Cuando se tienen  $M$  mensajes se alcanza la máxima entropía cuando todos los mensajes son igualmente probables, es decir cuando cada mensaje tiene una probabilidad de:  $P = \frac{1}{M}$  y  $H_{max}$  será:

$$H_{max} = \sum \frac{1}{M} \log_2 M = \log_2 M \quad \text{ya que los términos } M \text{ están en la sumatoria}$$

### VELOCIDAD DE INFORMACIÓN (INFORMATION RATE).

Si la fuente de mensajes, genera estos mensajes a una velocidad de  $r$  mensajes por segundo, la velocidad de información se define como:  $R = rH$  bits promedio de información por segundo.

### 1.7.3 TEOREMA DE SHANON, CAPACIDAD DE CANAL.

El teorema de Shanon es de fundamental importancia dentro de la teoría de las comunicaciones y habla sobre la velocidad de información de un canal (sistema) de transmisión, el teorema de Shanon dice que: es posible en un canal de comunicación a través del cual sea posible transmitir información, con una probabilidad de error arbitrariamente pequeña, a una velocidad igual o menor a la capacidad de canal.

La característica más importante de este teorema radica en la posibilidad de completar una transmisión sin errores aún con presencia de ruido, siempre y cuando  $R \leq C$  (la velocidad de información sea menor o igual a la capacidad del sistema).  $R = \text{Vel. de Inf.}$  y  $C = \text{capacidad de canal}$ .

Para la definición de capacidad de canal, supóngase un número de mensajes muy diferentes entre sí  $M(T)$  y se reciben con una probabilidad de error suficientemente pequeña, de donde la máxima entropía que puede obtenerse es

(MT) y la máxima velocidad de entropía es  $1/T \log M(T)$  y haciendo que  $T > a$  para mayor generalidad, tenemos que:

$$C = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \log_2 M(t) \text{ b/s} \dots\dots\dots(2.8)$$

### 1.7.4 CAPACIDAD DE UN CANAL GAUSSIANO

Un teorema complementario al de Shanon, que se aplica a los canales con ruido Gaussiano, es conocido como teorema de Shanon-Hartley y es el siguiente:

La capacidad de canal de un canal con ruido blanco Gaussiano limitado en banda es:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \text{ b/s} \dots\dots\dots (2.9)$$

- Donde:
- B*: es el ancho de banda del canal.
  - S*: potencia de la señal.
  - N*: ruido total del canal con  $N = \eta B$  y  $\eta/2$  para un espectro de potencia de doble banda.

Este teorema es muy importante, ya que la gran mayoría de canales en los sistemas físicos de comunicación son muy aproximados a los canales Gaussianos; por ejemplo si se desea determinar la  $P_e$  (probabilidad de error) en el diseño de un codificador/decodificador real, es posible usar un canal Gaussiano para determinar esta  $P_e$  ya que la diferencia entre ambas probabilidades de error ( $P_e$ ) la de un canal Gaussiano y la de uno físico es muy pequeña.

Para la obtención de la ec (2.9) suponemos que para propósitos de transmisión en el canal, los mensajes están representados por niveles fijos de voltaje, la fuente de datos genera dichos mensajes en forma secuencial, uno detrás de otro, entonces la señal a transmitir  $S(t)$  toma una forma similar a la mostrada en la fig. 1.12

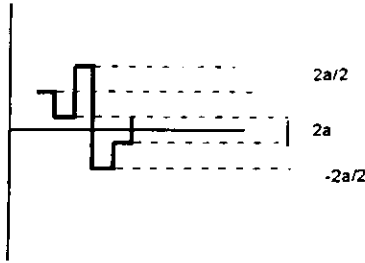


Fig. 1.12 señal S(t) muestra la secuencia de mensajes representados por niveles de voltaje.

La señal mostrada, viene mezclada con ruido, cuyo voltaje es la raíz cuadrática media  $\sigma$ , los niveles de la señal, se encuentran separados a intervalos  $\sigma$ , donde  $\lambda$  es un número suficientemente grande que permite el reconocimiento de niveles individuales con una muy aceptable probabilidad de error, se supone que los niveles de voltaje se localizan en:  $\pm\lambda\sigma/2$ ,  $\pm 3K\sigma/2$ . etc, se tienen M mensajes con niveles equiprobables.

La señal de potencia promedio es:

$$S = \frac{2}{M} \left\{ \frac{(\lambda\sigma)^2}{2} + \frac{(3\lambda\sigma)^2}{2} + \dots + \frac{[(M-1)\lambda\sigma]^2}{2} \right\} = \frac{M^2-1}{12} (\lambda\sigma)^2 \quad (2.10)$$

De la ec. 2.10 tenemos que el número de niveles es:

$$M \left[ \frac{12S}{\lambda^2 \sigma^2} + 1 \right]^{1/2} = M = \left( 1 + \frac{12S}{\lambda^2 \sigma^2} \right)^{1/2} = \left( 1 + \frac{12}{\lambda^2} \frac{S}{N} \right)^{1/2}$$

Donde la potencia del ruido es  $\sigma^2 = N$  y cada mensaje lleva una entropía de:

$$H = \log_2 M = \log_2 \left( 1 + \frac{12}{\lambda^2} \frac{S}{N} \right)^{1/2} = \frac{1}{2} \log_2 \left( 1 + \frac{12}{\lambda^2} \frac{S}{N} \right) \text{ bits/mensaje} \dots\dots\dots(2.11)$$

Para encontrar la velocidad de la señal S(t) de la fig. (1.12) se necesita el intervalo de tiempo "T" que debe asignarse a cada mensaje, para reconocer individualmente en el receptor los n niveles transmitidos; suponiendo que  $T = 2 = 0.5$  b (suposición hecha a partir del conocimiento de la respuesta que tiene

un filtro paso bajas de banda B en el tiempo de subida  $t = 0.44 B$  para un rango del 10%-90%.

$$r = \frac{1}{T} = 2B \text{ mensajes/s}$$

ya que la transmisión de cualquiera de los M mensajes es igualmente probable tenemos:

$$H = \text{Log}_2 M$$

por lo tanto la velocidad de transferencia de energía es  $R = rH$  ahora si hacemos que  $R \approx C$  para asegurar que el canal permita la transmisión con una aceptable probabilidad de error tenemos entonces:

$$C \approx R = rH = 2B \left( \frac{1}{2} \text{Log}_2 \left( 1 + \frac{12}{\lambda^2} \frac{S}{N} \right) \right) = B \text{Log}_2 \left( 1 + \frac{12}{\lambda^2} \frac{S}{N} \right) \dots\dots\dots(2.12)$$

si hacemos  $12/\lambda^2 = 1$  ( $\lambda \approx 3.5$ ) La ec 2-12 = a la ec 2.9.

Sin embargo es importante enfatizar que en la ec. 2.12 la información puede transmitirse con un error pequeño, mientras que el teorema de de Shanon-Hartley contempla que con sofisticadas técnicas, la transmisión de información puede existir con un error arbitrariamente pequeño

## 1.8 MODULACIÓN DE PULSOS

Un sistema de modulación de pulsos, es aquel en el que una onda continua se muestrea a intervalos regulares de tiempo y la información es transmitida únicamente en los tiempos de muestreo; en el receptor la señal original se recupera a partir de las muestras recibidas. La modulación de pulsos se puede dividir en dos categorías una de ellas es la analógica en la cual la amplitud de las muestras tiene una variación infinita; en esta categoría pueden definirse tres tipos principales, que son los siguientes:

- Modulación de impulsos en amplitud (PAM)
- Modulación de impulsos en duración (PDM)
- Modulación de impulsos en posición (PPM)

la segunda categoría es la llamada digital, que tiene como característica que su amplitud tiene un nivel predeterminado. Esta predeterminación de nivel la da el código usado para la transmisión de la señal, en esta categoría se pueden distinguir:

*Modulación por impulsos codificados (PCM)*  
*Modulación Delta (DM)*

La modulación Delta es una derivación del PCM, la fig. 1.13 ilustra las diferentes técnicas de modulación por pulsos.

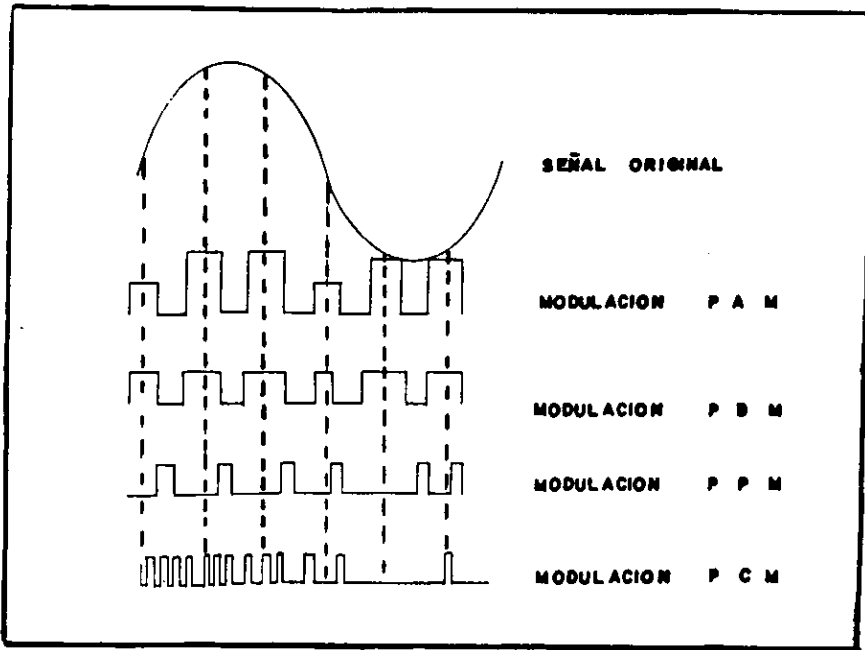


Fig. 1.13 diferentes tipos de modulación de pulsos

### Requerimientos de ancho de banda

El espectro de una señal de modulación de pulsos, se ve influenciado en cada punto dentro del sistema por varios parámetros, tales como el filtrado para su

limitación en banda, velocidad, forma de modulación, etc. La influencia de estos parámetros es de suma importancia para el diseño de sistemas digitales.

Cuando un voltaje discreto (de una onda cuadrada), se hace transitar a través de un filtro paso bajas para su limitación en banda, esta señal cuadrada debido a la respuesta del filtro, se reducirá a una onda trapezoidal y puede llegar a parecer una onda senoidal en función de cuanto se reduzca el ancho de banda del filtro, hasta llegar a un punto crítico donde la onda senoidal empieza a reducir su amplitud, este punto se define como el ancho de banda de NYQUIST.

El ancho de banda de Nyquist es el ancho de banda mínimo a través del cual un pulso con un ancho de banda B, puede pasar manteniendo completa su amplitud y que además da una interferencia intersimbólica de cero entre los canales adyacentes.

El teorema de muestreo de nyquist, dice que una señal  $f(t)$  limitada en banda a B Hz se muestrea a una frecuencia de al menos dos veces la frecuencia de la señal continua, sin destruir ningún contenido de información de la misma.

$$f_s = 2 f(t) \quad \text{Donde } f_s = f_r \text{ de muestreo.}$$

$$f(t) = f_r \text{ de la señal de información.}$$

El muestreo se logra mediante la operación de conmutación mostrada en la fig. 1.14

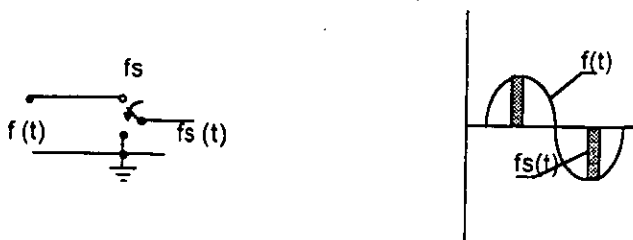


FIG. 1.14 a) MUESTREADOR

b) FORMAS DE ONDA

El ancho de banda mínimo (banda de Nyquist) para la transmisión de  $f_s$  símbolos independientes queda representado por:

$$B = f_s/2 \quad B = \text{mínimo ancho de banda} \quad f_s = f_r \text{ de muestreo}$$

En un sistema binario un símbolo transmitido, contiene únicamente un bit de información y por lo tanto la velocidad de símbolos es la misma que la velocidad de bits ( $f_b=f_s$ ); para un sistema multinivel cada símbolo contiene  $n$  bits de información, donde:

$$n = \log_2 M \quad \text{Donde: } n = \text{No. de bits} \\ M = \text{No. de niveles}$$

La velocidad de símbolos se encuentra dada por:

$$f_s = f_b/n$$

Para tener mayor claridad sobre este concepto, supongamos que se transmitirá una información con una velocidad de bits  $f_b = 6 \text{ Mb/s}$ , y la transmisión se hará mediante un esquema binario, el ancho de banda base mínimo requerido será de:

$$B = f_s/2 \qquad f_s = f_b \quad (\text{sistema binario})$$

$$B = f_b/2 = 6 \text{ Mb/s}/2 = 3 \text{ Mhz}$$

Pero si en lugar de un sistema binario, tuviésemos una técnica de modulación de 8 niveles es decir  $M=8$  entonces el mínimo ancho de banda es:

$$B = f_s/2; \quad f_s = f_b/n; \quad B = f_b/n/2, \quad B = f_b/2n$$

$$\text{y si } n = \log_2 M \quad M = 8; \quad n = \log_2 8 = 3$$

$$\therefore B = 6/2(3) = 1 \text{ Mhz}$$

Los símbolos transmitidos a través de un canal teórico de Nyquist, (ancho banda  $f_s/2 \text{ Hz}$ ) a una velocidad de  $f_s = 2B$  símbolos/s; alcanzan su máximo valor durante los instantes de la muestra, sin que exista degradación en la señal, gracias a los filtros ideales de Nyquist, que tiene un factor roll-off  $\alpha=0$ ; en la fig. 1.15, se muestran las características de amplitud de un canal de Nyquist con diferentes factores roll-off ( $L$ ); en esta fig., también se aprecia que la respuesta en amplitud  $|H(f)|$ , tiene diferente forma cuando se trata de un

impulso que cuando se trata de un pulso. En sistemas prácticos se usan pulsos rectangulares con una duración de:

$$T_b = 1/f_s$$

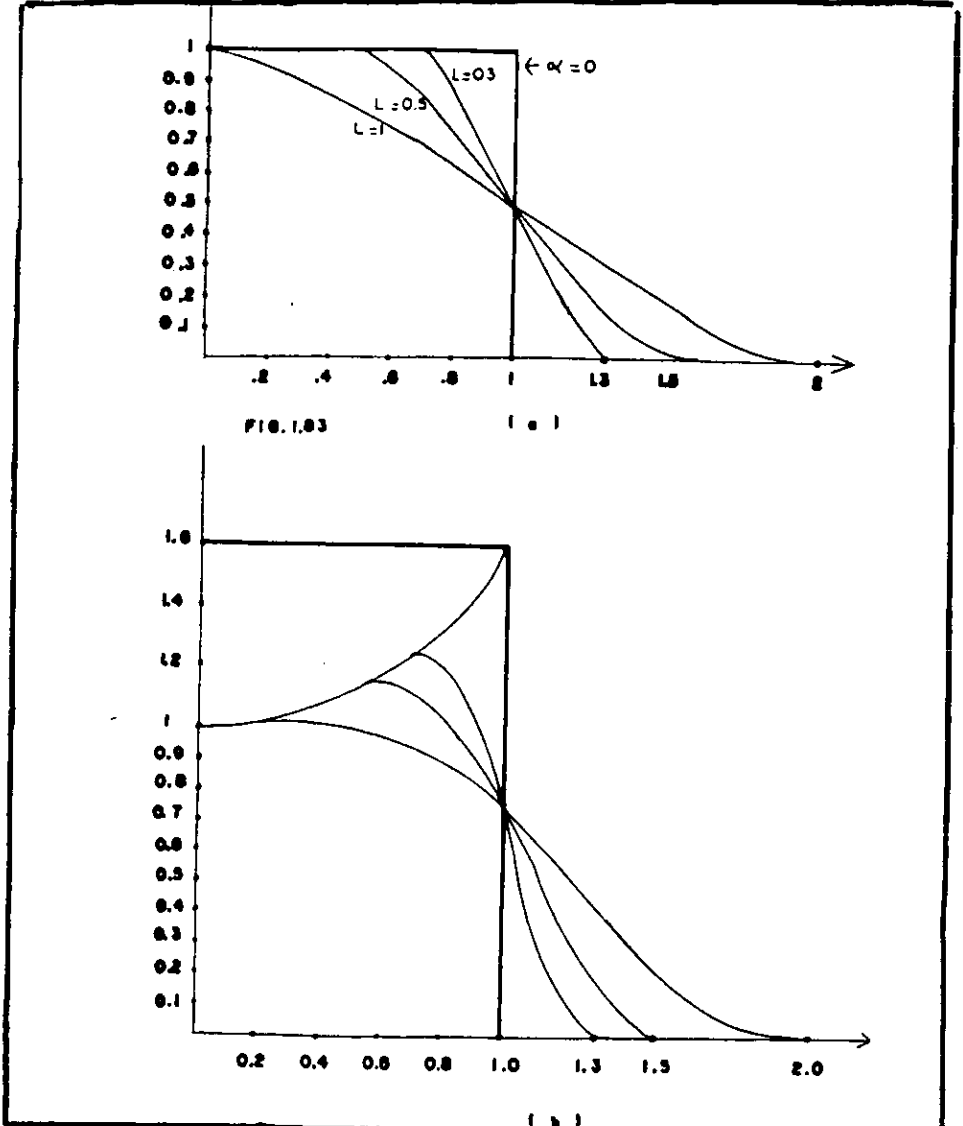
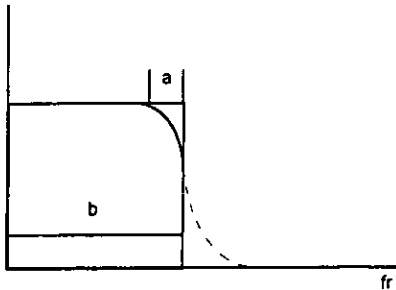


Fig. 1.15 característica de amplitud de un canal de Nyquist a) para un impulso b) para un pulso



Hemos mencionado que el factor roll-off es muy importante dentro de un sistema de comunicación por pulsos, a continuación damos una definición de este factor.



Factor roll-off:  $\alpha = a/b$

El factor roll-off es una medida de la deformación que sufre el pulso al ser transmitido.

El módulo de un filtro teórico para pulsos infinitesimalmente angostos dado por:

$$H(j\omega) = \begin{cases} 1 & 0 \leq \omega \leq \pi/T_s (1 - \alpha) \\ \cos \left\{ \frac{T_s}{4\alpha} \left[ \omega - \frac{\pi(1-\alpha)}{T_s} \right] \right\} & \pi/T_s (1 - \alpha) \leq \omega \leq \pi/T_s (1 + \alpha) \\ 0 & \omega > \pi/T_s (1 + \alpha) \end{cases}$$

$\omega = 2 \pi f$

Para pulsos rectangulares con una velocidad de  $f_s = 1/T_s$  símbolos/s la función de amplitud del canal de Nyquist es:

$$H(SW) = \begin{cases} \frac{\omega T_s/2}{\text{Sen}(\omega T_s/2)} & [0 \leq \omega \leq \frac{\pi}{T_s} (1 - \alpha)] \\ \frac{\omega T_s/2}{\text{Sen} \omega T_s/2} \cos^2 \left\{ \frac{T_s}{4\alpha} \left[ \omega - \frac{\pi(1-\alpha)}{T_s} \right] \right\} & \left[ \frac{\pi}{T_s} (1 - \alpha) \leq \omega \leq \frac{\pi}{T_s} (1 + \alpha) \right] \\ 0 & [\omega > \frac{\pi}{T_s} (1 + \alpha)] \end{cases}$$

Ya que el diseño de un canal de Nyquist con un factor roll-off  $\alpha=0$  requeriría de un número infinito de secciones de filtro, siendo imposible hacerlo, realmente se desarrolló una tecnología mediante la cual se ha logrado una aproximación para  $\alpha=0.3$ ; con esta aproximación se requiere únicamente de un 30% del ancho de banda de Nyquist; es decir si se tuviera un canal normalizado a  $B=1$  Hz, con un factor  $\alpha=0$  se podrá transmitir a una velocidad de 2 símbolos/s en un sistema binario se transmiten a una velocidad de 2 bits/s/Hz; si  $\alpha=0.3$  en lugar de  $\alpha=0$ , la velocidad sería:  $2:1.3 \approx 1.54$  b/s / Hz.

Cuando el muestreo se hace a una frecuencia menor que dos veces la  $f_r$  de la señal de información existe una gran cantidad de interferencia intersimbólica (ISI), tal como se muestra en la fig. 1.16 (b)

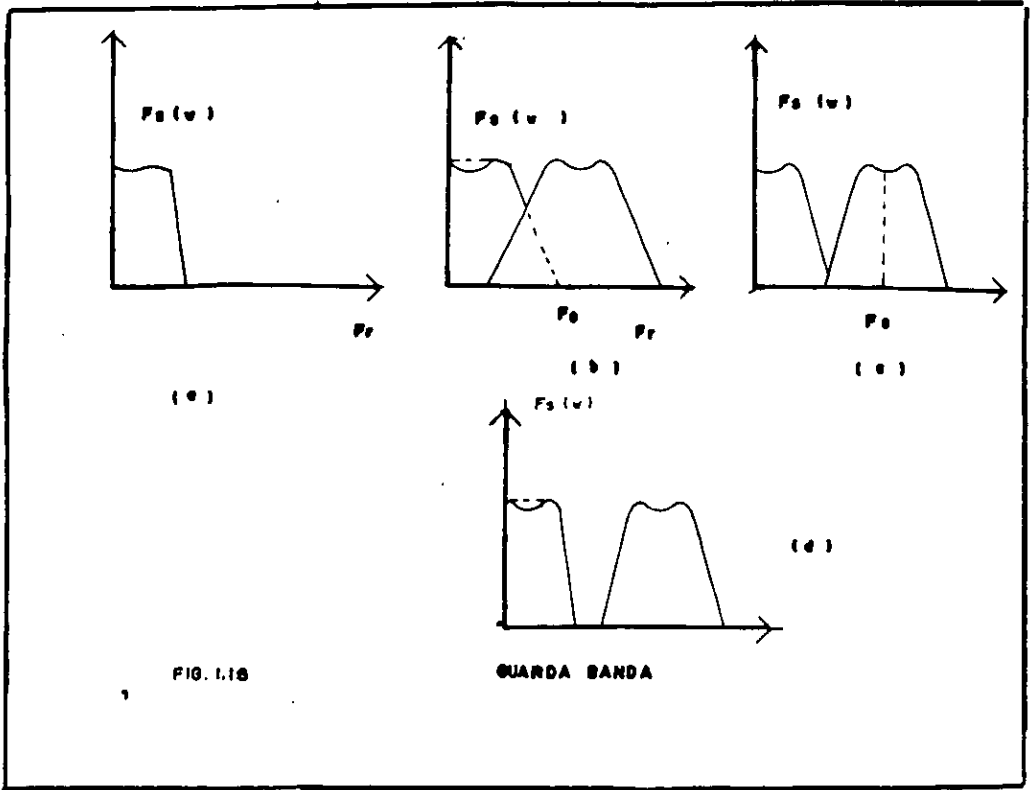


Fig.1.16 a) señal que se desea muestrear, b) señal muestreada a  $f_s < 2f_{\text{máx}}$ , c) señal muestreada a  $f_s = 2f_{\text{máx}}$ , d) señal muestreada a  $f_s > 2f_{\text{máx}}$

En la fig. 1.16 C se ilustra que si se muestrea exactamente al valor de Nyquist el filtro debiera tener una característica de corte infinito ( $\alpha=0$ ) en la práctica debido a la característica de corte de los filtros ( $\alpha=0.3$ ) si se muestrea a  $f_s > 2 f_{\text{máx.}}$  para tener un margen de protección, denominado guarda banda.

### 1.8.2 MODULACIÓN PAM

La modulación PAM es la más simple de las modulaciones por pulsos, está constituida por pulsos unipolares cuyas amplitudes son proporcionales a la amplitud de la señal de información en el momento instantáneo de la muestra podemos, decir que el resultado inmediato del muestreo, es precisamente la modulación PAM.

La fig. 1.17 muestra la generación de la señal PAM usando únicamente una compuerta AND en que a la que en una de sus entradas se aplica la señal que se desea convertir y por la otra entrada se aplica un tren de pulsos a la fr. de muestreo; con este dispositivo se obtiene el mismo resultado que con la llave rotativa de la fig. 1.14 (muestreo).

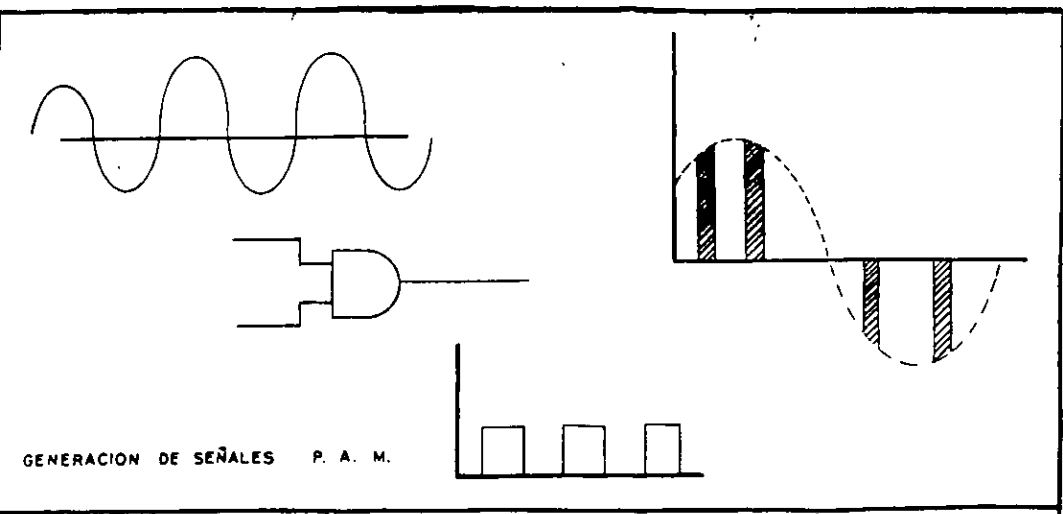


FIG. 1.17. GENERACIÓN DE SEÑALES PAM

### 1.8.3 MODULACIÓN POR DURACIÓN DE PULSOS. (PDM)

En este tipo de modulación, la amplitud se mantiene fija y el ancho del pulso se hace proporcional a la amplitud de la señal original, en el momento de tomar la muestra; la fig. 1.18 muestra una modulación por ancho de pulsos.

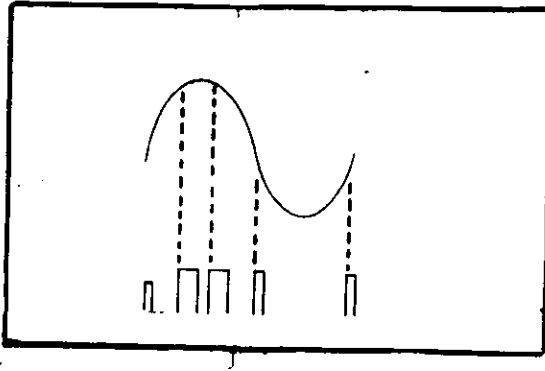


FIG. 1.18 MODULACIÓN POR DURACIÓN DE PULSOS

La fig.1.19 ilustra la generación de una señal modulada por amplitud de pulsos

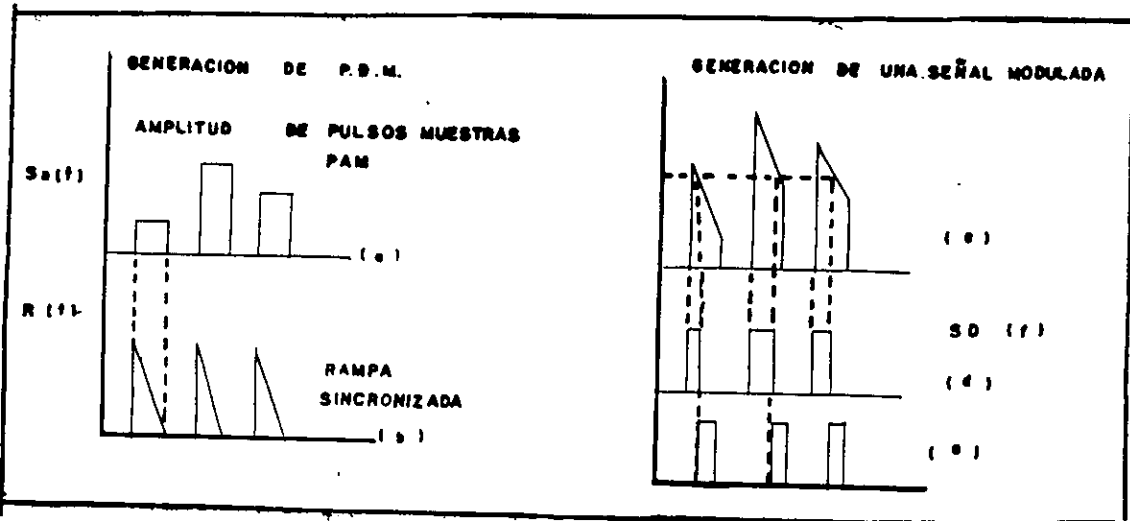


Fig.1.19 generación de señales PDM (a) serial PAM, (b) auxiliar sincronizada (c) suma de las señales (a) y (b), (d) señal modulada por duración de pulsos

Como 1er. paso se genera una señal PAM fig. 1.20 a continuación se genera también una forma de onda tipo rampa sincronizada, estas señales se suman y se alimentan a un circuito comparador que tiene un nivel de referencia, el comparador tiene una salida que asume solo 2 valores de voltaje; uno de estos niveles está sujeto, mientras la señal de entrada sea menor que el nivel de referencia, el otro valor aparece cuando el valor excede la referencia; la amplitud de la rampa se ajusta para ser poco mayor que la variación en amplitud de las muestras de PAM para lograr que la tolerancia siempre intersece la suma de la  $S_a + R$ . El primer cruce de nivel de referencia, genera el borde de subida de un pulso a la salida del comparador, el 2o. cruce genera el flanco de bajada.

La constante de amplitud de los pulsos se determina por los niveles de voltaje a la salida del comparador y no está relacionada con la amplitud de los pulsos de la señal PAM.

No es necesario generar PAM, para poder obtener una modulación en tiempo, la fig. 1.20 ejemplifica un método de modulación por ancho de pulsos, generado directamente a partir de la señal  $m(t)$ .

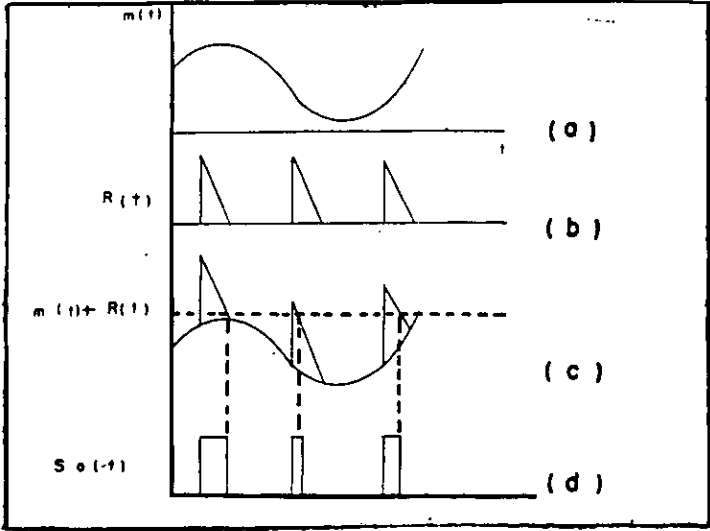


Fig. 1.20 técnica de modulación en tiempo, que no necesita generación de señales PAM. a) señal  $m(t)$  (información) b) señal tipo rampa  $r(t)$ , c) suma de  $m(t)$  con  $R(t)$  d) señal PDM

En la figura anterior se muestra que únicamente agregando un tren de pulsos tipo rampa, a la señal original y aplicando la señal resultante de esta suma a un comparador, a la salida de éste aparecerá una modulación en tiempo (PDM) fig. 1.20 (d), es importante hacer notar que en este caso la duración de cada pulso depende directamente de la amplitud de la señal de información  $m(t)$  en el momento de tomar la muestra.

### 1.8.4 MODULACIÓN POR POSICIÓN DE PULSOS

Una forma de generar una modulación por posición de pulsos, es haciendo uso de PDM, usando un generador de pulsos que los genere con una amplitud y duración constantes, este generador se sincroniza con el flanco de bajada de los pulsos PDM, tal como se ve en la fig. 1.21 c los pulsos aparecerán como se ve en la fig. 1.21d

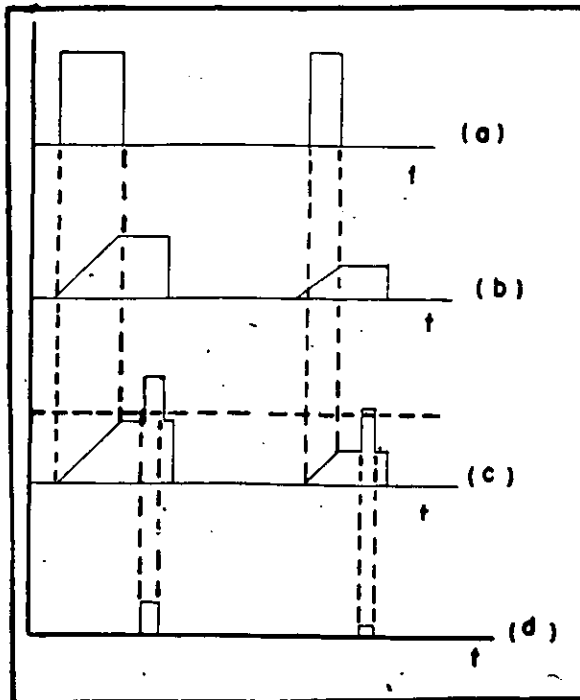


Fig 1.21 Señal PAM recobrada a partir de una señal PDM a) señal PDM, B) pulso tipo rampa pedestal c) pulso de amplitud y duración cte. generados localmente y sumados a la señal rampa pedestal

## 1.9 MODULACIÓN POR PULSOS CODIFICADOS: (PCM)

Debido a que la modulación por impulsos codificados es una de las herramientas más importantes dentro de las comunicaciones digitales, para la transmisión de audio, video y otras formas de transmisión, se dará una breve introducción sobre algunas de sus particularidades; en principio mencionamos que aunque parezca reciente la invención de esta técnica, fue desarrollada hace mucho tiempo, aproximadamente en el año de 1937, época en que los conceptos de telecomunicaciones eran fundamentalmente distintos a los manejados por el proceso PCM. Por lo que su importancia fue poco apreciada, además de que el proceso de modulación por impulsos codificados, contiene 3 etapas que son: *muestreo, cuantificación y codificación*, en esta época existía un alto grado de complejidad para llevar la realización de este proceso a buen término a causa de que no existían suficientes componentes electrónicos que se adaptaran a esta naciente innovación dentro de las comunicaciones.

Fue hasta la aparición de los circuitos integrados y subsecuentemente el tremendo desarrollo logrado por la industria de semiconductores que el sistema PCM logró un auge considerable ya que actualmente es posible encontrar en el mercado una gran cantidad de circuitos digitales integrados que son fácilmente adaptables a esta técnica; es así como en la década de los 60 hacen su aparición los primeros sistemas PCM para aplicaciones prácticas y en la actualidad existen sistemas digitales de este tipo en todo el mundo, en México los hay para la red urbana de telefonía, así como para larga distancia via microondas y fibra óptica.

A diferencia de otras técnicas de modulación de impulsos como son:

*PAM, que requiere gran fidelidad de la amplitud.*

*PPM que requiere una señal de temporización muy precisa.*

*PDM que necesita alta precisión de la característica de ganancia de fase del medio portador.*

El PCM, sin embargo hace caso omiso de estos inconvenientes puesto que no contiene deterioros acumulativos, ya que la transmisión de información se efectúa mediante el código correspondiente al impulso y no por el impulso mismo y gracias al empleo de repetidores regenerativos es casi inmune a los

efectos de ruido, otra de las características importantes para el uso de esta forma de modulación es la versatilidad en el manejo de señales de diversa índole, además de la posibilidad potencial de contar con redes integradas de transmisión digital, abiertas a toda clase de servicios como por ejemplo: transmisión de datos, audio, video, telex, facsímil, etc., con altas velocidades de transmisión gracias a la técnica SDH.

En resumen las posibilidades de la comunicación digital son ilimitadas gracias a la calidad de la señal en su transmisión y al abatimiento de costos en la construcción del equipo necesario para la implementación de un sistema que en gran medida se debe al enorme desarrollo tecnológico dentro de la electrónica y la microelectrónica y el desarrollo de las fibras y elementos ópticos.

### PRINCIPIOS BÁSICOS DE OPERACION DEL PCM

La fig. (1.22) ilustra un sistema de transmisión en el que los bloques representan las operaciones desarrolladas desde la entrada de información, hasta su recepción en la terminal remota.

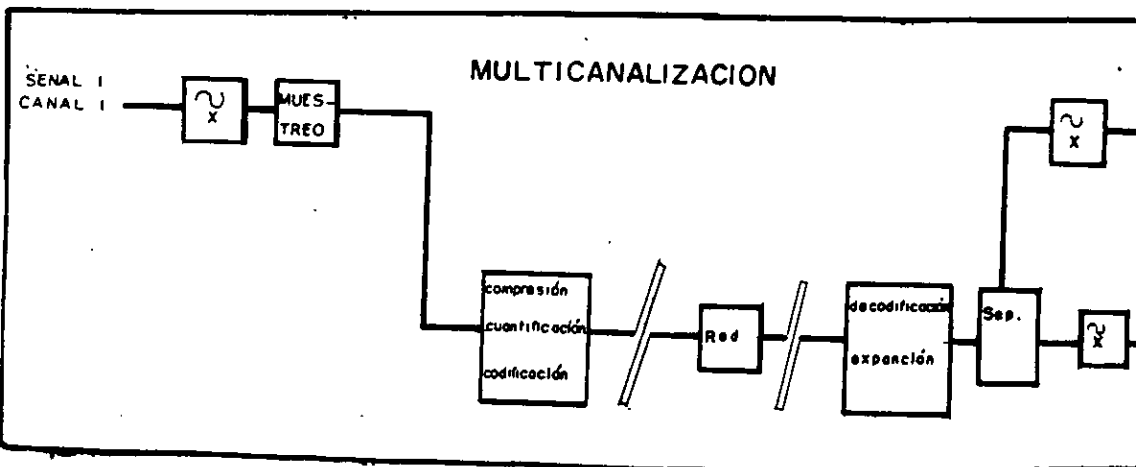


Fig. 1.22 proceso para PCM

Las diferentes señales aplicadas a la entrada deben muestrearse periódicamente, a fin de ser multicanalizadas en el tiempo



Un sistema de transmisión a través de un sistema PCM multicanaliza en tiempo los diversos canales de voz (telefonía) ó las diferentes señales que maneje. Es importante enfatizar en la técnica de multiplexaje por división de tiempo (TDM Time Division Multiplex) ya que nos permite la transmisión de varios mensajes a través de un mismo medio, dividiendo cada mensaje en pequeñas muestras, en el dominio del tiempo, con una secuencia regular. la fig. 1.22 (b) muestra esquemáticamente este principio. en esta fig. se puede apreciar las diferentes señales de entrada que pasan a través de filtros paso bajas (FPB) y son muestreados secuencialmente en el transmisor mediante una llave rotativa, la cual extrae una muestra de cada señal de entrada al completar un ciclo y a la salida se tiene una señal modulada por amplitud de pulsos (PAM Pulse Amplitude Modulation). En el lado receptor una llave rotativa idéntica a la del transmisor separa las muestras y las distribuye a unos filtros paso bajas (FPB) para reconstruir las señales originales.

El proceso de digitalización de voz, requiere de 4 puntos principales que son:

- Muestreo
- Cuantización
- Compansión
- Codificación

### 1.9.1 CUANTIFICACIÓN

Para la cuantificación de una señal, es necesario introducir un determinado número de niveles discretos en amplitud y referir la amplitud de las muestras de los pulsos PAM al nivel discreto más próximo, en la fig. (1.23) se muestra este proceso.

La aproximación del valor de los pulsos PAM al nivel discreto más próximo, introduce un error (similar al ruido blanco) llamado ruido de cuantificación. Suponiendo dos niveles de cuantificación consecutivos  $V_1 = 4V$  y  $V_2 = 5V$ , si se tiene una muestra con una amplitud de  $4.6 V$  se aproximará al nivel  $V_2$  ( $5V$ ) pero si la amplitud de la muestra es de  $4.4V$  se aproximará a nivel  $V_1$  ( $4V$ ), por lo tanto el error siempre será menor a  $\frac{V_2 - V_1}{2}$  es decir el error máximo que

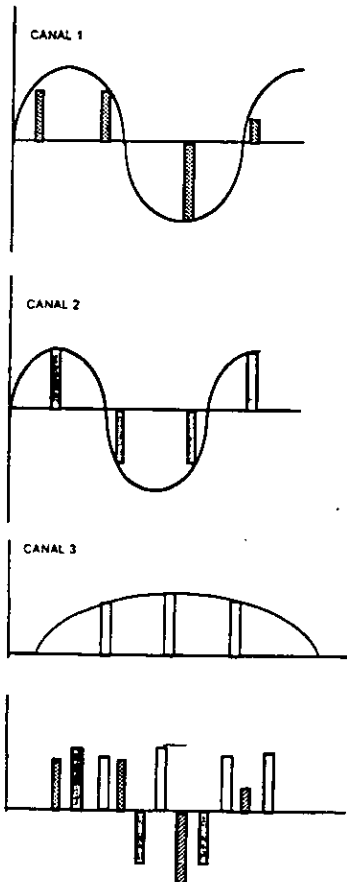
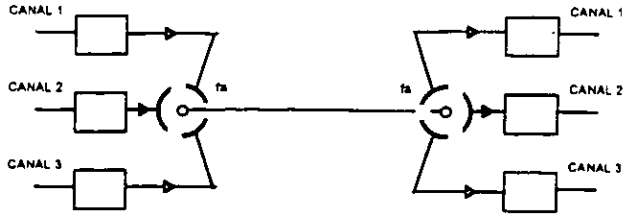


FIG. 1.22 (B) PROCESO DE MULTICANALIZACIÓN (MULTIPLEXAJE) POR DIVISIÒN DE TIEMPO

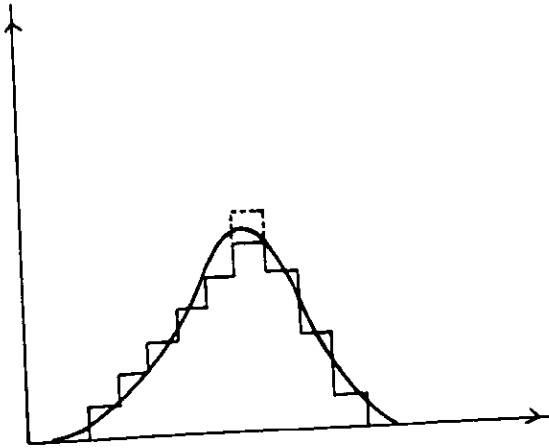


FIG. 1.2.3 CUANTIZACIÓN

puede introducirse para una muestra determinada, será del orden de medio intervalo, es interesante notar que el error máximo que puede introducirse para una muestra determinada, será del orden de medio intervalo, el error de cuantificación será menor cuanto mayor sea el No. de intervalos discretos introducidos; para lograr una intelegibilidad, superior al 98% hasta tener una S/N mayor de 26 db (s/n a potencia media de la señal potencia media del ruido de cuantificación) para lograr esta relación se requieren 32 niveles de cuantificación como mínimo; si la cuantificación es lineal es decir los niveles discretos se encuentran igualmente espaciados, por lo tanto el ruido granular será el mismo para cada nivel y en consecuencia la razón señal a ruido (que no el ruido) es menor para pulsos de pequeña amplitud que para los de una mayor, lo que implica que las señales debiles sufran mayor interferencia por ruido; por ejemplo un error de 1.0V con respecto a 10 V. equivale a 1% sin embargo el mismo error referido a 1V equivale al 10% que es precisamente lo que sucede con una cuantificación lineal según sea la amplitud de la muestra considerada por lo tanto deberán reducirse los intervalos de cuantificación para señales bajas y aumentarse en señales altas.

Esta adaptación se conoce como compresión de la señal y tiene una característica casi logarítmica.

En la práctica la curva se representa por varios segmentos de recta, cuyo número depende de la ley de compresión utilizada de las 2 existentes.

### 1.9.2 PRINCIPALES LEYES DE COMPRESIÓN

Ley	Parámetro	No. de Segm.
m	$m = 255$	15
A	$A = 87.6$	13

La compresión se logra pasando el tren de muestras multicanalizadas en tiempo, a través de un transductor no lineal (compresor), que modifique la distribución de amplitudes dando amplificación preferencial a señales débiles obteniéndose así una s/r casi constante.

En el extremo receptor es necesario realizar un proceso inverso, es decir expandir la señal.

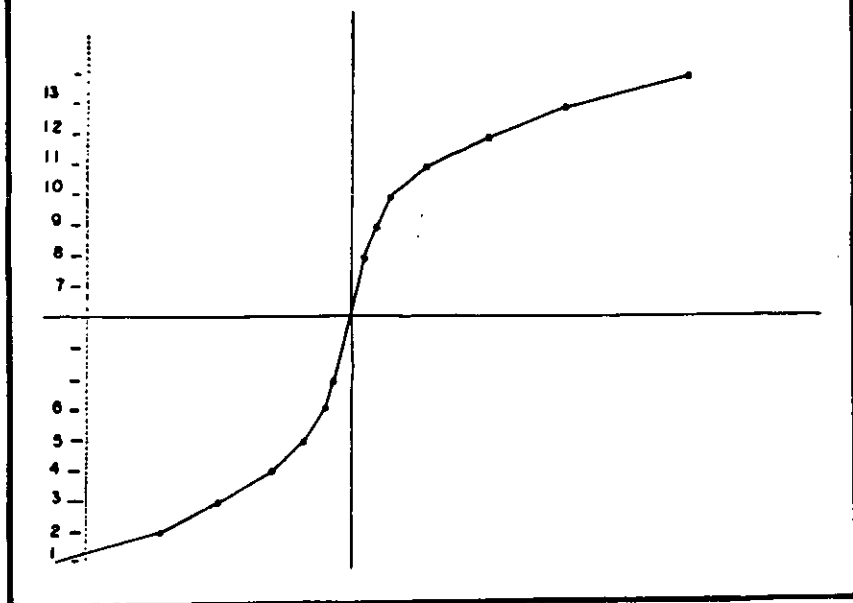
La expresión matemática de la ley A de compresión es:

$$Y = \frac{Ax}{1 + \log A} \quad 0 \leq X \leq 1$$

$$Y = \frac{1 + \text{Log} ( Ax )}{1 + \text{Log} A} \quad 1 \leq X \leq 1$$

En la práctica, la característica está constituida por una aproximación de 13 segmentos, como es mostrado en la fig. 1.24 donde A toma el valor de 87.6 , representando “x” e “y” las señales normalizadas de entrada/salida, al compansor

EN LA PRACTICA LA CARACTERISTICA PRINCIPAL ESTA CONSTITUIDA POR UNA APROXIMACION DE 13 SEGMENTOS COMO ES MOSTRADO EN LA FIG.1.24 DONDE "A" TOMA EL VALOR DE 87.8



**Codificación y Decodificación:** Una vez que la señal ha sido cuantificada, el siguiente paso es la codificación, lo que hace que los circuitos de reconocimiento sean bastante simples ya que sólo deben discernir la ausencia y presencia de pulsos así como los instantes en que ellos ocurren. La estructura de la señal PCM contiene: la unidad de información; llamado también intervalo de tiempo de canal y es la muestra codificada de la señal de voz que se compone de 8 bits emitidos en un tiempo "t".

**Trama:** es la secuencia de n unidades de información, extraídas sucesivamente de los N canales multiplexados por división de tiempo donde una trama es emitida en un tiempo "T"; en este caso la multicanalización en tiempo es herramienta importante para la obtención del PCM

**Multitrama:** es la secuencia de de tramas de los n canales y una multitrama se emite en un tiempo  $T_m$ .

En la tabla siguiente se representan los tiempos y características de estos parámetros básicos para los sistemas americano y europeo.

PARAMETRO	CARACTERISTICAS		TIEMPO	
	AMERICANO (D2)	EUROPEO	AMERICANO (D2)	EUROPEO

FR. DE MUESTREO $f_m$	8000 Hz	8000 Hz	-	-
No. de canales	24	32	-	-
Trama $T_r$	$1/8000 = 1/f_a = T$	$1/8000 = 1/f_a = T$	$T = 125 \mu$	$T = 125 \mu$
Multitrama MTr	$1 \text{ MTr} = 12 \text{ Tr}$ $T_m = 12 \times T$	$1 \text{ MTr} = 16 \text{ Tr}$ $T_m = 16 \times T$	$T_m = 1.5 \text{ ms}$	$T_m = 2.0 \text{ ms}$
Unidad de información	$t = T/24$	$t = T/32$	$t = 5.2 \text{ us}$	$t = 3.9 \text{ us}$
BIT	$t = /8$ $\theta = \tau/2$	$t = /8$ $\theta = \tau/2$	$t = 650 \text{ h}$ $\theta = 325 \text{ h}$	$t = 488 \text{ h}$ $\theta = 244 \text{ h}$

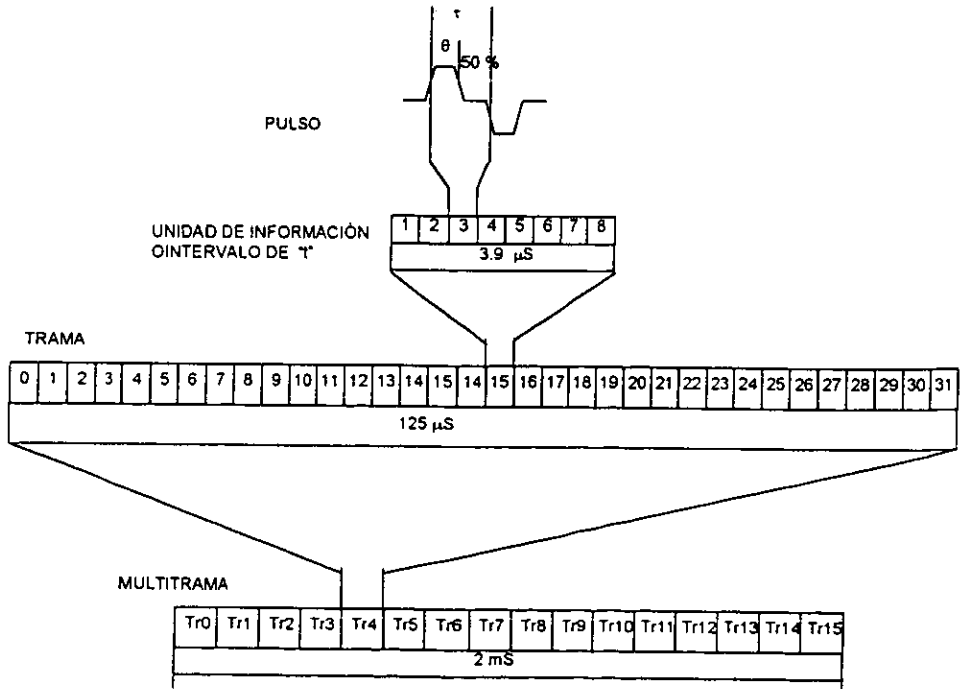


FIG 2.25 PROCESO PARA OBTENER UNA MULTITRAMA

## 2.1 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Se entiende como medio de transmisión, el medio físico por donde es posible enviar información, los medios de transmisión más comunes son:

-METALICOS:

- *Par Torcido*
- *Cable coaxial*
- *Guías de onda*

-EL ESPACIO LIBRE ( Ondas de Radio).

-SATELITE.

-FIBRA OPTICA.

**Par Torcido:** se tuerce el par (twisted pair) para reducir la interferencia magnética, es comunmente empleado para transportar señales de voz en una banda de 4 KHz, definida para propósitos de telefonía, (aunque soporta hasta 250 KHz.) también se usa en sistemas de portadora que usan un formato digital, por ejemplo para una frecuencia de 1.5 Mb/s, se requieren repetidores cada 1.6 Km., para frecuencias más altas, la distancia entre repetidores se reduce, lo que hace relativamente caro este medio y se usa lo menos posible, para altas velocidades de transmisión.

**Cable coaxial:** Los cables coaxiales,compuestos por dos conductores concéntricos, separados por un dieléctrico que puede ser el aire, son ampliamente usados donde los efectos del ruido son críticos; para altas frecuencias es mejor que el par torcido (twisted pair), el cable coaxial tiene una pérdida aproximada de 2.5dB/Km a 1 Mhz (para RG-58 por ejemplo) y se incrementa a una proporción de la raíz cuadrada de la frecuencia.

Los cables submarinos intercontinentales, son un buen ejemplo de la aplicación de los cables coaxiales, los cables submarinos normalmente usan los conductores para proveer energía a los repetidores, así como transportar la señal, en ocasiones es necesario aplicar altos voltajes en los equipos terminales.

**Guías de Onda:** Las guías de onda representan lo último en funcionamiento de facilidades metálicas, las pérdidas son inversamente proporcionales a tres medios de la potencia de la señal.

**Espacio Libre:** La transmisión de radio para transmisión telefónica se hace normalmente sobre un enlace bidireccional con línea de vista, con saltos entre repetidores de 60 Km en un rango de frs. de hasta 18 Mhz. los principales problemas en estos sistemas, son los desvanecimientos, absorción de señal por lluvia, posibilidad de espionaje ya que las señales, normalmente no son encriptadas, y el amplio uso de sistemas de radio que pueden saturar el espectro radioeléctrico.

**Satelite:** Los sistemas de satélite, ofrecen una cobertura de transmisión sobre una amplia parte de la circunferencia terrestre, el satélite se localiza en una órbita geoestacionaria a una distancia de 45000 millas ( 72405 m ), casi 2 veces la circunferencia de la tierra lo que hace que las transmisiones tengan un retardo muy grande .

**Fibra Óptica:** Los sistemas de comunicación por fibra óptica usan el cuarzo (dieléctrico) como medio de transmisión, en este dieléctrico la información viaja en forma de luz, es decir ondas electromagnéticas guiadas, la diferencia con las señales de radio es la frecuencia de operación, en estos sistemas, también se requieren transductores para que la señal pueda enviarse y recibirse, en el lado transmisor se requiere de un dispositivo que convierta la señal eléctrica en señal óptica y en lado receptor un dispositivo que convierta la señal óptica en señal eléctrica la fig. 2.1 muestra un diagrama a bloques de un sistema punto a punto por fibra óptica y se incluyen los elementos básicos del sistema

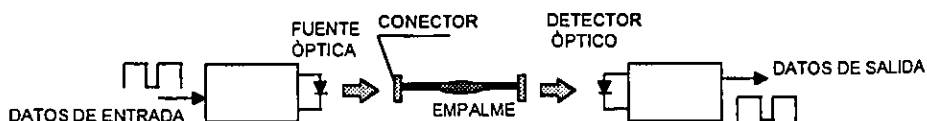


FIG. 2.1 SISTEMA PUNTO A PUNTO

## 2.2 PROPIEDADES DE LA LUZ

La propiedad fundamental de la luz, es su propagación lineal así como la posibilidad de cambiar su dirección.



Cuando un rayo de luz incide en un punto de distinta refracción se pueden producir 2 casos: el rayo se refleja y regresa al punto de origen, este fenómeno es conocido como reflexión, en el cual el ángulo de incidencia es igual al de reflexión en relación a la superficie reflectante, el segundo caso es el fenómeno conocido como refracción que es cuando un rayo luminoso se introduce en un medio refractante.

**Reflexión de Ondas Luminosas:** La totalidad de los cuerpos, reflejan una parte de los rayos luminosos que inciden sobre ellos; la reflexión se origina cuando un grupo de ondas incide en la superficie de un medio separada de otro medio por un diferente índice de refracción, las leyes de refracción son aplicables tanto para superficies planas como superficies curvas. La fig. 2.2 muestra la reflexión de un rayo en ambos tipos de superficie.

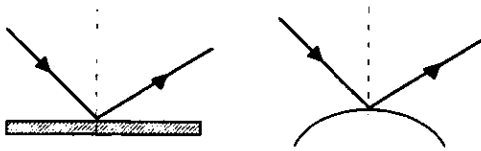


Fig. 2.2 Reflexión de un rayo luminoso en superficie plana y/o curva

La intensidad de luz reflejada tiene proporción directa con el haz incidente y con la naturaleza de la superficie reflejante, también son factores importantes, el ángulo de incidencia, el color y el estado de polarización de la luz.

Cuando la luz se propaga por un medio (atmósfera) determinado, y en el camino se encuentra con una superficie reflejante (por ejemplo espejo) y se refleja, cambiando su dirección pero manteniendo la velocidad, regresando al medio inicial de propagación, se dice que hay reflexión difusa de la luz.

El ángulo formado por el rayo incidente es igual al ángulo formado por el rayo reflejado.

**La refracción de la luz:** es la desviación que experimenta un rayo de luz cuando pasa de un medio con un índice de refracción  $n_1$  a un medio con índice

de refracción  $n_2$  como se puede observar en la fig. 2.3

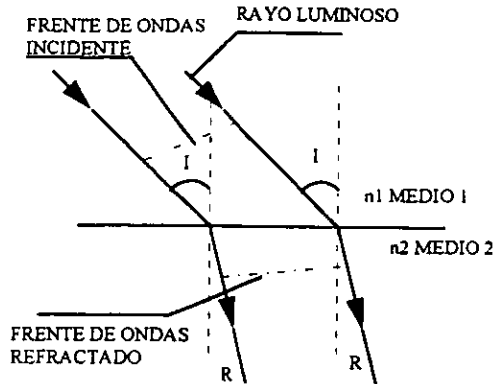


FIG. 2.3 DESVIACIÓN DE UN RAYO LUMINOSO

La desviación experimentada por un rayo de luz al pasar de un medio a otro de diferente índice de refracción, constituye una relación entre las velocidades de propagación en los medios en que se produce así como de la inclinación con respecto a la superficie de separación entre medios del haz luminoso.

El ángulo formado entre el rayo incidente y la normal a la superficie del medio de refracción, recibe el nombre de ángulo de incidencia y el ángulo formado entre el rayo refractado y la normal a la superficie se conoce como ángulo de refracción.

La ley sobre la refracción es la de W. Snell (1621), que establece una relación concreta entre la desviación del haz refractado y la inclinación del haz incidente y se enuncia de la siguiente forma:

La relación del cociente, entre los senos de los ángulos de incidencia y de refracción, es igual a la existente entre el índice de refracción del medio refractivo y el medio incidente; o bien los índices de refracción de los 2 medios están en razón inversa de los senos de los ángulos que forman:

$$\text{sen}I/\text{sen}R = N \quad n_1/n_2 = \text{sen } \alpha_1 / \text{sen } \alpha_2$$

donde  $N$  es una constante que depende de la naturaleza de los 2 medios (incidente y refracción) y recibe el nombre de índice de refracción relativo. Si el medio incidente es el vacío y el rayo luminoso, pasa a otro medio  $N$  es llamado índice de refracción absoluto.

### INDICE DE REFRACCIÓN

En cualquier sustancia transparente, la velocidad de la luz es menor que en el vacío, en el agua la velocidad de la luz es de 225 000 Km/s. Para comparar la velocidad de la luz del vacío con cualquier otra sustancia transparente, se toma el índice de refracción, que se obtiene al dividir la velocidad de la luz entre la velocidad del medio en cuestión es decir:

$$N = V_1/V_s \text{ donde: } \begin{array}{l} V_1 = \text{velocidad de la luz.} \\ V_s = \text{velocidad del medio.} \end{array}$$

En el caso del agua el índice de refracción es:

$$N = \frac{300\,000 \text{ Km/s}}{225\,000 \text{ km/s}} = \frac{4}{3} = 1.33$$

Este índice determina la velocidad de la luz en el vacío es 1.33 veces mayor que en el agua es decir la velocidad de la luz en el agua es 0.75 la del vacío, es posible apreciar que los índices de refracción y las velocidades de la luz, mantienen una relación inversamente proporcional y cuando decimos que una sustancia tiene una refracción mayor que otra, significa que tiene un índice de refracción mayor o bien que la luz se propaga a menor velocidad.

**Difracción De La Luz:** La difracción de la luz es el cambio de trayectoria que ocurre en la propagación de luz, sin existir de por medio 2 superficies con diferente índice de refracción, la fig. 2.4 ilustra este fenómeno; donde se puede observar que al colocar una pantalla con un orificio, frente a una fuente de luz, la pantalla interrumpe el paso de luz salvo el libre paso que permite el orificio mencionado, y un observador colocado en un punto lejano a la recta F-O (fuente-orificio) podrá notar que la luz se esparce formando un cono de luz este es el efecto refractivo.

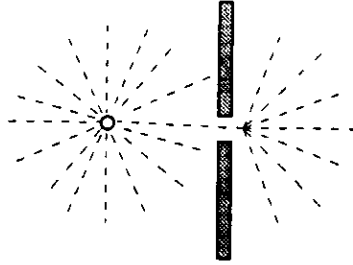


FIG. 2.4 PROPAGACIÓN RECTILÍNEA DE LA LUZ  
DIFRACCIÓN DE LA LUZ

### 2.3 LAS FIBRAS ÓPTICAS Y LA CONDUCCIÓN DE ONDAS LUMÍNICAS

La fibra óptica es una guía de ondas lumínicas (conducto cilíndrico de vidrio) construida generalmente de cuarzo, sílice o bien elementos sintéticos logrados a partir de materiales naturales, tratados con procedimientos polimerizantes. La F.O. tiene un diámetro del orden de micro Metros ( $\mu\text{M}$ ).

Dentro de la propagación de ondas luminosas existen 2 parámetros que clasifican la energía en forma espectral uno espacial conocido como longitud de onda  $\lambda$  e indica la propagación espacial periódica, el otro conocido como frecuencia que indica una propagación temporal.

Conceptualmente un sistema de transmisión F.O. es similar a un sistema de microondas la diferencia principal es el medio de transmisión y que la F.O. maneja frecuencias muy superiores a las microondas, y normalmente en las comunicaciones ópticas se habla en términos de longitud de onda y no de frecuencias aún cuando en la siguiente relación ambas magnitudes se encuentran estrechamente relacionadas.

$$\lambda \cdot c \cdot f$$

$\lambda =$  longitud de onda.

$c =$  velocidad de la luz vacío.

$f =$  frecuencia.

La fig.2.5 muestra un espectro de fr donde pueden apreciarse longitud de onda, fr. y la aplicación correspondiente.

- La fibra óptica proporciona un ancho de banda muy grande lo que representa el envío de una mayor cantidad de información que con el uso de otros medios, ya que es posible manejar valores desde cientos de Mhz hasta decenas de Ghz .
- La atenuación que presenta la F.O. es independiente de la velocidad de transmisión por lo que puede manejar las más altas jerarquías de las técnicas SDH y PDH de comunicaciones digitales.

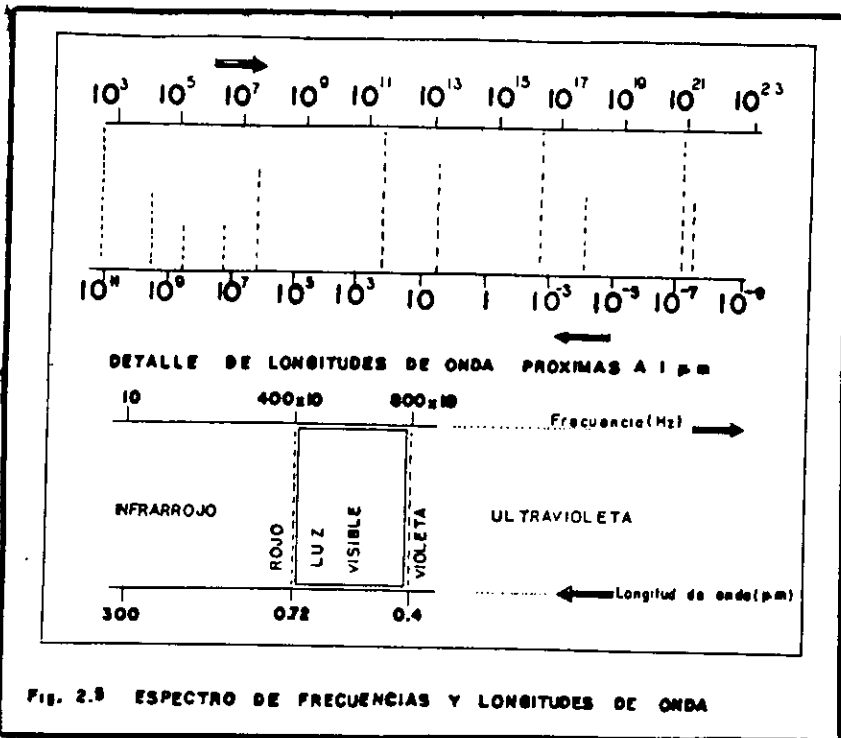


FIG. 2.3 ESPECTRO DE FRECUENCIAS Y LONGITUDES DE ONDA

La atenuación está en función de sus características físicas, y depende también de la longitud de onda de la señal que transporta. Esta atenuación dependiendo de la fibra, tiene unos mínimos para determinadas longitudes de onda llamadas ventanas de transmisión; estas ventanas se encuentran en las zonas de 800-900  $\eta\text{M}$  conocida como 1a. ventana, 1200-1300  $\eta\text{m}$  conocida como 2a. ventana y 1500-1600  $\eta\text{m}$  conocida como 3a. ventana. Para entender

la manera en que estas guías de ondas luminosas, pueden transmitir la luz, debemos recurrir a los principios de reflexión y refracción como se ilustra en la fig.2.6, en la cual se aprecia gráficamente cómo un rayo pasa de un medio a otro de menor densidad (de menor índice de refracción) cambiando su trayectoria y donde se observa que a cada ángulo de incidencia corresponde un ángulo de refracción, el cual varía de acuerdo a la diferencia de índice entre los medios.

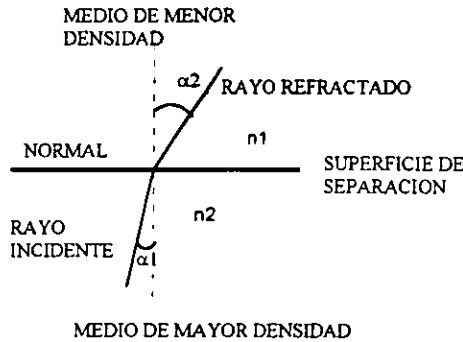


FIG 2.6 RAYO LUMINOSO QUE PASA DE UN MEDIO DE MAYOR DENSIDAD A UN MEDIO DE MENOR DENSIDAD

De acuerdo a la ley de Snell  $n_1/n_2 = \text{sen } \alpha_1 / \text{sen } \alpha_2$  ;  $n_1 \text{ sen } \alpha_1 / n_2 \text{ sen } \alpha_2$  se consideran los siguientes casos:

a) cuando  $\alpha_2 < \alpha_1$  ( $\alpha_2 =$  ángulo de refracción  $\alpha_1 =$  ángulo de incidencia) el rayo refractado se acerca a la normal, al plano de separación de los medios y se aleja del plano mismo.

b)  $n_1 > n_2$  ;  $\alpha_2 > \alpha_1$  y el rayo refractado se acerca al plano de separación, suponiendo que,  $\alpha_1$  se varía sucesivamente hasta un valor  $\alpha_L$  el ángulo de refracción  $\alpha_{L2}$  variará hasta que la onda refractada quede contenida en el plano de separación de ambos medios, como se muestra en la fig. 2.7

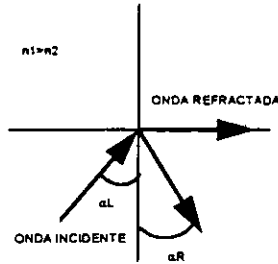


FIG. 2.7 REFLEXIÓN TOTAL

Este ángulo se conoce como ángulo límite y se define como el ángulo de incidencia para el que la onda refractada se propaga por el plano de separación de ambos medios.

Al aumentar el ángulo de incidencia hasta un valor crítico, el rayo ya no atraviesa la superficie separadora, reflejándose en el interior tal como lo muestra la fig. 2.8 donde el ángulo de reflexión es análogo al de incidencia.

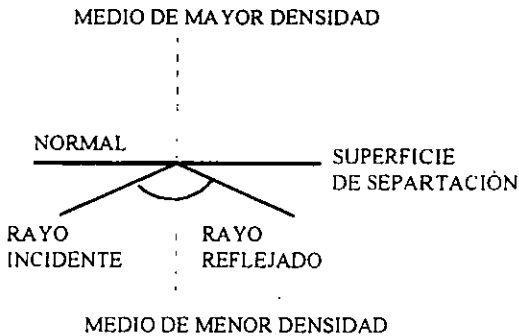


FIG. 2.8 ÁNGULO DE REFLEXIÓN AL AUMENTAR EL ÁNGULO DE INCIDENCIA

Una F.O. está integrada con 2 capas cada una con diferente índice de refracción, donde el núcleo tiene un índice más elevado que el revestimiento y esta diferencia permite que la luz se propague y se mantenga a través del núcleo, que constituye el principio de reflexión total interna que se ilustra en la fig. 2.9

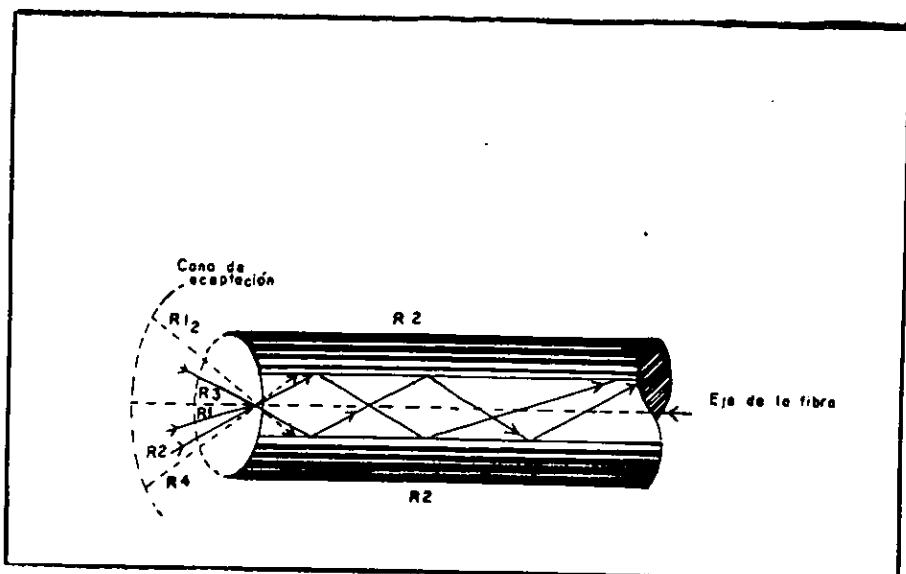


Fig. 2.9 Reflexión Total de La Guia Óptica

En la figura se muestra la propagación total de los rayos incidentes dentro del núcleo de fibra, donde para la valoración de refracción se usa la siguiente ecuación.

$$n = c/v$$

Donde:

$n$  = índice de refracción.

$c$  = velocidad de la luz en el vacío.

$v$  = velocidad de la luz en el medio considerado.

### CALCULO DEL ANGULO LIMITE

El ángulo límite  $\alpha_L$  será tal que  $\alpha_2 = \pi/2$  si sustituimos estos valores en :  
 $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$  quedará como:

$$n_1 \sin \alpha_{1L} = n_2 ; \alpha_{1L} = \arcsin n_2 / n_1$$

como  $n_1 > n_2$  el  $\arcsin n_2/n_1 < 1$  siempre.



La fig. 2.10 muestra un ángulo límite, para que el rayo refractado se desplace por el plano de separación entre el núcleo (core) y el revestimiento cladding y se proceda a definir el ángulo  $\alpha_{0L}$  que será ángulo límite para que cualquier rayo que incida desde el extremo de la F.O. sufra una reflexión total y sea transmitido.

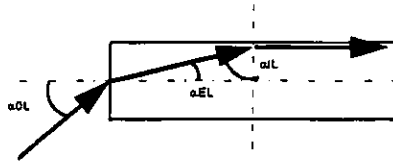


FIG 2.10 ÁNGULO LIMITE DE ENTRADA

Si llamamos  $\alpha_{0L}$  a el ángulo formado por el rayo que proviene del exterior tenemos  $n_0 \text{ Sen } \alpha_0 = n_1 \text{ sen } \alpha_E$

Donde  $\alpha_E$  el ángulo del rayo con el eje del centro de la F.O. en el interior

$$\alpha_0 = \text{arc. sen } (n_1/n_0 \times \text{sen } \alpha_E) = \text{arc sen } (n_1/n_0 \times \text{cos } \alpha_{1L})$$

$$\alpha_{0L} = \text{arc Sen } (n_1/n_0 \times \text{cos } \alpha_{1L}) \dots\dots\dots (2.2)$$

### APERTURA NUMÉRICA.

La energía luminosa, penetra el núcleo de la F.O. por cada uno de los puntos de una sección perpendicular a su eje.

La energía útil es sólo aquella que se refleja dentro de un núcleo y como se vió anteriormente está contenida en el ángulo sólido  $V_{0L}$  puesto que los rayos que incidan con un ángulo mayor a este serán refractados; en términos generales éstos son entre un 3% y 4% por lo tanto se define como apertura numérica (o índice de aceptación de luz):  $AN = n_0 \cdot \text{sen } \alpha_{0L}$

De la ec. (2.2)

$$AN = n_0 (n_1/n_0 \text{ cos } \alpha_{1L}) = n_1 \cdot \sqrt{\text{sen}^2 \alpha_{1L}} \quad \text{pero Sen } \alpha_{1L} = n_2/n_1$$

$$AN = n_1 \cdot \sqrt{1 - n_2^2/n_1^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx \sqrt{2n_1(n_1 - n_2)} = \sqrt{2n_1} \cdot n_1 \delta = n_1 \sqrt{2\delta}$$

$$AN = n_1 \sqrt{2\delta} \quad \text{donde } \delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad AN = n_1 \sqrt{2 \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1}}$$

- Los valores más usuales de  $n_1$  son muy aproximados a 1.45

La apertura numérica depende de los materiales del núcleo y revestimiento; es decir cuanto más parecidos sean los índices de refracción menor será el valor de AN y menor el ángulo de aceptación  $\alpha_{02}$  y la fuente deberá proporcionar un haz de luz más estrecho

## 2.4 MODOS

Para un estudio riguroso de la propagación de luz en el interior de una F.O. sería necesario apoyarse en las ecuaciones de Maxwell (no es el propósito del presente trabajo); pero resolviendo las ecuaciones mencionadas se llegaría a la conclusión de que la ecuación de proporción de onda luminosa tiene varias soluciones en función del diámetro de la fibra entre otras variables; cada solución equivale a un modo (o forma) diferente de propagación de la onda.

Con la solución de las ecuaciones de Maxwell aparece la frecuencia de corte normalizada "V" relacionada con el número de veces que el radio de la fibra (a) contiene la longitud de onda  $\lambda$ .

El factor V depende de : *La longitud de onda  $\lambda$ .*  
*el diámetro del núcleo.*  
*el índice de refracción.*  
*la apertura numérica.*

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot n_1 \sqrt{n_2^2 \cdot n_1^2} = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot n_1} \sqrt{2\delta}$$

Donde  $2\pi/\lambda = \beta_0$  que es la constante de fase de la onda ( $\beta_0 = \omega/v = \frac{2\pi f}{v} = 2\pi/\lambda$ )

f= frecuencia     $\omega$  = pulsación    v= velocidad de propagación.

El parámetro "V" se usa para identificar el número posible de modos de transmisión en una guía de ondas, encontrándose que para valores inferiores a 2.405 existe un sólo modo de propagación llamado HE y para valores superiores es posible la existencia de más modos, por lo tanto para fibras que mantengan el valor de "V" < a 2.405 serán fibras conocidas como fibras mono-modos (SM Single Mode).

Para fibras con valores de la relación  $n_1/n_2$  y de la que hacen que  $V$  sea mayor de 2.405 es posible más de un modo de propagación, y son conocidos como fibras multimodo (MM MultiMode).

Aplicando la ecuación de “V” a una fibra de radio  $a = 5\text{mm}$ ,  $n_1 = 1.46$  un índice relativo  $\delta = 0.002$  y una Long. de onda  $\lambda = 1300\text{nm}$  la fibra tendrá una frecuencia normalizada de.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \cdot n_1 \cdot \sqrt{2\delta} = \frac{2\pi}{1.3} (5) (1.46) \sqrt{2(0.002)} = 2.23$$

ya que  $2.23 < 2.405$  esta fibra se comporta como monomodo si en esta fibra se envía una señal con longitud de onda de  $900\text{ nm}$  la frecuencia normalizada  $V$  será  $3.6 > 2.405$  por lo que la F.O. se comportará como fibra multimodo.

Con este ejemplo se introduce el concepto de “Longitud de onda de corte” que es la longitud de onda para la cual un modo determinado deja de ser transmitido y para las fibras monomodo que es la long. de onda para la que la fibra empieza a guiar más de un modo y pierde su carácter para el que se diseñó.

Ya que la apertura numérica depende exclusivamente de los materiales empleados, la única posibilidad (para una  $\lambda$  dada) de obtener una fibra multimodo o unimodo es variando el radio del núcleo de la fibra “a”.

## 2.5 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

Como ya se ha mencionado en párrafos anteriores, hay diferentes tipos de fibras ópticas, a continuación se indica una posible clasificación:

- 1.- *Fibras multimodo de índice escalón. (Multimode STEP Index).*
- 2.- *Fibras multimodo de índice gradual (Multimode Graded Index).*
- 3.- *Fibras monomodo (Single Mode).*

**Fibras Multimodo Índice Escalón:** Las fibras de índice escalón: son aquellas en las que el índice de refracción del núcleo permanece invariable en toda su sección, el índice de revestimiento es constante, el perfil del índice de refracción toma la forma de la figura 2.11 estas fibras son poco usadas en el área de

telecomunicaciones reservándolas para aplicaciones con anchos de banda reducidos.

En este tipo de fibras coexisten varios modos de propagación, llegando cada uno de ellos en diferente tiempo al extremo receptor. La señal resultante es la suma de los diferentes modos que llegan al receptor y puesto que llegan defasados en el tiempo al viajar por diferentes trayectorias, se produce un ensanchamiento del impulso original, este fenómeno se conoce como dispersión modal (debida a la transmisión de varios modos) y es acumulativa con la distancia, esta dispersión ocasiona una reducción en el ancho de banda ya que el ancho de banda es inversamente proporcional al ancho del impulso en recepción; de este comportamiento se deduce que el ancho de banda será mayor en cuanto menor sea el número de modos que se transmiten por ella.

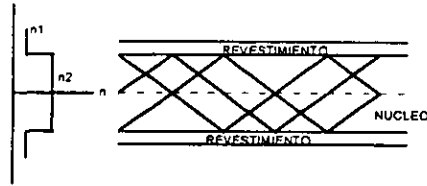


FIG. 2.11 PERFIL Y PROPAGACIÓN DE LAS FIBRAS INDICE ESCALON

Como el índice de refracción es constante, la apertura numérica será constante también y está dada por:

$$ANSI = n_1 \sqrt{2 \delta}$$

La principal virtud de este tipo de fibras es que permiten transmitir por ellas una mayor cantidad de energía como consecuencia de la transmisión de más modos estas fibras no son muy usadas en el área de telecomunicaciones y están principalmente orientadas a la industria o electromedicina.

**Fibras Multimodo de Índice Gradual:** En este tipo de fibras, el índice de refracción del núcleo es variable, siendo máximo en el centro y disminuye hacia la periferie y el índice de refracción del revestimiento permanece constante.

Como la velocidad de propagación en un medio con un índice de refracción  $n$  es igual a  $c/n$  donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío; por tal motivo, si el índice del núcleo es mayor que los índices de la periferie, la velocidad de las

ondas que transitan por el núcleo es menor que las que lo hacen por la periferie, pero esta situación es compensada ya que el espacio a recorrer es menor en el núcleo que en la periferie, permitiendo con este comportamiento que las ondas transmitidas lleguen casi al mismo tiempo en el extremo receptor. Por lo tanto el retardo entre modos será menor y el ensanchamiento de los pulsos también será menor, obteniéndose así un mejor ancho de banda y una menor dispersión modal.

En las fibras ópticas con este tipo de perfil de índice, las trayectorias de los modos son curvas y no rectas como ocurre en las fibras de índice escalón la fig 2.12 muestra el comportamiento de las ondas en este tipo de fibra; las curvas de la figura, representan la ley de variación de índice de refracción, de modo que los puntos A,B,C tendrán los mismos índices entre sí, los puntos A', B', C' tendrán también el mismo índice entre sí por lo tanto ABC constituye una interfaz de índice constante  $n_1$ , A'B'C' otro índice  $n_2$  puede observarse que a índices menores, corresponden ángulos  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  mayores que el ángulo de incidencia  $\alpha_1$  el rayo por lo tanto se va curvando paulatinamente hacia el eje.

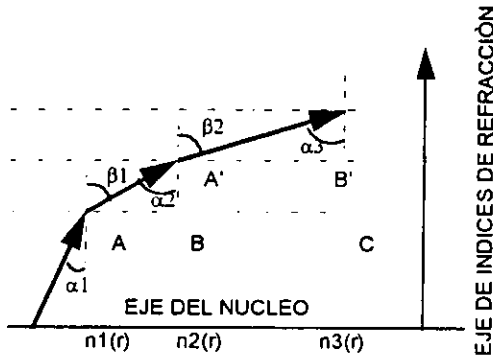


FIG. 2.13 RAYOS DE FIBRA INDICE ESCALON

La función que da la variación del índice de refracción en función del radio es:

$$n_1(r) = n_1(0) \cdot \sqrt{1 - 2A \cdot (r/a)} = n_2$$

donde (r) es la distancia del punto considerado al centro del núcleo, (a) es el radio del núcleo, (g) un parámetro dependiente de las características constructivas de la fibra, (A) un parámetro que se calculará.

Valores de g: dependiendo de los valores que tome (siempre mayor a 1), se tendrán diferentes valores de la función  $n_1(r)$ , el retardo entre modos se puede hacer mínimo optimizando g, este valor depende de la longitud de onda y de la composición del núcleo.

Una expresión aproximada al valor óptimo de g es:

$$g_{opt} = 2 (1 - \lambda / \delta \cdot \partial \delta / \partial \lambda)$$

Este valor se encuentra cercano a 2 normalmente, por lo que resulta prácticamente un perfil parabólico para  $n_1(r)$ . Para el caso en que  $(r/a)^g = 0$  el valor de g es infinito y el valor de  $n(r) = n_1(0)$  y es el caso de las fibras de índice escalón.

**Determinación del Parámetro A:** Para su cálculo se impone la condición de contorno:

$$n_1(r) = n_2 \quad \text{para } r = a$$

$$n_1(a) = n_1(0) \cdot \sqrt{1 - 2a} = n_2$$

De aquí:

$$A = \frac{n_1(0)^2 - n_2^2}{2 n_1(0)^2} = \delta$$

los valores típicos de delta son del orden de 0.01 para fibras multimodo, la fig. 2.13 muestra el perfil y la propagación de una fibra de índice graduado.

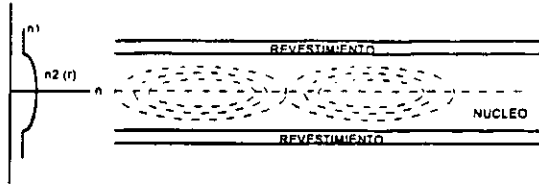


FIG. 2.13 PERFIL Y PROPAGACIÓN DE LAS FIBRAS ÍNDICE GRADUADO

### Apertura Numérica de las Fibras Índice Graduado

Para estas F.O la fórmula general de la apertura numérica es aplicable, donde:

$$AN_{(IG)} = AN_{SI} [1 - (r/a)^2]^{1/2}$$

De esta ecuación se deduce que la apertura numérica de una fibra índice gradual es variable con  $r$  y siempre menor que la de índice escalón y en consecuencia transmitirá y aceptará menos energía que la fibra índice escalón.

### 2.6 ATENUACION DE LA F.O.

Existen 2 fenómenos que degradan la información y hacen que en la recepción, las características de la señal no sean las mismas a las de origen estos fenómenos son: las pérdidas por atenuación en el interior de la F.O. y la dispersión del material.

La atenuación se define como la relación entre las potencias de salida y entrada expresada en dB y calculada para determinada  $\lambda$  (long. de onda).

$$P(\lambda) = 10 \log p_t / p_r$$

El coeficiente de atenuación  $\alpha(l)$  se define como la atenuación por unidad de longitud (el Km. normalmente)

$$\alpha(\lambda) = \frac{1}{l} \cdot 10 \log p_t / p_r$$

Dentro de los factores de degradación podemos contar los intrínsecos a la F.O. como la composición de vidrio y otros de origen externo causados por impurezas, geometría de la F.O. ; la atenuación de la F.O. no depende del

ancho de banda como sucede en las guías de onda convencionales, una característica interesante es el hecho de que la potencia transmitida se distribuye entre los diversos modos que se propagan en la F.O. multimodo, para propagación monomodal la potencia se distribuye entre las rayas espectrales del modo transmitido.

**Pérdidas Intrínsecas:** se deben a la interacción existente entre los fotones que viajan por el núcleo y las moléculas que componen al núcleo; la absorción debida a la componente de radiación ultravioleta de la luz transmitida decrece exponencialmente y es casi despreciable a partir de los 1000 nm, la absorción debida a los rayos infrarrojos, se origina por vibración entre átomos de silicio y oxígeno, creciendo exponencialmente con la  $\lambda$  pero es apreciable hasta los 1400 nm.

**Scattering Rayleigh:** este fenómeno de esparcimiento se produce cuando la luz encuentra partículas extrañas al medio continuo, con un diámetro mucho menor a la long. de onda de la señal. La difracción resultante absorbe parte del espectro de energía y produce una pérdida en la señal que decrece exponencialmente con la 4a. potencia de la long. de onda.

$$P = K/\lambda^4$$

Las pérdidas por efecto Rayleigh son más severas para las long. de onda comprendidas entre 400 y 1100 nm.

En la tabla 2.1 se muestran las pérdidas intrínsecas típicas para las ventanas de 1300 y 1500nm.

l (hM)	ABSORCIÓN	RAYLEIGH
1300	0.05	0.25
1500	0.09	0.15

Tabla 2.1 Pérdidas Intrínsecas

### Pérdidas Origen Externo

- Absorción por impurezas.
- curvaturas en la fibra.
- Pérdidas por microcurvaturas.



**Absorción debido a impurezas;** las impurezas más comunes en el sílice de la F.O. son las metálicas (hierro, cromo, cobalto, níquel) y los iones hidróxilo OH; las impurezas metálicas originan una pérdida de 1dB/km si su concentración es de una parte por millón, pero las pérdidas son reducidas al mínimo ya que durante el proceso de fabricación es fácil controlar estas impurezas.

Las pérdidas por iones hidróxilo, no son totalmente controlables y a los 2720 nm se produce resonancia en la estructura atómica de los iones con el sílice transfiriéndose fotones a los iones OH; este fenómeno produce 3 picos adicionales de pérdidas que corresponden a las 3 primeras armónicas de la frecuencia para una longitud de onda definida con los métodos actuales se han logrado valores de 0.04 dB/Km.

**Curvaturas de la F.O.** Normalmente las fibras se someten a curvaturas ya sea por embobinado, tendido, etc. lo que origina una atenuación adicional debido a que la interfaz del núcleo-revestimiento deja de ser geoméricamente uniforme y la luz que se refleja en algunos puntos lo hace con ángulos diferentes a los calculados inicialmente; por lo que en estos ángulos deja de aplicarse el principio de reflexión total y se produce una fuga de modos hacia el revestimiento. Estas pérdidas son despreciables mientras no sobrepasen una curvatura crítica y esta curvatura se establece en unos 10 a 12 veces el diámetro exterior del cable.

**Pérdidas por Microcurvaturas.** Este tipo de pérdidas son provocados por defectos de fabricación y son irregularidades entre el núcleo y el revestimiento debidas a fluctuaciones en el diámetro (error de elipticidad) así como tortuocidades en el eje de la fibra (error de concentricidad); las pérdidas por estas irregularidades afectan a toda la banda de información y sufren escasa variación con la longitud de onda, es importante notar que originan atenuación cuando las irregularidades son periódicas y tienen una separación menor a una longitud  $L_0$ ; esta longitud es directamente proporcional al radio del núcleo e inversamente proporcional a la diferencia relativa de índices, de acuerdo a la expresión:

$$L_0 = 4a / \sqrt{\delta}$$

Donde se puede observar que una diferencia de índices demasiado pequeña puede causar pérdidas por microcurvaturas.

Por ejemplo en una fibra con radio  $a = 25 \text{ nm}$  y  $\delta = 0.01$  se producen pérdidas de radiación cuando hay irregularidades a  $1 \text{ mm}$  o menos, a este tipo de pérdidas se les llama "Mie" para diferenciarlas de las Rayleigh (defectos intrínsecos de la F.O.)

Si se suman todas las pérdidas se obtiene una curva como la de la fig. 2.14

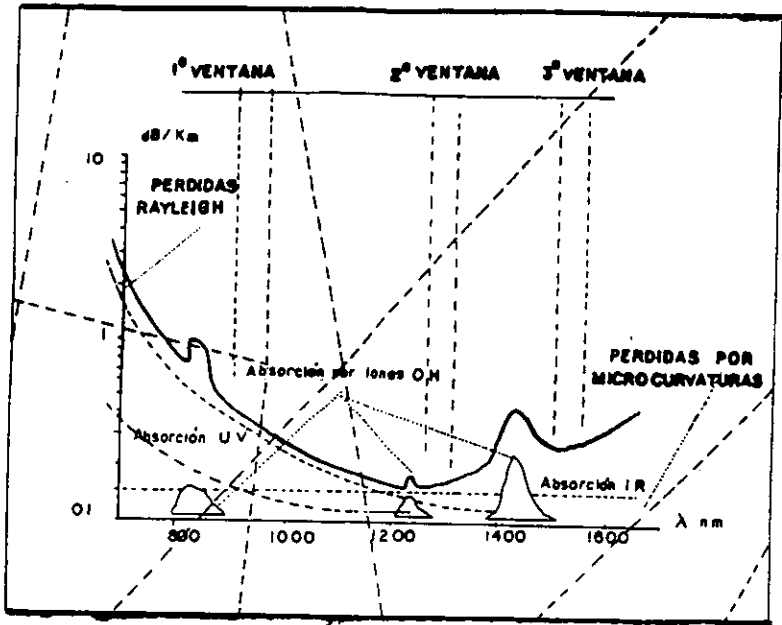


FIG 2.14 ATENUACIÓN TOTAL DE UNA F.O.

En la figura puede observarse; una zona por debajo de los  $800 \text{ nm}$  que es de alta atenuación.

- Una zona por encima de los  $1600 \text{ nm}$  que presenta atenuación por efecto de rayos infrarrojos

- Se aprecian 3 zonas de atenuación mínima conocidas como ventanas que determinan las longitudes de onda idóneas para trabajar y son 850 nm, 1300 nm y 1550 nm llamadas 1a, 2a y 3a. ventana respectivamente.

En la instalación F. O existen también las pérdidas por empalmes y por conectores usados para la interconexión de quipo, se consideran. 1 dB por empalme de fusión y 0.5 dB, por conector.

**Dispersión En Las Fibras:** Como las ondas luminosas pueden seguir caminos diferentes (fibras multimodo), se producen ensanchamientos en los impulsos y este efecto es acumulativo con la distancia, estos efectos se suman al ensanchamiento causado por las diferentes estructuras ópticas y geométricas de las fibras, conformando un segundo parámetro llamado **DISPERSIÓN**, que define la capacidad máxima que puede transmitir la F.O. (por unidad de long).

Ya que el efecto de dispersión es acumulativa con la longitud de la fibra, la capacidad se mide en Mhz por Km. ; la dispersión se debe a los siguientes 3 factores:

- Dispersión modal sm.*
- Dispersión espectral, intermodal o del material se.*
- Dispersión por efecto guía ondas sg.*

Las 2 primeras son inherentes a las F.O. multimodo pero debido a su naturaleza (de las dispersiones) se suman cuadráticamente. Las dispersiones del material y guía ondas se suman linealmente ya que se refieren a cada modo; esta suma se llama “**dispersión cromática**” El valor cuadrático medio de la dispersión es:

$$\sigma^2 = \sigma_m^2 + (\sigma_e + \sigma_g)^2$$

**Dispersión Modal:** Se ha visto que la fibra permite la propagación de diferentes modos y que el número de modos es mayor cuanto mayor sea el diámetro de la fibra; lo que implica que 2 rayos de la misma longitud de onda, que inciden simultáneamente con distintas direcciones llegarán en tiempos diferentes al receptor.

Este efecto es conocido como dispersión modal, por afectar las relaciones entre modos y es característica de las fibras multimodo lo fig. 2.15 muestra la transmisión de 3 modos y el pulso resultante.

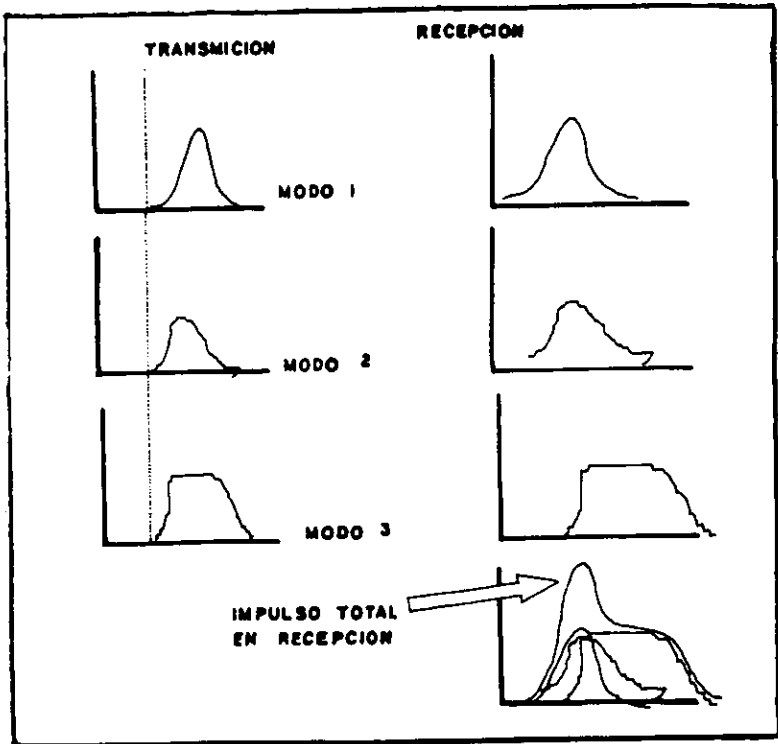


Fig. 2.15 Dispersión Modal En La Fibra Óptica

En las fibras índice escalón el retardo máximo se produce entre el rayo que accede en dirección del eje de la fibra y el que entra con un ángulo igual al límite; la diferencia de tiempos en recorrer una longitud para ambos rayos se expresa:

$$t_m - t = \frac{1}{V_1} (t_m - l) = \frac{n_1}{c} l \left( \frac{1}{\sin \alpha_{1L}} - 1 \right)$$

La dispersión Modal por unidad de long es:

$$\sigma_{msi} = \frac{n_{1L}}{c} \left( \frac{1}{\sin \alpha_{1L}} - 1 \right) = \frac{n_{1L}}{c} \frac{(n_1 - 1)}{n_2} = \frac{n_{1L}}{c} \frac{n_1 - n_2}{n_2}$$

La apertura numérica  $AN = n_1 \cdot \cos \alpha_{1L} = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}}$

$$n_1 - n_2 = \frac{AN^2}{n_1 + n_2}$$

$$\sigma_{msi} = \frac{AN^2}{2N_1 C} \quad \text{ns / km}$$

El ancho de banda debido a la dispersión modal, que define la fr de corte es:

$$BMSI = 0.187/sMSI = 0.374 n_1 c \text{ Gz/Kw} / (AN)^2 \quad \text{Ghz. Km}$$

con C en Km/ns

**Dispersión Modal Índice Gradual:** Para la deducción del retardo relativo se recurre a las ecuaciones de Maxwell para la elección del perfil de índice a partir del parámetro g.

El valor de dispersión para  $g_{op}$ :

$$\sigma_{mIG} = \frac{AN(0)^4}{8n_1^3(0)C} \cdot 140 \cdot \frac{[n_1(0) - n_2]^2}{n_1(0)} \quad \text{ns/km}$$

$$\text{El ancho de banda intermodal } B_{mIG} = \frac{0.187}{\sigma_{mIG}} \approx \frac{1.5 n_1^3(0) C}{AN^4(0)} \quad \text{GHz/km}$$

## 2.7 CABLES DE FIBRA OPTICA

La fibra óptica no es un material de alta resistencia por sí mismo, por lo que varias F.O. deben ser agrupadas en el interior de un cable con cubiertas y protecciones de calidad, a fin de protegerlas ya que la fibra puede instalarse a la intemperie o en ambientes agresivos que puedan llegar a afectar el núcleo.

Para lograr la protección requerida, es necesario tener en cuenta características de la FO como son: sensibilidad a la curvatura y a la microcurvatura, resistencia mecánica y característica de envejecimiento, coeficiente de relleno (No. de F.O. por  $\text{mm}^2$ )

**Parámetros De Diseño:** Para el diseño del cable de fibra óptica se considera los siguientes parámetros:

- *Sensibilidad a las curvaturas y microcurvaturas.*
- *Resistencia mecánica.*
- *La fatiga estática y envejecimiento.*

**Sensibilidad A Las Curvaturas:** Siempre que la fibra se ve sometida a una curvatura ya sea al embobinarla, o en la instalación del cable o por cualquier otra situación, se producen fugas de modos, lo que provoca una atenuación que varía exponencialmente con el radio de curvatura del núcleo como puede observarse en la fig. 3.15 A, estas pérdidas son apreciables cuando se sobrepasa una curvatura crítica; como regla práctica se considera que como un radio de curvatura mínimo de 10 veces el diámetro de l tubo que aloja el módulo de fibras.

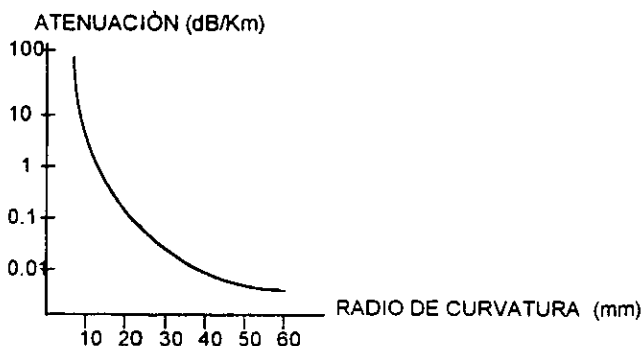


FIG. 2.15A PERDIDA DE LAS FIBRAS POR CURVATURA

Las microcurvaturas se producen por fuerzas laterales a lo largo de la fibra y puede aparecer por defectos de fabricación, irregularidades en la instalación, o bien por variación en la dimensión de los cables causados por cambios de

temperatura, se ha comprobado que la tensión producida es inversamente proporcional al radio de curvatura, y directamente proporcional al módulo de Young y al momento de inercia de la fibra. Las pérdidas por microcurvaturas pueden mejorarse modificando parámetros de la fibra o el cable, a continuación se mencionan algunas modificaciones que pueden realizarse.

- *Aumento de diámetro del revestimiento.*
- *Aumentar el radio de curvatura continua debido al trenzado.*
- *Disminución del módulo de elasticidad del recubrimiento y del material de la cubierta del cable.*
- *Aumento del espesor del recubrimiento.*
- *Eliminación de tensión de la fibra en el interior del cable.*

**Resistencia Mecánica:** La resistencia mecánica teórica de la F.O. es del orden de  $350 \text{ N/mm}^2$ , que es una resistencia muy pequeña comparada con las altas tensiones a la que puede ser sometida durante el tendido de cable, por tal motivo se deben incorporar a los cables ópticos elementos que les proporcionen la resistencia necesaria, independizando en la medida de lo posible la elongación de la fibra y la del cable.

La vida útil de la fibra depende de la tensión permanente a la que es sometida durante el tendido de fibra, así como la tensión cuando queda instalada.

**Estructura de los cables:** La aplicación para la cual será usado el cable, determina las características y estructura del mismo, pero para cualquier aplicación deberán de tomarse en cuenta los siguientes factores:

1. *Elongación prevista: será pequeña en cables subterráneos y grande en cables submarinos y aéreos.*
2. *Resistencia mecánica y tensión de trabajo.*
3. *Protección contra humedad.*
4. *Tipo y grado de elementos ambientales para determinar las características mecánicas y químicas de los materiales plásticos a usar.*
5. *Pérdidas causadas por curvaturas y microcurvaturas.*
6. *Capacidad del cable.*

7. *Procedimiento de empalme, en caso de un gran número de fibras, puede determinar la elección de estructuras modulares de cable.*

Los 5 primeros factores determinan el tipo y dimensiones del recubrimiento de fibra, los tipos de estructuras se indican a continuación.

a) *Estructura holgada o libre, la fibra y su recubrimiento primario quedan inmersos en un fluido viscoso que los aísla parcialmente de esfuerzos externos y humedad.*

b) *Estructura ajustada, donde la fibra está embutida por extrusión en un material plástico resistente*

**Estructuras holgadas:** En este caso la fibra se encuentra envuelta en un recubrimiento (coloreado) de acetato de celulosa de aproximadamente 6  $\mu\text{m}$ . de espesor de 150 a 250  $\mu\text{m}$  de diámetro. El recubrimiento secundario es un tubo plástico de 1.5 a 3 mm de diámetro, con un espesor de 0.25 mm, los cables con un pequeño número de fibras se ensamblan por grupos de 6, 8, 10 ó 12, recubiertos de polietileno, los grupos de fibra alrededor de un elemento central resistente, normalmente kevlar 49, en la fig. 2.16 se muestra una fibra de estructura holgada.

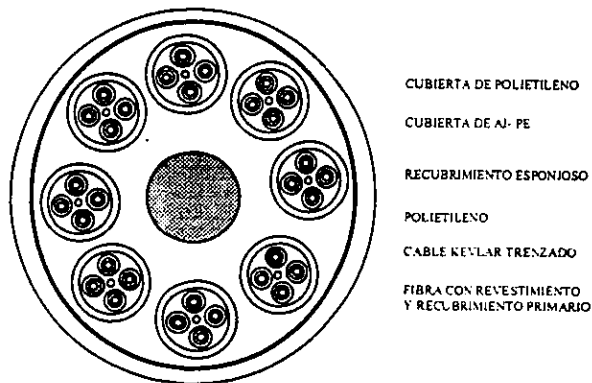


FIG. 2.16 CABLE MULTIFIBRA



En algunas ocasiones se incluyen en el cable de fibra, conductores metálicos para alimentación de regeneradores intermedios.

**Estructuras Ajustadas:** El recubrimiento primario es una capa de barniz, de acetato de celulosa de 6  $\mu\text{m}$  de espesor o resinas de silicón de 20  $\mu\text{m}$ , la segunda capa tiene un espesor de aproximadamente 0.5 a 1 mm.

**Cables de matriz de cintas:** Estas estructuras son holgadas en nido de aveja (alveolares), en las cuales las fibras se colocan sobre bandejas de perfil semihexagonal, superponiendo las bandejas, (de acuerdo a la cantidad de fibras que contendrá el cable) y uniéndolas con soldadura térmica la fig. 2,17 muestra un cable de matriz de cinta y la tabla 2.2 muestra algunos tipos de cubiertas y las aplicaciones donde son usados

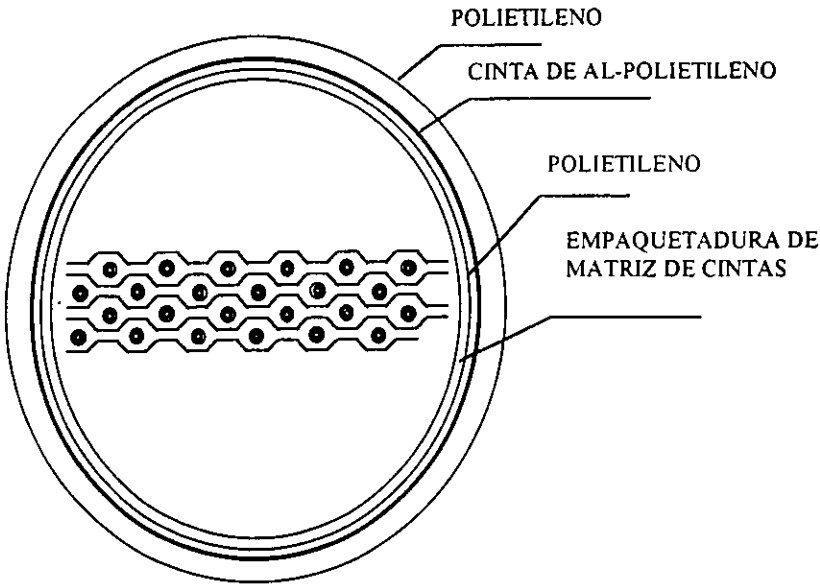


FIG. 2.17 CABLE DE CINTA

CUBIERTA	APLICACIÓN
Polietileno-Kevlar-Polietileno	Canalización
Polietileno-Aluminio-Polietileno	Canalización
Polietileno-Acero-Polietileno	Canalización
Polietileno-Aluminio-Polietileno	Zanja Canalizada
Polietileno-Acero-Polietileno	Zanja Canalizada
Polietileno-Acero-Polietileno	Enterrado
Polietileno-Kevlar-Polietileno	Aereo

TABLA 2.2 TIPOS DE CUBIERTAS Y APLICACIONES

**Cable de cilindro ranurado:** Este tipo de cable tiene como unidad básica un cilindro de polietileno, en cuya periferie se disponen 10 ó 12 ranuras con paso de hélice que alojan a las fibras, en el centro del cilindro hay un elemento resistente y la periferie va encintada. El cable se forma de varias de estas unidades, como se muestra en la fig. 2.18

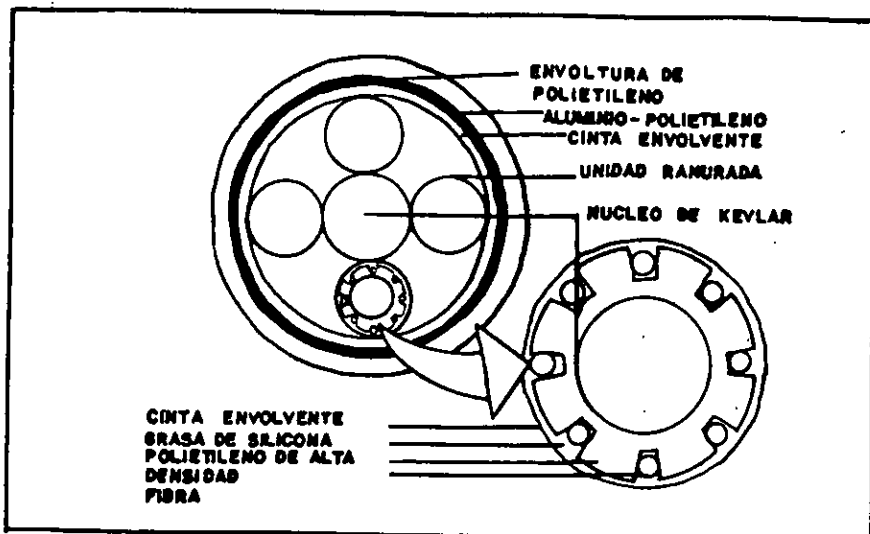


Fig. 2.18 Cable de Cilindro Ranurado

## PRUEBAS EN LOS CABLES

Los cables son sometidos a pruebas de laboratorio, pruebas tales como óptico-geométricas, mecánicas, ambientales, de transmisión, a continuación se resumen algunas de las principales.

### MEDIDAS GEOMETRICAS:

- *Diámetro de revestimiento.*
- *Error de concentricidad núcleo-revestimiento.*
- *No circularidad de núcleo- revestimiento.*
- *Error de concentricidad y no circularidad del recubrimiento primario.*

### MEDIDAS OPTICAS:

- *Diámetro del campo modal.*
- *Apertura numérica.*

### MEDIDAS DE TRANSMISION:

- *Retrodispersión y atenuación monocromática.*
- *Atenuación espectral.*
- *Longitud de corte.*
- *Dispersión espectral y total.*
- *Perfil de índice de refracción del núcleo.*
- *Ancho de banda del dominio de frecuencia.*

### MEDIDAS MECANICAS:

- *Resistencia a las microcurvaturas.*
- *Resistencia a la abrasión.*
- *Resistencia a la tracción y alargamiento.*
- *Resistencia a la fatiga.*
- *Dependencia de la atenuación con la temperatura.*
- *Flexibilidad.*

### MEDIDAS AMBIENTALES:

- *Pruebas de temperatura.*
- *Pruebas de alta temperatura y humedad combinadas.*
- *Comportamiento a bajas temperaturas.*
- *Ciclos de temperaturas altas y bajas y humedad.*

- *PH del medio circundante.*
- *Inmersión en diversos medios.*

## 2.8 EMISORES Y DETECTORES OPTICOS

Las fuentes ópticas son transductores que generan una portadora óptica que será modulada por una señal eléctrica que proviene de un equipo digital y los detectores son dispositivos que transforman la luz que proviene de una F.O. en señales eléctricas para que sean enviadas a un equipo terminal.

### 2.8.1 CARACTERISTICAS DE LAS FUENTES EMISORAS

Las fuentes empleadas para comunicaciones ópticas, son de 2 tipos, diodos electroluminiscentes huecos o (LED) y diodos láser (LD). La radiación de cualquiera de estos dos tipos de diodos, se logra inyectando electrones en una unión p-n con polarización directa.

En un semiconductor, los estados energéticos de los electrones están cuantificados en escalones, creando bandas energéticas separadas por saltos o bandas prohibidas, el salto energético fundamental de valor  $E_g$  separa la banda de valencia ocupada (alta) de la banda de conducción sin ocupar (baja). La ocupación inicial de las bandas se altera mediante la polarización externa del semiconductor, inyectando electrones en la parte inferior de la banda de conducción, o extrayéndolos de la parte superior de la banda de valencia, lo que equivale a inyectar huecos en la banda de valencia.

La corriente inyectada provocará la recombinación de huecos de la banda de valencia con electrones de la banda de conducción y esta recombinación genera la emisión de fotones, cuya energía equivale al salto energético del electrón que pasa de la banda de conducción a la valencia para recombinarse la figura 2.19 muestra las bandas de energía de una unión p-n.

En los diodos (LED) la emisión en la unión p-n es espontánea por lo que las ondas emitidas no están en fase, ya que se trata de un fenómeno aleatorio y es por esta característica que la potencia de salida es notablemente menor que la

del láser, su ancho de banda espectral más amplia que el láser, y la velocidad de modulación permisible es menor, limitándose a un ancho de banda de pocos cientos de Mhz/km.

La recombinación tiene lugar alrededor de las zonas de unión y los fotones son emitidos en todas direcciones y para controlar la emisión se usan heterouniones simples o dobles, que revisten al semiconductor activo otra banda prohibida más ancha; el incremento en el valor del escalón energético resultante entre los bordes de las bandas de valencia y de conducción se encargará de confinar los huecos o electrones inyectados en la región activa, impidiendo que la recombinación ocurra fuera de ella.

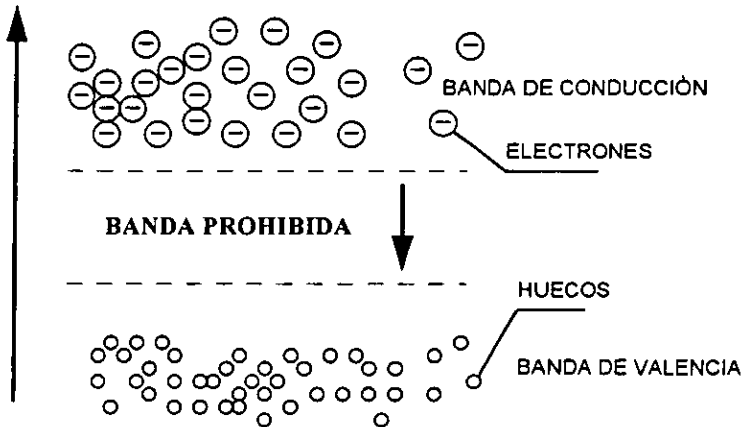


FIG. 2.19 BANDAS DE ENERGIA EN UNA UNION P-N

De los 2 diferentes emisores que existen los diodos LED para fibras multimodo existen los LED tipo burus o de emisión de superficie como el indicado en la fig. 2.20 y los diodos ELED o diodos de emisión de borde.

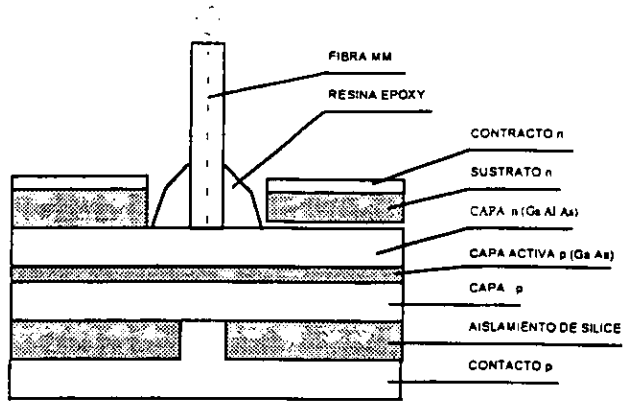


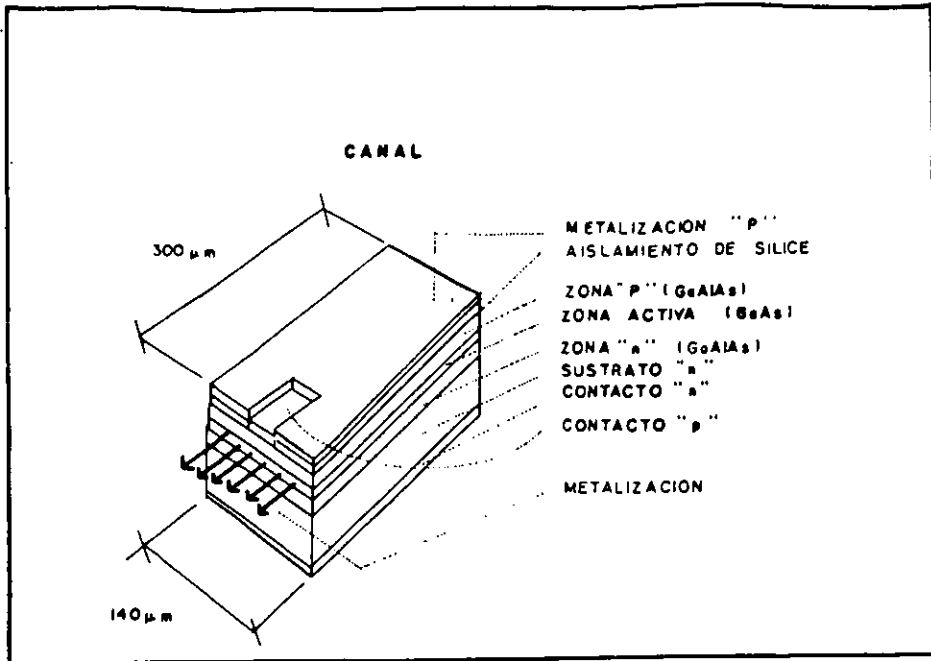
FIG. 2.20 DIODO DE EMISIÓN POR SUPERFICIE

El diodo burrus (1972) emite luz de modo isotrópico desde la región activa; si el medio que circunda la capa activa es GSAS, con  $n = 36$  y el medio exterior es aire  $N = 1$ , tendrá un ángulo de radiación mínimo (con respecto a la normal de la superficie de emisión) (de  $16^\circ$ ) cualquier fotón que emerja de la superficie de emisión con un ángulo superior quedará atrapado por reflexión total. En el caso de que hubiese una unión directa con una F.O. el ángulo eficaz máximo de salida del fotón será de  $24^\circ$  lo que indica un rendimiento muy bajo. La disposición del sustrato n en forma de pozo circular permite el embutido (conexión) de la F.O. y favorece el acoplamiento luminoso.

Los diodos de tipo ELED, o de emisión de borde, emiten luz por el mismo plano de la unión p-n. gracias al efecto de guía que provoca la heteroestructura; este efecto se debe a:

- a) La inclusión de capas semiconductoras sucesivas, de saltos energético crecientes, a uno y otro lado de la capa activa con un espesor de  $0.1$  a  $0.2 \mu\text{m}$ .
- b) El índice de refracción de un material disminuye al aumentar su salto energético y por esto la heteroestructura sirve de guía de ondas óptico, la figura 2.21 muestra un elemento de un diodo ELED:

En este tipo de leds se tiene mayor direccionalidad, por lo que la pérdida en el acoplamiento es menor y el ancho de banda mejora fuertemente llegando a ser de  $10 \eta\text{m}$ .



**FIG. 2.21 CORTE DE UN LED DE EMISION DE BORDE  
(DOBLE HETEROESTRUCTURA)**

En ambos tipos de diodos emisores, la temperatura no afecta la potencia de emisión, pero si afectan a la longitud de onda y al ancho espectral. La fig. 2.22 muestra la variación de espectro con el aumento de temperatura.

### **DIODOS LÁSER:**

En el LED la emisión de fotones es aleatoria y por lo tanto aún cuando la radiación fuera monocromática, las ondas que la componen no están en fase lo que implica que unos anulen total o parcialmente a otras, por lo que la potencia de salida se reduce con respecto a la que podría ser emitida si no ocurriesen estos fenómenos.

El láser tiene como característica, una emisión coherente, es decir, los trenes de ondas emitidos siempre están en fase independiente del ancho espectral.

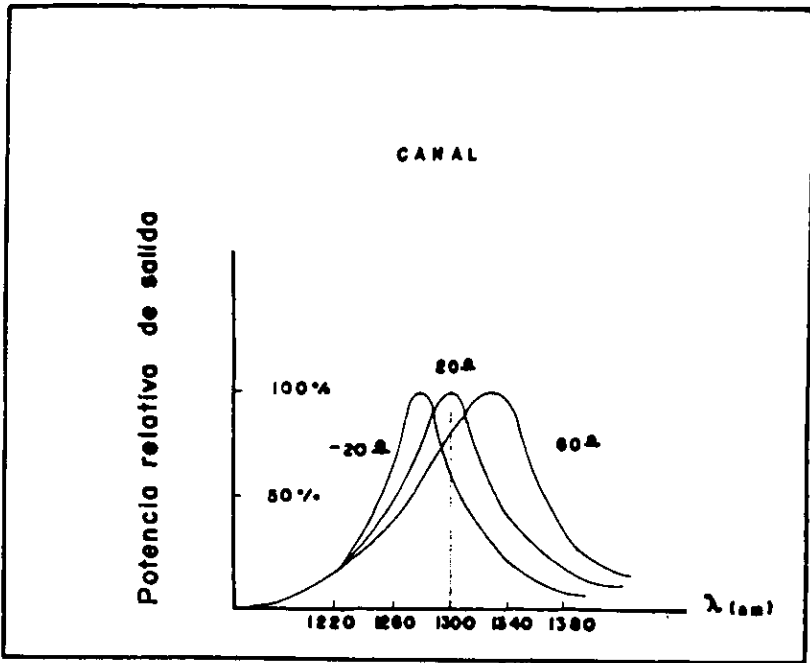
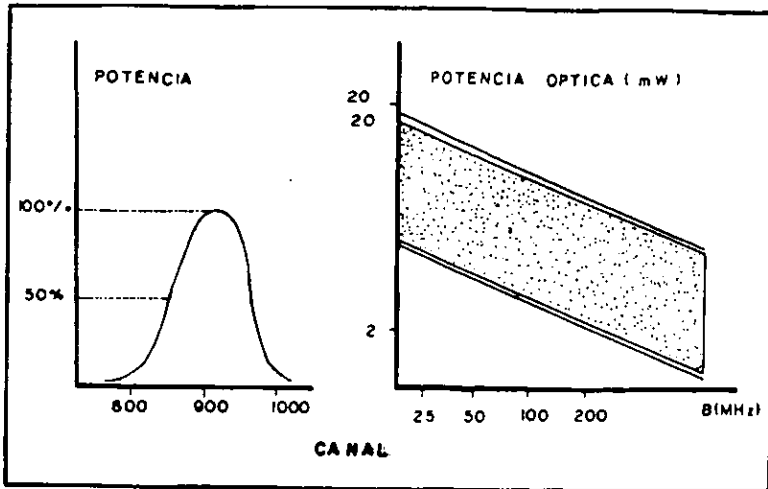


Fig.2.22 variaci3n Del Espectro Con El Aumento De La Temperatura



La fig. 2.23 Muestra Las Características Típicas De Ancho Espectral y Velocidad de Modulaci3n

La tabla 2.3 muestra características importantes tanto de LED como del ELED



PARAMETROS	LED	ELED
LONGITUD DE ONDA (nm).	859-1300	859-1300
ANCHURA ESPECTRAL (nm)	30-110	10-50
CORRIENTE DE EXCITACIÓN (mA)	20-300	20-300
POTENCIA MEDIA DE SALIDA (mW)	1	<3
ANCHURA DE BANDA (MHz Km)	10-50	50-200
TEMPERATURA MÁXIMA ADMISIBLE	60°	60°
VIDA MEDIA Hrs.	10 E7	10 E7

**TABLA 2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS DIODOS LED**

Einstein afirmó que cuando un fotón incide sobre un átomo pueden ocurrir 2 cosas:

- a) *Si el nivel de energía del átomo es bajo, la absorción del fotón lo eleva y puede separar un electrón dando lugar a la creación de un electrón hueco, (principio de funcionamiento de los fotodetectores).*

Cuando esto sucede el fotón queda destruido y es el caso típico de un material que absorbe a la luz cuando ésta lo atraviesa.

- b) *El caso descrito en el inciso anterior, no excluye que un fotón incida sobre uno de los pocos electrones de alta energía y lo haga pasar a un estado de menor excitación, cosa relativamente fácil si el electrón se encuentra en un estado metaestable y en este caso implica la emisión de un nuevo fotón, una condición importante para que suceda cualquiera de los 2 casos es que la frecuencia del fotón incidente sea igual al cociente entre el salto energético del electrón (valor fijo para cada material) " $\Delta E$ " y la constante de plank " $h$ "*

$$f = \Delta E/h$$

Cuando se cumple con esta condición el nuevo fotón, tiene la misma frecuencia, fase y polarización que el fotón incidente, es decir; la radiación estimulada es coherente con la onda electromagnética que la provocó. El nuevo

fotón surgido de la “emisión estimulada” tiene las mismas características del que lo provocó, este fenómeno es conocido como **absorción negativa** o “**amplificación de luz**”.

Para incrementar la probabilidad de que ocurra el caso (b), se hace mayor el número de electrones de alta energía, que originalmente es menor, proceso conocido como **inversión de población**.

Para lograr que este amplificador de luz se automantenga con una realimentación positiva, es decir que se convierta en un oscilador, es necesario que parte de los fotones producidos sean usados como fuentes de luz y la parte restante, deberá usarse para realimentar el proceso de radiación forzada. Si la distancia entre las caras extremas del eje de propagación, es un número entero de semilongitudes de onda de la radiación emitida y los fotones que no escapen de estas caras, estarán en fase con los incidentes y crearán nuevos fotones.

Cuando la ganancia neta de un fotón que recorre un circuito completo se hace igual a la unidad la reacción en cadena se hace crítica produciendo el efecto láser; se requiere una corriente mínima llamada “Corriente de Umbral” para que el efecto se mantenga, ya que por debajo de esta corriente el dispositivo se comporta como un LED, por lo tanto la condición para láser será:

$$L = m\lambda/2$$

Donde  $L$  = Longitud de la cara mayor de la cavidad resonante,  $\lambda$  = longitud de onda del fotón y  $m$  = un número entero.

**Tipos De Laser:** Actualmente se fabrican lasers para 850nm, 1300nm y 1500nm, dentro de los láseres de uso actual podemos mencionar los láseres de realimentación distribuido. (DFB), que consisten en reticulado periódico que separa las capas de la estructura del láser, provocando una variación periódica del índice de refracción y al variar este índice se refleja una parte de la potencia, con lo que algunas longitudes de onda se ven favorecidas con respecto a otras, aquellas que están en fase serán reforzadas y escaparán de la zona activa. El ancho espectral de estos láseres es inferior a 0.1nm. La fig. 2.24 muestra la estructura de un láser DFB

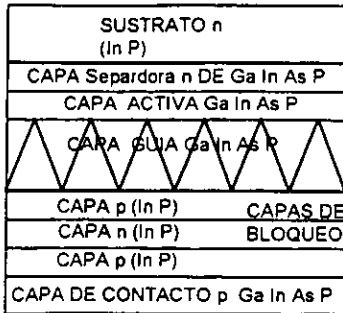


FIG. 2.24 DIODO LASER TIPO DFB

Estos láseres son muy útiles en aquellos sistemas donde la dispersión es limitativa del producto: Velocidad ancho de banda. No obstante la velocidad con estos dispositivos se ve comprometida por encima de los 550 Mb/s.

### LÁSER DE HETEROESTRUCTURA ENTERRADA BH

La fig.2.25 muestra un láser BH, en estos láser la capa activa In Ga As P se entierra en material de In P, cuya banda prohibida es mayor.

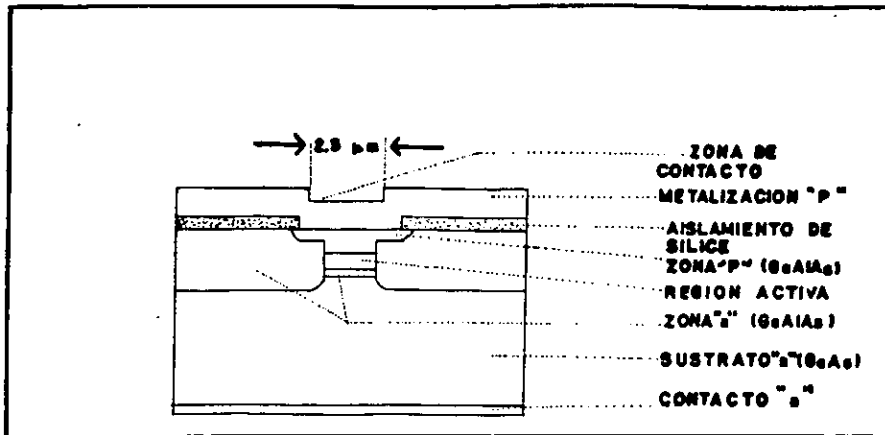


Fig. 2.25 Laser BH

El material In P se dopa de modo que la zona activa quede intercalada entre In P de los tipos p y n. La emisión se puede llevar a cabo con salida tipo fabry-

perot o por el sistema de realimentación distribuida con un refrigerador peltier interno.

LÁSERS DE ESTRUCTURA AVANZADA. (LÁSER MQW, DBF-DCPBH)

Los láser DCPBH como el mostrado en la fig. 2.26 constituyen una variedad muy avanzada del tipo BH y son emisores de heteroestructura enterrada con doble canal; el primer canal lo constituye una rejilla DFB y el segundo una franja llamada pozo cuántico, con el que se logra forzar a los electrones a cambiar su comportamiento, reduciendo la constante de tiempo RC, la fluctuación de  $\lambda$  y la corriente umbral

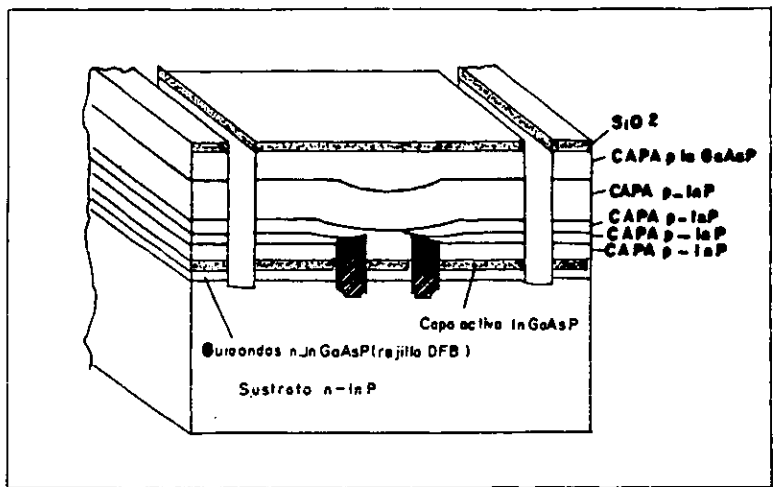


Figura 2.26 Laser De Heteroestructura Avanzada

La estructura DCPBN, mejora notablemente la potencia de emisión y el efecto CHIP (el efecto CHIP es el ensanchamiento de la distribución espectral con la modulación, la raya espectral muestra un aumento de su anchura cuando la corriente de láser ha sido modulada), la potencia puede ser de hasta 50 mw y el efecto CHIP de 0.2 nm a -20 db con un índice de modulación de 90% sobre un sistema de 2Gb y son útiles para transporte y distribución de TV analógica.

En los láser de estructura enterrada semiaislada DBF conocidos como DBF-SIBH ó MQW-DFB-SIBN- se crea un guía ondas lateral al cercar la zona activa p en las caras mayores del CHIP por una zona p-n semiaislante a base de un compuesto de In P consiguiendo un mayor acoplamiento a la fibra, son idóneos para transmisiones digitales a grandes velocidades (hasta 10 Gb/s) con tasas inferiores a  $10^{13}$  La tabla 2.4 muestra las características de los láser

PARAMETROS	Ga Al As	In Ga As P
LONGITUD DE ONDA (nm).	800-900	900-1550
ANCHURA ESPECTRAL (nm)	0.1-4	0.1-6
ESTABILIDAD ESPECTRAL (nm/°C)	0.2	0.5
POTENCIA (mW)	5-20	5-20
CORRIENTE DE UMBRAL (mA)	80-150	40-100
ANCHURA DE BANDA (GHz)	0.5-2	0.5-2
VIDA MEDIA (Hrs).	10 E6	10 E6

**TABLA 2.4 CARATERÍSTICAS DE DIODOS LASER**

### 2.8.2 DETECTORES ÓPTICOS

El detector convierte la señal óptica que proviene de la fibra en señal eléctrica que posteriormente se regenera para llevarla a un equipo terminal demultiplexor.

El principio de detección corresponde a la unión p-n de un semiconductor cuyo intervalo de energía entre las bandas de energía y conducción sea pequeño, lo que permitirá que un fotón, que incida en la unión tenga suficiente energía para permitir la creación de un par electrón-hueco.

Ambos portadores circulan en sentidos opuestos, creando una fotocorriente en el circuito externo.

La detección de un haz de longitud de onda  $\lambda$  requiere el uso de un material en el detector cuyo salto energético sea menor a la energía  $hc/\lambda$  para longitudes de onda de la primera ventana 800nm, el material más adecuado es el silicio

con un salto energético de 1.1 eV en la segunda ventana 1350nm, se necesitan elementos de menor salto energético como el Ge 0.7 eV, para la 3a. ventana 1550nm elementos como son idóneos para los fotodetectores son In Ga As P.

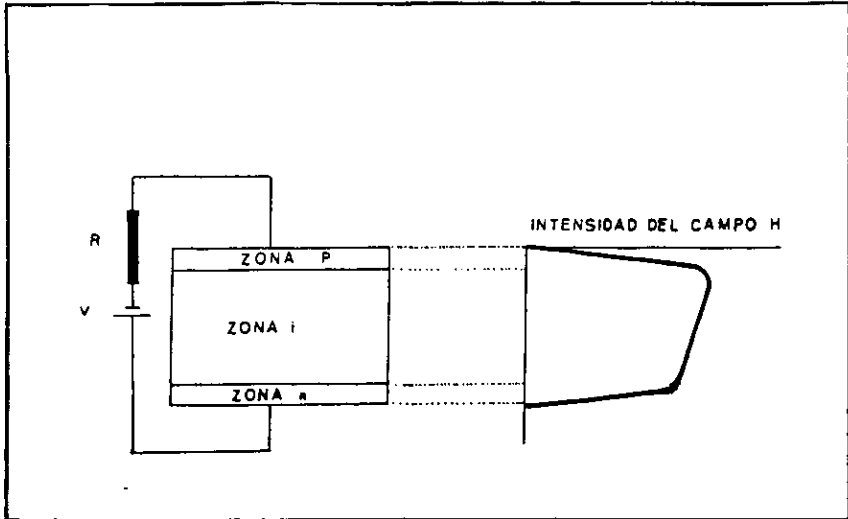


Figura 2.27 CAMPO ELECTRICO EN UN FOTODIODO PIN

Detectores PIN; se mejora la eficacia de un detector p-n con una estructura PIN, donde la región activa (llamada intrínseca) se sitúa en medio de las regiones p y n.

Si a este dispositivo se le aplica una corriente de polarización inversa, la región intrínseca se vacía de portadores (depleción ó empobrecimiento), generando un alto valor del campo eléctrico en la región intrínseca que acelera las cargas en ella. El campo impulsa a los portadores generados hacia afuera.

La fig: 2.28 muestra una estructura típica PIN teniendo como material absorbente un compuesto In Ga As, la región de absorción o intrínseca es de un espesor de 3 a 4  $\mu\text{m}$  y su diámetro de 100  $\mu\text{m}$  colocada sobre un sustrato n de In P la cara superior se recubre con una capa pasiva antirreflejante que la protege y reduce la recombinación de pares electrón hueco.

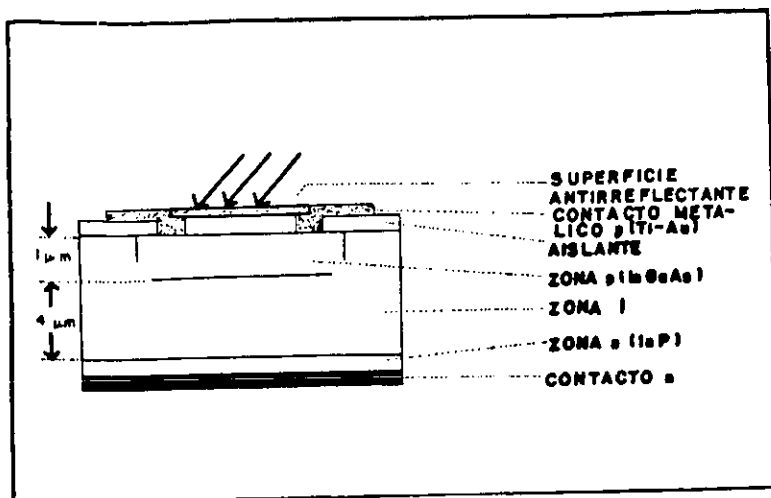


Figura 2.28 estructura PIN

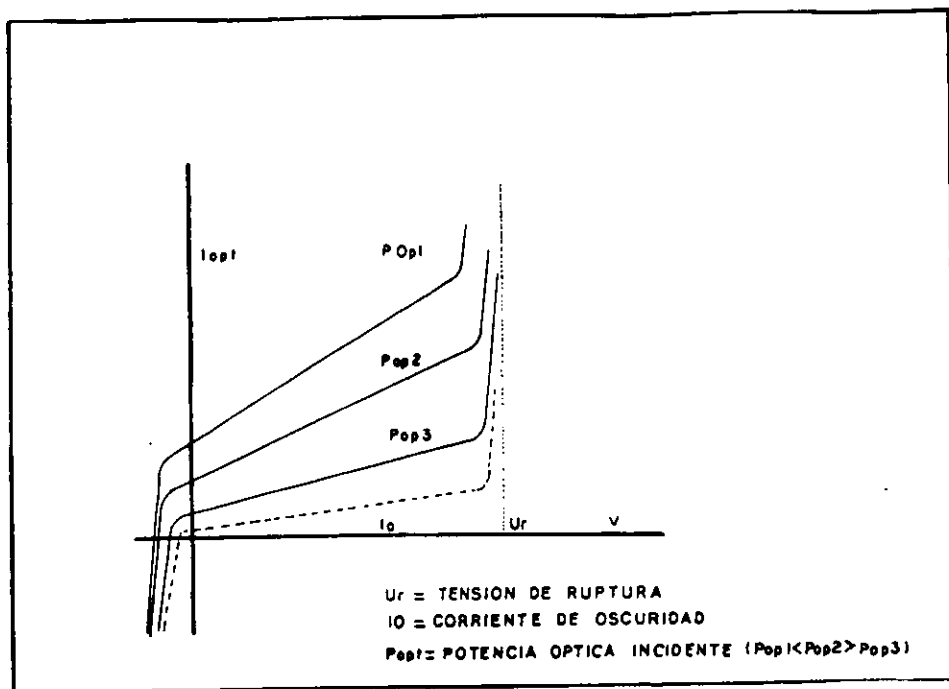


Figura 2.29 Polarizacion Inversa De Un Diodo PIN

Las características tensión de polarización inversa-corriente de un diodo PIN se muestra en la fig 2.29 advirtiendo en ella que:

- a) La corriente de portadores mayoritarios aumenta con la potencia óptica incidente y dentro de cada potencia su margen de variación es pequeño hasta alcanzar la tensión de ruptura.
- b) A partir de cierta tensión la fotocorriente aumenta bruscamente a consecuencia de la alta energía del campo existente (unos 30 v/m) produce en los portadores minoritarios, formados en la zona de depleción, una alta energía cinética, que provocan con su choque con la estructura atómica de la región intrínseca, la creación de nuevos portadores.
- c) Cuando no existe luz incidente, el detector origina una pequeña corriente parásita, o de oscuridad, cuyo ruido queda siempre de fondo y que es conveniente conocer la corriente de oscuridad se debe a la difusión de portadores minoritarios de origen térmico generados fuera de la región intrínseca.

**Detectores APD:** Los detectores APD funcionan con el principio mencionado con anterioridad de que un elevado campo eléctrico da lugar a que los electrones y huecos generados en la colisión fotónica, generen nuevos portadores por efecto de alta energía cinética adquirida en el campo eléctrico es decir: el impacto de un electrón generado en la zona intrínseca con otro nuevo electrón, hará que este último pase de la banda de valencia a la de conducción, al transferirle su energía, de modo que la fotocorriente de avalancha será:

$$I_p = M \cdot I_p$$

Donde M = ganancia de corriente la naturaleza estadística de la avalancha da origen a un ruido caracterizado por un factor F. Factor de ruido en exceso (>1) y que multiplica a M a efectos de ruido con lo que M tiene un valor óptimo y si éste se sobrepasa, se pierden los beneficios de ganancia por ruido.

Son tres tipos de APD existentes: de silicio Si de Germanio Ge y detectores del grupo III-IV.



**APD De Silicio:** presentan ruido bajo y rendimiento de hasta 90% operando en la 1a. ventana, su factor de ganancia es de 50 a 150. Su sensibilidad es inversamente proporcional a la velocidad binaria típicamente: 64 dBm a 8 Mb/s -50 a 140 Mb/s, baja corriente a 25°C entre 1 y 5 nm anchos de banda superiores a 1 Ghz; Su inconveniente es el alto voltaje de alimentación (200-300V).

**APD Germanio:** Útiles para funcionar en longitudes de onda comprendidas entre 1000 y 1300 nm con rendimiento del 70% y tiene el inconveniente de que es difícil controlar el factor F, su corriente de oscuridad es alta  $\approx 0.1 \mu\text{A}$  y se duplica cada 9°C ó 10°C afectando su sensibilidad siendo sus valores típicos -45dBm a 34 Mb, -40dB a 140 Mb, -35dBm a 565Mb/s el voltaje de polarización es de  $\approx$  de 30V el ancho de banda es de hasta un Ghz.

### DETECTOR GRUPOS III y IV

Son realizados con elementos de los grupos III y IV del tipo In. Ga.ASP/InP con capas intermedias de In Ga As P como interfaz gradual que constituyen una zona de transición continua cuyo efecto es el de acelerar los electrones y reducir el ruido, lográndose factores de multiplicación de corriente hasta de 60, con una corriente de oscuridad comprendida entre 10 y 100 nA a tensiones del 40% de la ruptura y pueden trabajar con velocidades de 10 Gb/s

### DETECTORES PIN-FET

La solución alternativa a los APD en altas longitudes de onda de 1500 a 1700nm, la constituye un diodo PIN seguido de un preamplificador de bajo nivel de ruido; se usa una capa empobrecida de Ga As In de  $\lambda 3 \mu\text{m}$  de espesor; la estrechez de esta capa y el bajo tiempo de tránsito de los portadores, implica que el componente sea rápido con un ancho de banda teórico de 15 Ghz que por encapsulado se limita a 2 Ghz.

Estas configuraciones constituyen detectores optoelectrónicos integrados de gran interés debido a su gran ancho de banda y consisten de un PIN de Ga Al As y un amplificador del tipo FET de Ga As integrados monolíticamente.

Parámetros típicos de diodos PIN FET se muestran en la tabla 2.5

LONGITUD DE ONDA	850-900	1300-1550
MATERIALES	Si	In Ga As
CAPACIDAD DE ENTRADA	0.1	0,2
CORRIENTE DE OSCURIDAD	40 pA	1 uA
SENSIBILIDAD A 140 MB/S (dBm)	-45	-44
RENDIMIENTO (%)	40/970	70/95
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN (V)	Aprox 5	Aprox 5

**TAB. 2.5 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE DIODOS PIN-FET**

## 2.9 CALCULO DE SISTEMAS:

La distancia máxima entre regeneradores puede calcularse con 2 criterios.

- a) La máxima atenuación permisible (tomando en cuenta todas las pérdidas posibles de los elementos del sistema)
- b) Dispersión temporal máxima que el sistema admite para una tasa de error dada.

**Pérdidas admisibles:** El balance de pérdidas en el sistema puede establecerse como sigue:

$$P_f - (M_E + \alpha_c + N\alpha_E + M_c + \sum_{i=1}^{n+1} \alpha \cdot l_i) = S_0 + A_s + P_p$$

Donde:  $P_f$  = potencia del emisor (aleatoria)

$M_E$  = margen de equipo (6-8 dB) (aleatoria)

$S_0$  = sensibilidad del receptor para una vel. y tasa de error determinada (aleatoria)

La función ( $P_f - S_0 - M_E$ ) aleatoria y de distribución Gaussiana es la potencia disponible entre los puntos F de transmisión y R de la recepción también llamada ganancia de sistema; para sistemas de 565 Mb se define con los siguientes parámetros.

( $P_f - S_0 - M_E$ ) = 26 dB valor medio de la ganancia; valor máximo = 30 dB  
valor mínimo = 22 dB

$T_f(P_f - S_0 - M_E)$  = 1.33 dB desviación típica

$\alpha_c$  = atenuación por conector. La atenuación de conectores tiene los siguientes parámetros:

$\alpha_c$  = 0.5 db valor medio  $\sigma(\alpha_c)$  = 2.5 desviación típica

valor máximo  $\alpha_c$  = 1 db valor mínimo de  $\alpha_c$  = 0 dB

N = número de empalmes

$\alpha_E$  = atenuación por empalme (se considera un valor promedio)

$M_c$  = margen de seguridad por cable; cubre las pérdidas por envejecimiento y aparición de grietas superficiales que toma valores de:

2 db para  $\alpha \leq 20$  Km     $2+(L-20) 0.1$  para  $L > 20$  km

$\alpha(\lambda)$  = coeficiente de atenuación de la fibra. Se obtienen de características dadas por el fabricante.

$\alpha$  = 0.36 dB/km

valor mínimo de  $\alpha$  = 0.396 dB/km

$s(\alpha)$  = 0.018 dB/Km

valor máximo  $\alpha$  = 0.324 dB/Km

$l_i$  = distancia entre empalmes  $i e^{(i+1)}$ .

L = longitud del cable.

AS = penalización por interferencia intersimbólica (IES).

$P_p$  = pérdidas por partición de nodos (únicamente para fibras monomodo) generalmente se establece  $\Delta S + P_p \leq 1$  dB

Suponiendo que  $\alpha$  tiene un valor cte, la longitud máxima que admite una sección de regeneración sin sobrepasar la ganancia del sistema es:

$$L \leq \frac{P_F - (M_F + 2 \alpha c + N \alpha_F + M_C) S_0 - A_s - P_p}{\alpha}$$

**Criterio de máxima dispersión:** este criterio da la longitud máxima de la sección de regeneración por limitación de ancho de banda para un ancho de banda "B" tenemos:

$$\sigma \text{ (ns)} \leq \frac{0.187}{B \text{ (Ghz)}}$$

Si no se cuenta con el valor de ancho de banda la relación será:

$$\sigma \text{ (ns)} \leq K_0/R \text{ (Mb/s)} \quad \text{Donde } K_0 \text{ está entre 200 y 300 para fibras multimodo y 100 para monomodo}$$

De igual forma que en el caso de atenuación se establece un límite en el caso más desfavorable y tendremos:

$$[\sigma_m^2 + (\sigma_e + \sigma_g)^2]^{1/2} \leq 0.187/B = K_0/R$$

Donde B (en Ghz) es el ancho total del sistema y R la velocidad en Mb/s.

Fibras multimodo: para fibras multimodo  $\sigma_g$  es despreciable por lo que:

$$[\sigma_m^2 + \sigma_e^2]^{1/2} \leq K_0/R$$

$$[(0.187 \cdot L^2/B_0)^2 + (M(\lambda) \cdot D\lambda \cdot L/2 \cdot 35)^2]^{1/2} \leq K_0 R.$$

Siendo  $B_0$ : el ancho de banda modal Ghz/Km,  $M(\lambda)$  coeficiente de disposición del material nb/Km.nm,  $D\lambda$  ancho espectral de la fuente entre puntos al 50% y

L Longitud máxima de la sección a cubrir.

**Fibras multimodo índice escalón:**

La dispersión modal es la contribución dominante y el factor de concatenación g se puede considerar igual a 0.5

$$(0.87 \cdot L^{1/2}/B_0) = K_0/R$$

El parámetro  $0.187/B_0$  es la dispersión modal unitaria  $\sigma_{mo}$  por lo tanto  $\sigma_{mo} \cdot L_{max}^{1/2} = K_0/R$

$$L_{max}^{1/2} = 300 / R \cdot \sigma_{mo} = 0.187 / B_0 \cdot \sigma_{mo} \text{ Km.}$$

Con  $B_0$  en Ghz .Km y  $\sigma_{mo}$  en ns/Km

Fibras multimodo índice gradual: aquí debe considerarse la dispersión del material:

$$(\sigma_{mo} \cdot L)^2 + \frac{[M(\lambda) \cdot D\lambda \cdot L]^2}{2.35} = \frac{[0.87]^2}{B}$$

Si el LED rebaja en primera ventana estamos lejos del punto de dispersión nula del material.

$$\frac{M(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L}{2.35} \approx \frac{0.87}{B} < \frac{300}{R} \quad L_{max} \approx \frac{0.44}{B \cdot M(\lambda) \cdot D\lambda} \text{ ( Km ) } \leq \frac{0.705}{R \cdot M(\lambda) \Delta\lambda}$$

Con B en Ghz, M en ns/km.nm y  $\Delta\lambda$  en nm.

En laser en 2a. ventana tenemos  $L_{max} = (0.187/B)^{1/\gamma} \leq (K_0/R \cdot \sigma_{mo})^{1/\gamma}$   
 en este caso se puede tomar  $\gamma = 0.6 \div 0.8$

Fibras monomodo:  $\sigma_c + \sigma_g \leq 0.187/B$

$$M(\lambda) - G(\lambda) / D\lambda \cdot L_{max} = \frac{0.87}{B}$$

$$L_{\max} = \frac{0.187}{1M(\lambda) - G(\lambda) \cdot \Delta\lambda}$$

Para láser en 2a. ventana se tiene una expresión más exacta, a partir de la fórmula de Sellmaier.

$$L_{\max} = \frac{\sigma_{\max}(\lambda)}{(\theta_0/4) \cdot (\lambda_c - \lambda_0^4/\lambda)}$$

Donde:  $\lambda$  = longitud de onda de trabajo  
 $\lambda_0$  = longitud de onda de dispersión nula  
 $\lambda_c$  = longitud de onda central de láser  
 $\theta_0$  = es la pendiente de  $M(\lambda)$

## 2.10 CONECTORES PARA FIBRA OPTICA

Los conectores son dispositivos mecánicos para unión temporal de fibras ópticas, el término temporal significa que puede desunir y unir las F.O. y se localizan principalmente en los transmisores, receptores y distribuidores de F.O.

Los conectores se usan normalmente unidos a un pigtail, (tramo de fibra óptica protegido con un material flexible), el tramo de F.O. sin conectar es unido por empalme de fusión al cable de F.O. y el conector se coloca en el distribuidor de F.O. normalmente en el sitio donde se ubica el equipo terminal de línea, es común que este pigtail tenga 2 conectores en los extremos y se conoce como jumper y se usa para interconectar la terminal óptica de línea (OLT) al distribuidor de fibra óptica tanto en sitios terminales o repetidores.

Cuando las fibras que se conectan tienen la misma AN apertura numérica, el mismo diámetro en el núcleo y el mismo diámetro en el revestimiento; los conectores pueden ocasionar fallas por defecto en la unión, las fallas más comunes son:

**Falla Radial:** por el desplazamiento paralelo en los ejes de las F.O.



**Falla Axial:** separación entre las superficies de las fibras:



**Falla Angular:** error angular entre los ejes de las fibras

Para minimizar las fallas anteriores, los conectores de F.O. deben cumplir con las siguientes características:

- Pérdidas de inserción mínimas.
- Facilidad de montaje.
- Resistencia a factores atmosféricos.
- Bajo costo.

## 2.10.1 CLASIFICACIÓN DE CONECTORES

Hay 2 clasificaciones principales dependiendo del método de conexión:

1. *Conectores de unión directa a las F.O. (pc o de contacto físico).*
2. *Conectores de conexión por medio de lentes.*

Aquí se tratarán los conectores de unión directa, ya que son los comunmente usados en los sistemas de telecomunicación 2.30 y 2.31.

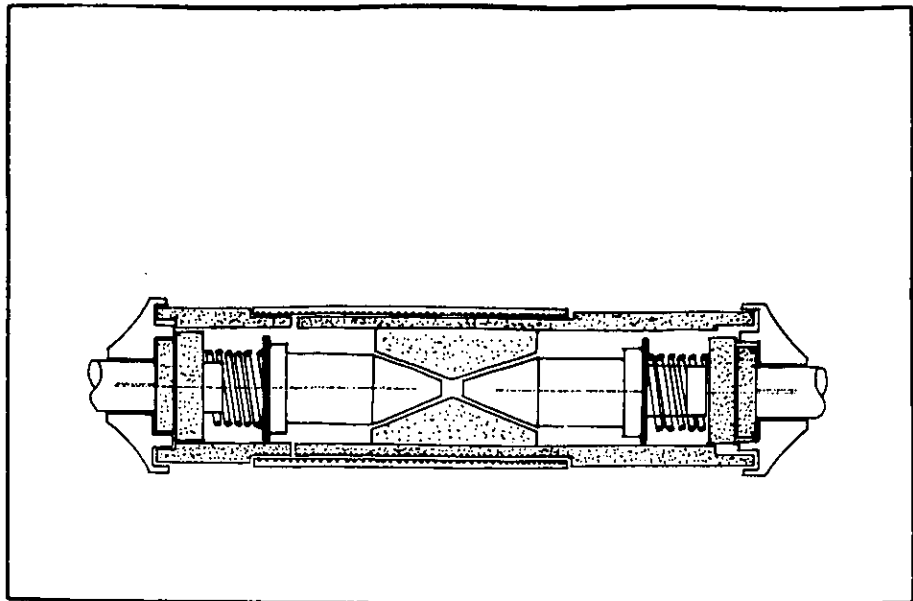
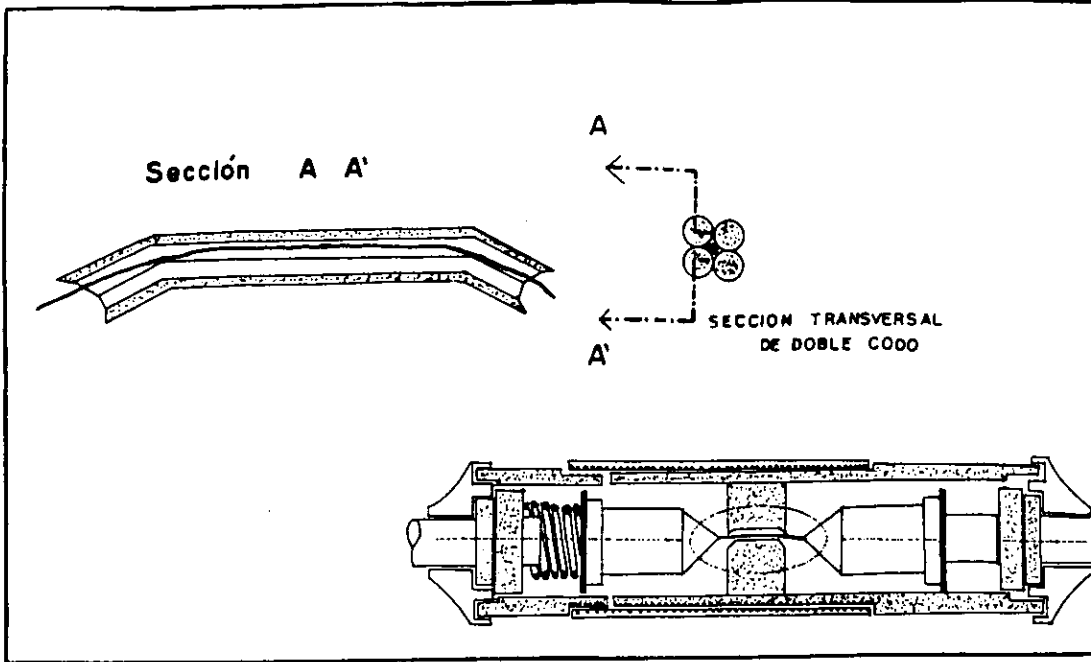
Los conectores más usados son los de unión directa y las variedades más comunes son las siguientes:

1. *Conector de férula casquillo.*
2. *Conector bicónico.*
3. *Conector de excentricidad ajustable.*

En conector de férula o casquillo la F.O. se coloca dentro de una férula protectora de precisión, en el conector las férulas deben alinearse perfectamente, las férulas pueden ser cilíndricas o cónicas y los extremos del conector deben estar pulidos.

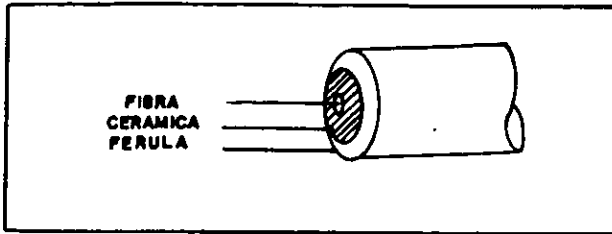
Un dispositivo de acoplamiento llamado “adaptador” logra la alineación de las fibras contenidas dentro de las férulas, a continuación se mencionan algunos conectores representativos.

1. *Conector de férula cilíndrica (FC).*
2. *Conector tipo SMA- Subminiatura A.*
3. *Conector DH.*





**Conector Férula cilíndrica:** La fibra se coloca en una férula que en su interior contiene una capilaridad concéntrica para la alineación y fijación de la F.O. para montar la fibra al conector, ésta debe prepararse con resina epóxica en la cavidad de la férula para una mejor fijación. La fig. 2.32 muestra las partes que contiene una férula cilíndrica.



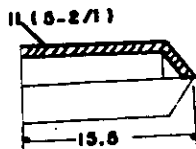
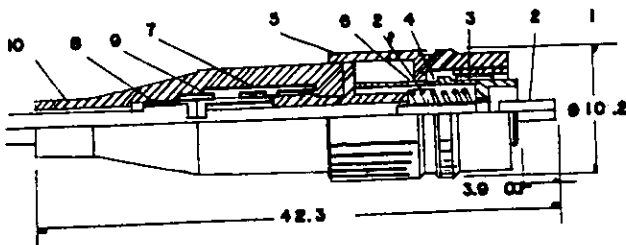
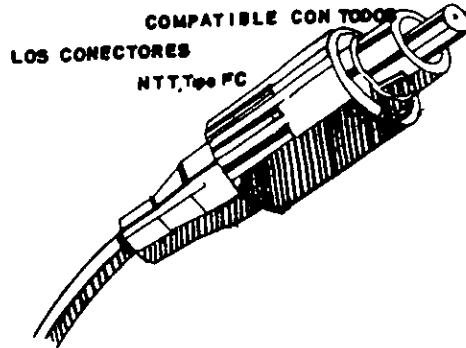
La fig. 2.32 muestra un conector de la férula cilíndrica así como su corte transversal que indica sus componentes.

El conector FC admite 2 formas de pulido.

- a) *pulido plano FC.*
- b) *pulido convexo FCPC.*

Con el pulido FCPC se obtiene un buen contacto físico entre las fibras a conectar lo que da como resultado una pérdida de inserción más baja y mínima reflexión en el conector; el conector FCPC presenta en la punta de la férula, una superficie esférica en lugar de una plana, con un radio aproximado de 6 mm para mejorar el contacto de fibras.

CONECTOR DE FERULA CILINDRICA Y SUS COMPONENTES



- 1 FERULA
- 2 MARCA DE CONEXION
- 3 CUÑA
- 4 PIVOTE
- 5 TUSRCA
- 6 RESORTE
- 7 CUERPO FRONTAL
- 8 CUERPO POSTERIOR
- 9 DIVISION INTERIOR
- 10 CUBIERTA
- 11 TAPA

FIG. 2.23 CONECTOR DE FERULA CILINDRICA

## 2.11 EMPALMES DE F.O.

El empalme de F.O. es la unión entre 2 fibras y pueden ser de 3 tipos:

- 1.- *Empalme mecánico.*
- 2.- *Empalme con pegamentos.*
- 3.- *Empalme por fusión.*

**Empalme mecánico:** Es un tipo de empalme que aprovecha la menor sensibilidad de las pérdidas por separación, en los extremos de las F.O. ; dentro de las técnicas para estos empalmes está la conocida como ranura de muelle (spring groove) donde las 2 secciones de F.O. a empalmar se colocan frente a frente sobre los 2 cilindros que constituyen el elemento de alineación la fig. 2,34 muestra un empalme de este tipo donde puede observarse que el diámetro de los cilindros es tal que el borde superior de la fibra está a mayor altura que los cilindros, lo que permite usar un elemento elástico como cierre de conjunto.

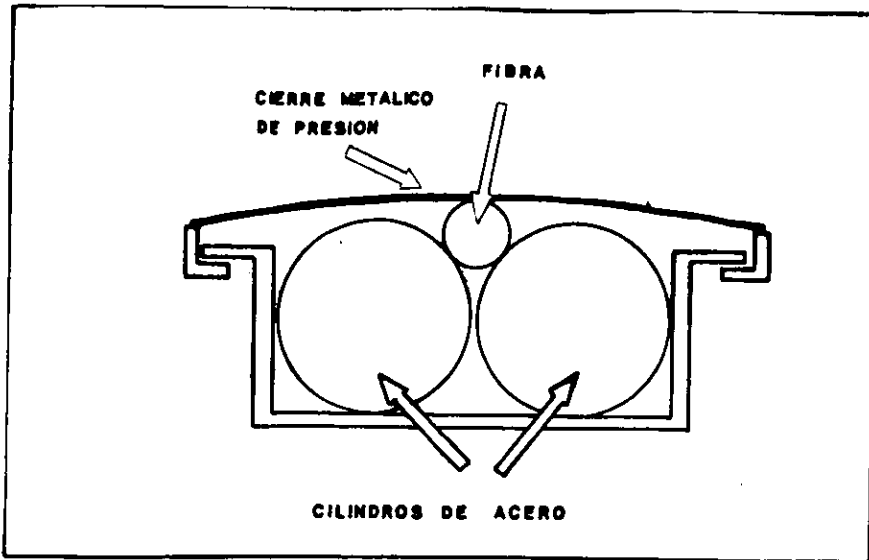


FIG. 2.34 RANURA MUELLE ( SPRINGROOVE )

Empalme por pegamento: Existe el método de la ranura V groove que consiste en un par de placas rectangulares iguales cuyas caras enfrentadas, se presentan 2 ranuras en V cuidadosamente pulidas las dimensiones de la V serán tales que pueden contener cada una de ellas menos de media F.O. con lo que se asegura la presión de la placa superior; el conjunto se cierra con pinzas elásticas de acero después de realizar la alineación de F.O. y el empalme resina epóxica la. fig 2.35 muestra un empalme de este tipo

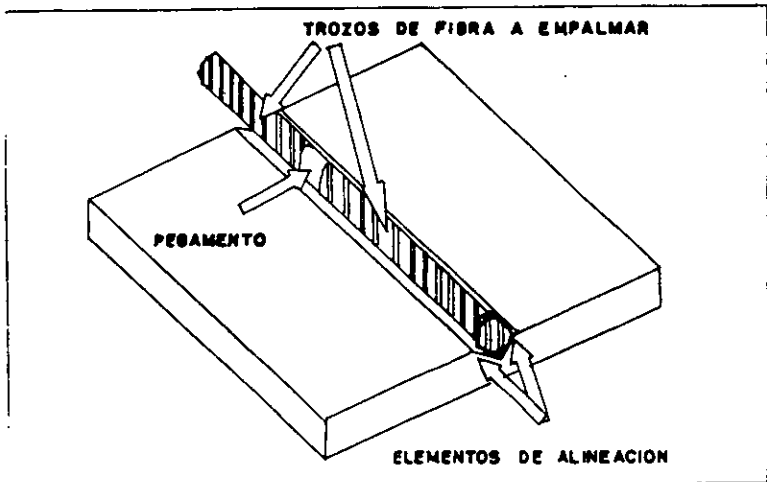


FIG. 2.35 EMPALME POR PEGAMENTO

Empalmes por fusion: Este tipo de empalmes es el más usado actualmente en nuestro país además que la experiencia ha demostrado que son los más confiables y los que inducen las menores pérdidas para su realización se usan empalmadores con sofisticada tecnología incluyendo en el mismo lecturas de atenuación empalme, microscopio para checar alineamiento etc.

La fusión de la fibra se hace mediante un arco eléctrico, después de la fusión de las fibras se procede a la protección y cierre del empalme mediante un tubo que sustituye al revestimiento eliminado en el proceso de preparación del empalme (que es el corte adecuado de la fibra, pelado y posicionado en el

empalmado); el conjunto de fibras empalmados y protegidos individualmente se protegen en cajas de empalme metálicas) de forma cilíndrica o rectangular.

Normalmente las pérdidas en estos empalmes pueden ser del orden de 0.05 y 0.1 db atenuación, aunque por seguridad se adoptan valores de 0.2 db los cálculos de enlace.

Como conclusión podemos decir que para redes de transporte de alta capacidad, la fibra óptica es ideal como medio de transmisión, ya que cuenta con grandes ventajas como son: un gran ancho de banda, lo que permite una gran capacidad de transmisión, la atenuación es independiente del ancho de banda del mensaje debido a las altas frecuencias de transmisión, se encuentra libre de interferencia electromagnéticas, e inclusive pueda instalarse junto a líneas de alta tensión; las pérdidas son pequeñas, lo que permite grandes distancias entre repetidores. Estas características permiten una alta confiabilidad en la transmisión de elevados caudales de información.

**CAPITULO3: TEORIA DE LA JERARQUIA DIGITAL SÌNCRONA  
(SDH SINCRHRONOUS DIGITAL HIERARCHY)**

Dentro de las comunicaciones digitales, existen dos tipos, conocidos como: transmisión sincrona y transmisión asincrona; ambos tipos de transmisión digital requieren de una señal de reloj para su operación normal, pero para los sistemas asincronos, el reloj es usado unicamente para la operación independiente y particular de cada dispositivo, sin embargo los sistemas de transmisión sincronos, son aquellos sistemas de transmisión que son sincronizados mediante una señal de reloj para mantener su estabilidad, es decir entre el transmisor y el receptor, debe existir un sistema de temporización donde la sincronización puede ser una muestra de reloj recuperada de la señal entrante o bien una señal de reloj de una fuente externa, por ejemplo un reloj atómico.

A continuación mencionamos los 2 niveles plesiocronos básicos:

- \* 1.5 Mb /s para jerarquía de USA.
- \* 2 Mb/s para jerarquía europea.

Estos dos niveles corresponden a niveles de acceso de equipos de conmutación para redes telefónicas o niveles de conexión para redes malladas o bien con funciones de reenrutamiento o restauración.

Actualmente existen dentro de las comunicaciones digitales dos técnicas de transmisión:

- \* PDH (*plesyochronous Digital Hierarchy*).
- \* SDH (*Synchronous digital Hierarchy*).

La transmisión PDH solo se estandarizó a una pequeña escala, por lo que no se logró la interconexión total de redes de comunicación en todo el mundo. La SDH tiende a cambiar esta situación, ya que no es solo otra jerarquía sino un estándar a nivel mundial, y que permite facilidades de interconexión de redes nacionales, compatibilidad con equipos de transmisión de distintos fabricantes que permite la transmisión de señal PDH, permite facilidades de gestión y restauración automática de la red.

### 3.1 TRANSMISION PDH

Como se vió en el 1° capítulo El Multiplexaje de 30 canales PCM nos da el 1er. orden Jerárquico dentro de la transmisión PDH, que es de 2Mb/s para obtener el 2° orden ( 8 Mb/s ), 3°orden ( 34 Mb/s ), 4° orden 140 Mb/s se realiza por el multiplexaje de bit a bit de señales de 2Mb en combinación en el procedimiento de jerarquización; la trama contiene bits adicionales referentes a alineación de trama, supervisión en información de justificación, a continuación se describe el funcionamiento de un sistema de 140 Mb, donde el sistema provee un multiplexaje en tiempo (TDM) a 4 señales de 34.368 para formar una señal multiplexada de 139.264 Mb, la fig 3.1 muestra los niveles jerárquicos PDH.

Antes de que la señal multiplexada sea enviada hacia la línea, deberá ser sincronizada y el método aceptado para tal efecto, es la justificación positiva que a continuación se explica:

Las cuatro señales individuales que forman la trama de 139.264 Mb son plesiócronas, lo que significa que para las cuatro señales, los instantes significativos, ocurre nominalmente a la misma velocidad  $f_0$ , pero la velocidad real  $f$  puede variar para cada una:

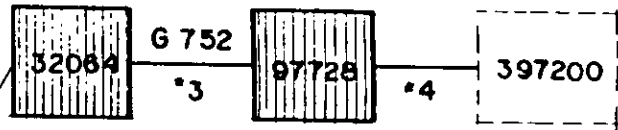
$$F(f_0 - \Delta f, f_0 + \Delta f)$$

La señal resultante de la velocidad nominal  $f$  tendrá su velocidad real de  $b/s$  entre  $(f_0 - \Delta f)$  y  $(f_0 + \Delta f)$  y esta señal comprende "P" bits de justificación (señal de alineamiento de trama spare bits y bits de control de justificación) y "Q" bits de información con o sin justificación; para la sincronización de la señal, la velocidad de cada una de las componentes de 34Mb. son elevadas para ser acoplada con las otras 3, la diferencia de velocidades se compensan con la inclusión de bits adicionales (bits de justificación) y a este proceso se le llama multicanalización por justificación positiva; el reloj de sincronización para cada señal deberá ser

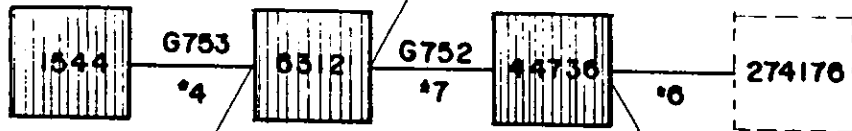
$$\frac{F}{4(I + P/Q)} \quad \text{para la condición} \quad \frac{f - \Delta f}{4(I + P/Q)} > f + \Delta f$$



JAPON



U.S.A



EUROPA



G752 \*5

G757 \*3

G 755



FIG. 3.1 JERARQUIE PDH

No deberá haber más de una justificación por trama; por lo tanto la máxima justificación será  $F/P + Q$  y la justificación nominal es:

$$\frac{F}{4(1 + P/Q)} - f_0$$

La relación de justificación es la relación entre la justificación nominal y la máxima justificación y está entre 0.3938 y 0.444; por razones prácticas la relación adoptada es 5/12 (0.4167) esto significa que habrá 5 tramas justificadas de cada 12. La Velocidad común para cada señal componente es:

$$\frac{139.264}{4(1 + 36/2892)} = 34.387 \text{ kb/s}$$

## SDH

Debido a las necesidades de interconexión a las velocidades entre operadores; en 1984 la American Standardization Agency de USA, fue asignada para definir interfaces de líneas óptica que hicieron posible dicha interconexión y en 1989 Bellcore introdujo el concepto SONET (Synchronous optical Network ) que define una nueva jerarquía de transmisión que permite acceso directo a las tributarias de cualquier orden en un multiplex.

El concepto SONET. se basa en la situación específica de Estados Unidos y para su desarrollo, solo toma en consideración la jerarquía digital norte americana por lo que el 1º nivel es de 51.840 Mb/s tanto para la señal eléctrica STS-1 (synchronous transport signal level 1 ), como para la señal óptica OC-1 (Optical Carrier level 1;). El concepto SDH se derivó de SONET, pero en contraste con SONET, SDH está basado en la velocidad binaria de 155.520 Mb/s ; en este concepto la señal de información se designa como STM-N Synchronous Transport Module Nivel N donde N es el nivel Jerárquico ocupado en la estructura SDH.

Las señales y niveles jerárquicos para SDH y SONET pueden observarse en la Tab 3.1.

**TABLA:3.1 NIVELES JERÁRQUICOS Y VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN SONET Y SDH**

SONET			SDH	
NIVEL	DESIGNACION DE SEÑAL	BIT-RATE	NIVEL	DESIGNACION DE SEÑAL
STS-1	OC-1	51.840		
STS-3	OC-9	155.20	1	STM-1
SONET			SDH	
NIVEL	DESIGNACION DE SEÑAL	BIT-RATE	NIVEL	DESIGNACION DE SEÑAL
STS-1	OC-1	51.840		
STS-3	OC-9	155.20	1	STM-1
STS-9	OC-9	466.560		
STS-12	OC-12	622.08	4	STM-4
STS-18	OC-18	933.120		
STS-24	OC-24	1244.160		
STS-36	OC-36	1866.240		
STS-48	OC-48	2488.320	16	STM-16

### 3.2 PRINCIPIOS SDH

**Contenedor (Cn)** Donde "n" es el índice del contenedor Una señal transmitida dentro de una red síncrona, es encapsulada en un contenedor disponible para la velocidad de la señal y para la estructura de la trama síncrona

la capacidad del contenedor esta definida para asegurar la transmisión de las diferentes velocidades definidas por la jerarquía pliesiòcrona (para seales pliesiòcronas).

Las tributarias pliesiòcronas, son estructuradas en bytes de 8 bits y la operación de organizar la información dentro del contenedor es definida por la recomendación G 709 del UIT. A continuación se muestran los contenedores con su índice y su velocidad. asociada.

### CONTENEDOR VIRTUAL VC n

Un phat overhead (POH) asociado al contenedor, forma un contenedor virtual que es la entidad manejada por las redes SDH.

C11	1544 Kb/s
C12	2048 Kb/s
C2	6312 Kb/s
C3	44736 Kb/s Usa 34366 Kb/s Europa
C4	139264 Kb/s

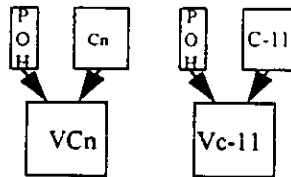


FIGURA 3.3 CONTENEDOR VIRTUAL

El "VC" de bajo orden se forman de un contenedor y del POH asociado a el; los "VC" de alto orden pueden contener "VC" de bajo orden.

Se consideran contenedores virtuales VC de bajo orden: VC<sub>11</sub>, VC<sub>12</sub>, VC<sub>2</sub>, VC<sub>3</sub>.  
Se consideran contenedores virtuales VC de alto orden VC<sub>3</sub> y VC<sub>4</sub>.

### TRIBUTARY UNIT : (TU)

La unidad tributaria se hace de un contenedor virtual de bajo orden y un apuntador, (PTR Pointer) el apuntador indica la localización del VC n, dentro de la trama.

## TRIBUTARY UNIT GROUP (TUG)

La TUG está hecha de un grupo homogéneo de TU (TU1, TU2, TU3) las cuales son multiplexadas entre ellas de la sig. forma. La TUG 2 puede estar -- compuesta de 4 x TU 11, 3 x TU 12, o 1 x TU 2; la TUG 3 puede componerse de 7 x TUG 2 (las cuales pueden estar compuestas como se indica arriba) o bien por 1 x TU 3

## ADMINISTRATIVE UNIT : AU n

La AU n se compone de contenedor virtual de alto orden y de un apuntador de unidad administrativa (Administrative Unit Pointer), donde el valor de cada apuntador indica la localización de inicio del contenedor virtual, dentro de la trama de transmisión usada.

La AU-4 se forma de un VC-4 y del apuntador asociado

La AU-3 se forma de un VC-3 y del apuntador asociado

## ADMINISTRATIVE UNIT GROUP (AUG)

La AUG no es una entidad física nueva, es solo una estructura virtual de la trama; la AUG corresponde al espacio a ser ocupado por la AU-4 dentro de la transmisión de la trama o bien el espacio de 3 AU de 3 ° orden multiplexadas entre ellas.

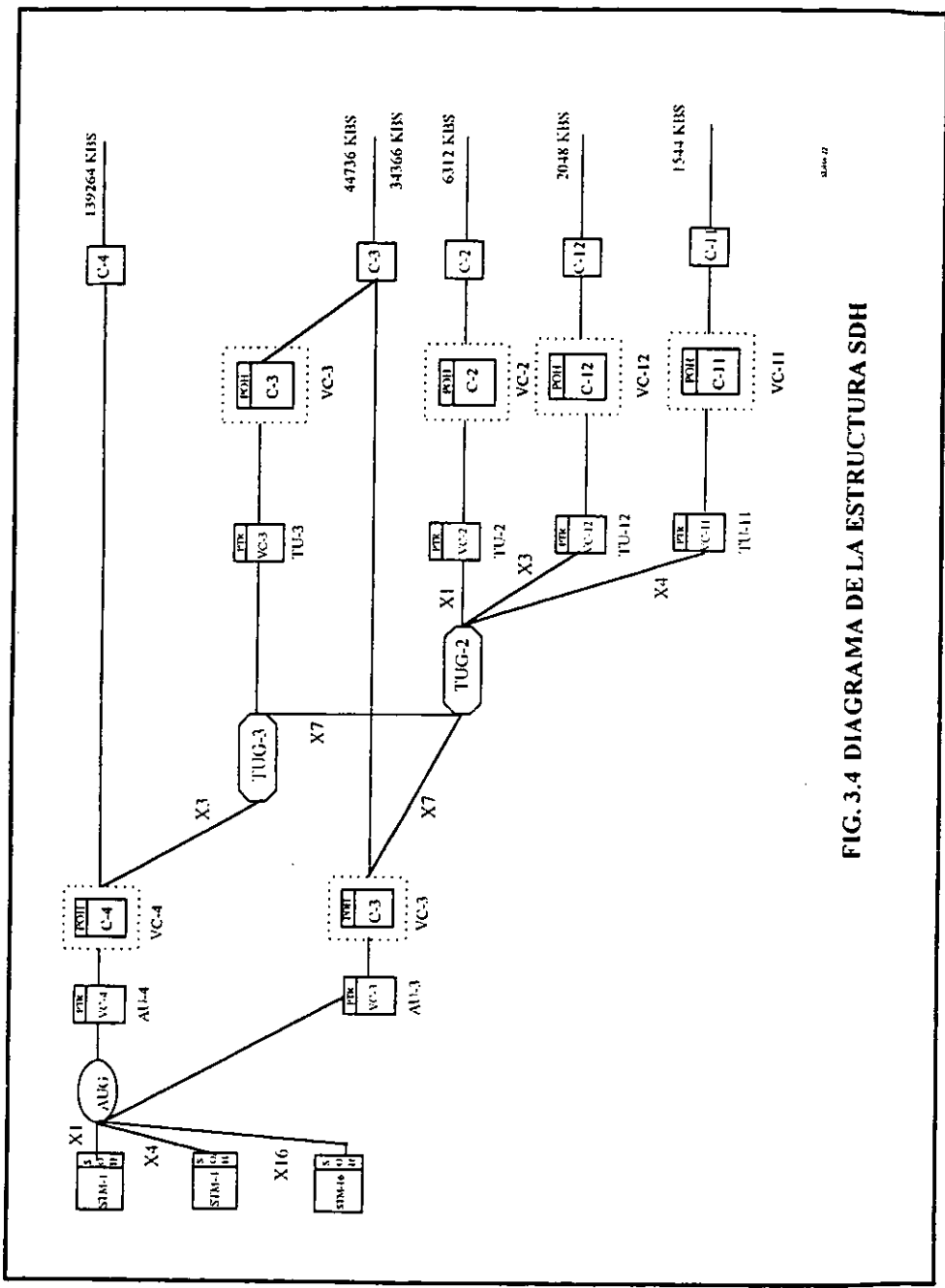
### 3.2.1 STM-N TRANSMISION DE TRAMAS

La transmisión de tramas STM-N (Synchronous Transport Module), se obtiene :

- Multiplexando n AUG.
- Agregando un overhead, llamado Section Overhead (SOH).

A continuación se definen los niveles jerárquicos de la tecnología SDH:

- El nivel de 155.520 Mb/s STM-1 es el correspondiente a la trama básica, que contiene 1 AUG y su SOH.
- El nivel de 622.080 Mb/s STM-4 que contiene 4 AUG y su SOH.



Sheet 77

FIG. 3.4 DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA SDH

- El nivel de 2488.320 Mb/s STM-16 que contiene 16 AUG y su SOH.

En la figura 3.4, se muestra un diagrama a bloques de la trama SDH incluyen señales PDH de 2, 8 34 y 140 Mb/s .

### ESTRUCTURA BASICA DE LA TRAMA (STRUCTURE OF BASIC FRAME)

La trama básica adoptada por UIT es la llamada STM-1y está estructurada en bytes de 8 bits con las sig. características

- Longitud de la trama : 2430 bytes.
- Duración de trama : 125 ms.
- Velocidad de la trama: 155.520 Mb s.
- Pay load: (Carga Útil) 2340 bytes.

La trama STM-1 está organizada en 9 renglones de 270 bytes, leyendo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, dividida en las tres zonas que se indican a continuación:

- 1.- La sección overhead (SOH) que se divide en: Regeneration Section overhead (RSOH) y Multiplex Section Overhead (MSOH).
- 2.- Apuntadores de unidades administrativas.
- 3.- Pay Load (carga Util) .

La fig. 3.5 muestra una trama STM-1 SDH indicando cómo se encuentran organizadas las secciones mencionadas y la fig. 3.6 muestra los bytes de las secciones MSOH y RSOH.

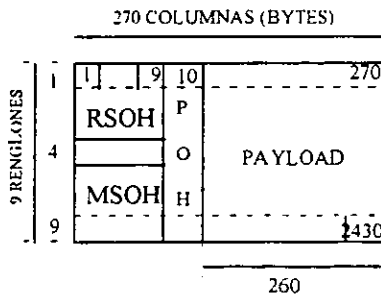


FIG. 3.5 TRAMA STM-1 SDH

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A1	A1	A1	A2	A2	A2	C	Nu	Nu
2	B1	X	X	E1	X	X	F1	Nu	Nu
3	D1	X	X	D2	X	X	D3	X	X
4	AU 4 POINTERS								
5	B2	X	X	K1	X	X	K2	X	X
6	D4	X	X	D5	X	X	D6	X	X
7	D7	X	X	D8	X	X	D9	X	X
8	D10	X	X	D11	X	X	D12	X	X
9	Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2	Nu	Nu

**RSOH**

K1 K2 SON BYTES (1+1) O COM. APS  
 LOS BYTES K2 INCLUYEN AIS Y FERF (FAR END RECEIVE FAILURE)  
 Y COMANDOS DE ALARMAS REMOTAS

**MSOH**

X NO USADO  
 Nu RESERVADO

FIG. 3.6 SECCIÓN OVERHEAD DE STM -1

### SIGNIFICADO DE LOS BYTES RSOH

A1A2: La configuración A1 A1 A1 A2 A2 A2 constituye la palabra de alineamiento de trama , donde :

$$A1=11110110$$

$$A2=00101000$$

C1: Identificador AUG, es un número localizado en la AUG antes de multiplexarse a nivel STM-1.

B1: Byte reservado para monitoreo de errores , en los bits de la sección elemental regenerada (entre 2 regeneradores), usando un código de paridad 8 con "interleaving" (intercalado ) de bits (BIP 8) y con paridad impar .

El bip 8 es trabajado después del jamming de trama previa y se inserta en la trama antes del jamming.

E1 y F1: Estos bytes provienen un canal de servicio y un canal de usuario.

D1 a D3: Son 3 bytes para comunicación de datos de la sección de regeneración (DCC= Data Communication Chanel ) a 192 Kb/s.

### SIGNIFICADO DE LOS BYTES DE LA SECCIÓN MSOH

B2: 3 bytes para monitorear errores en los bits de la sección, usando un código de paridad 24 con intercalado (interleaving) de bits (BIP 24), con



paridad impar, calcula todos los bytes de la estructura excepto para los del RSOH.

K1 K2: Son 2 bytes usados para protección automática (Automatic Protection Switching APS) ya sea (1+1) o (1:1), los 3 bits de K2 incluyen AIS y FERF (Far end Receive Failure), comandos y alarmas remotas.

D4 a D12: 9 bytes que forman un canal de comunicación de datos (DCC) con 576 Kb/s para la sección de multiplex.

Z1 Z<sub>R</sub> : Bytes reservados.

E2 : 64 Kb/s canal de servicio entre multiplexores.

POH: el POH es la columna No. 10 de la trama y es un encabezado que tiene la función de la identificar, evaluar y dirigir la carga útil de un contenedor, posteriormente en este capítulo se abordara con mayor profundidad este concepto.

#### AU4 Y OPERACIÓN DEL APUNTADOR

La AU-4 está compuesta por contenedor virtual VC-4 y el apuntador asociado dentro de la trama básica como se aprecia en la fig 3.7

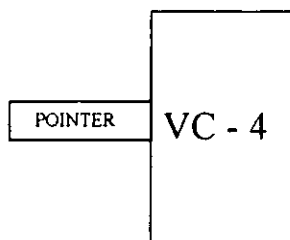


FIG. 3.7 UNIDAD ADMINISTRATIVA 4 (AU -4)

El apuntador indica la dirección inicial del contenedor virtual VC-4, (por ejemplo el byte J1) con dirección "0" definida para VC-4 en el cual J1 se encuentra localizado después del 9° byte de la línea del apuntador (10° byte)

como se muestra en la fig. 3.8, en la representación de una trama STM-1 mas empleada , el apuntador tiene un valor de 522 y no de 0.

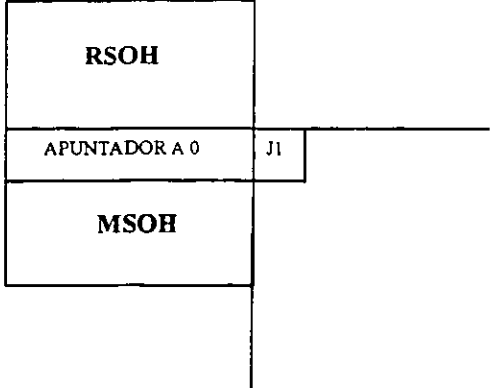


FIG. 3.8 TRAMA CON EL APUNTADOR EN 0

En la representación de una estructura STM-1, el apuntador se emplea con un valor de 522 y no con un valor de 0.

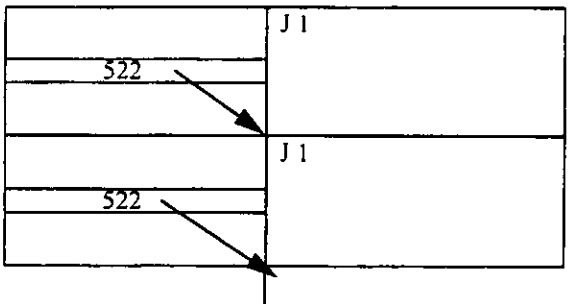


FIG. 3.9 APUNTADOR CON UN VALOR DE 522 Y NO DE 0

### 3.3 JUSTIFICACION

La justificación es una operación que hace posible ajustar una señal de velocidad variable (variable Rate Signal), en una trama de velocidad fija.

Los niveles de jerarquía , tanto para las señales sincronicas como plesiocronicas , se definen con una velocidad nominal  $X$  b/s y esta velocidad puede variar dentro de un rango de  $\pm Dx$  b/s.

Por ejemplo la señal plesiocrona de 4° orden es :

$$139.264 \text{ Mb/s} \pm 15 \text{ ppm}$$

$$139.264 \text{ Mb/s} \pm 2.083 \text{ Kb/s}$$

$X$                        $Dx$  b/s

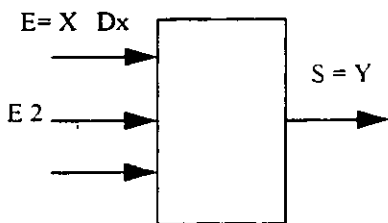
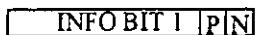


FIG 3.10 VARIACION DE VELOCIDAD DE SEÑAL

Para garantizar la transmisión de "E1" dentro de la trama "S", será necesario localizar la velocidad mas alta posible para "E1"  $S1 = X + Dx$



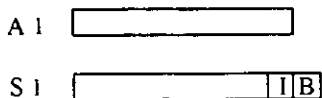
VEL. DE  $X$  bit/s

preparación de S1

Donde :

- P= justificación positiva opportunity bit.
- N= justificación negativa opportunity bit.

### JUSTIFICACION NULA (NULL JUSTIFICATION)



Para la justificación nula, es necesario que las tramas A1 y S1 sean sincronas y requieren la misma frecuencia de reloj.

### JUSTIFICACION POSITIVA

A 1 

$VEL. < Xb/s$
---------------

S 1 

	B B
--	-----

P: es algunas veces relleno (stuffing) y algunas información; compensa la diferencia de velocidades dentro de X b/s

N: siempre es relleno (stuffing)

### JUSTIFICACION NEGATIVA

A 1 

$VEL. > Xb/s$
---------------

S 1 

	B B
--	-----

P: siempre es información.

N: algunas veces es información y algunas otras relleno; compensa las de diferencia velocidades de X b/s.

### 3.3.1 DEJUSTIFICACION EN LA RECEPCION

El receptor debe detectar si los bits P y N contiene bits de información o no. Por eso es necesario reservar en la estructura, una localidad para indicar el significado de los bits P y N, siendo esta una regla de dejustificación del indicador de bits

El componente S1 de la trama S se organiza como se muestra en la fig. 3.11

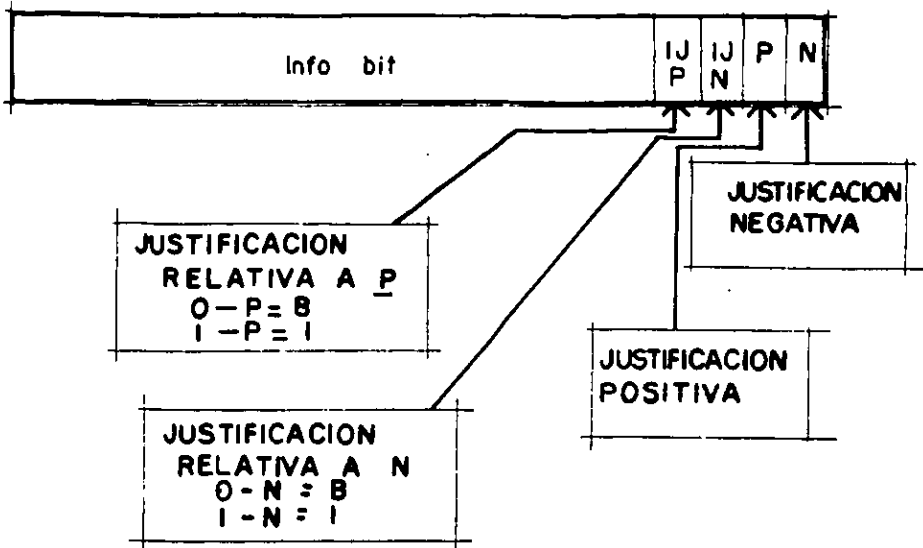


Figura 3.11 Dejustificación

### 3.4 FUNCION DEL APUNTADOR

El apuntador permite manejar asincronismos en el uso de diferentes relojes, enrutando o recuperando VCs dentro de una red SDH.

El número de acciones del un apuntador, está en términos de la diferencia de velocidades entre el VC-4 de un STM-1 incidente y el VC-4 del STM-1 retransmitido.

La velocidad útil de un VC-4 retransmitido es coherente con la velocidad del VC-4 recibido

El apuntador, asociado con un proceso de justificación (positivo, null o negativo), hace posible manejar asincronismos, mientras se mantenga la integridad de la secuencia de la señal.

El reloj de la trama STM-1 puede ser independiente del VC-4 llevado, el valor del apuntador se incrementa o decrementa según se necesite

1.- La velocidad del VC-4 es mayor que la velocidad de la carga útil (pay load) del STM-1; en este caso para ajustar la velocidad, se necesitan bytes adicionales en diferentes tiempos, para incrementar la velocidad del VC-4, es --

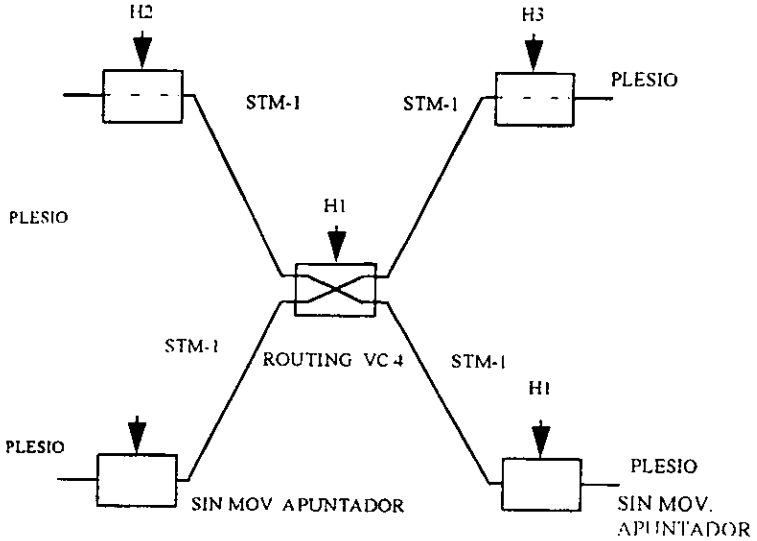


FIG. 3.12 MOVIMIENTOS DE APUNTADOR

tos bytes adicionales son comúnmente hechos de bits de relleno (filler bit), la operación que usa esos bytes para la transmisión de información se llama "justificación negativa"

2.- La velocidad de VC-4 es menor que la carga útil (Pay load) del ST-M1. Aquí los bytes de relleno (stuffing bytes) se usan para ajustar velocidades y son normalmente usados para llevar bits del VC-4, esta operación se conoce como justificación positiva.

Las justificaciones negativa o positiva, son acompañadas por un incremento o decremento del apuntador. La fig. 3.13 muestra el uso del apuntador y la justificación.

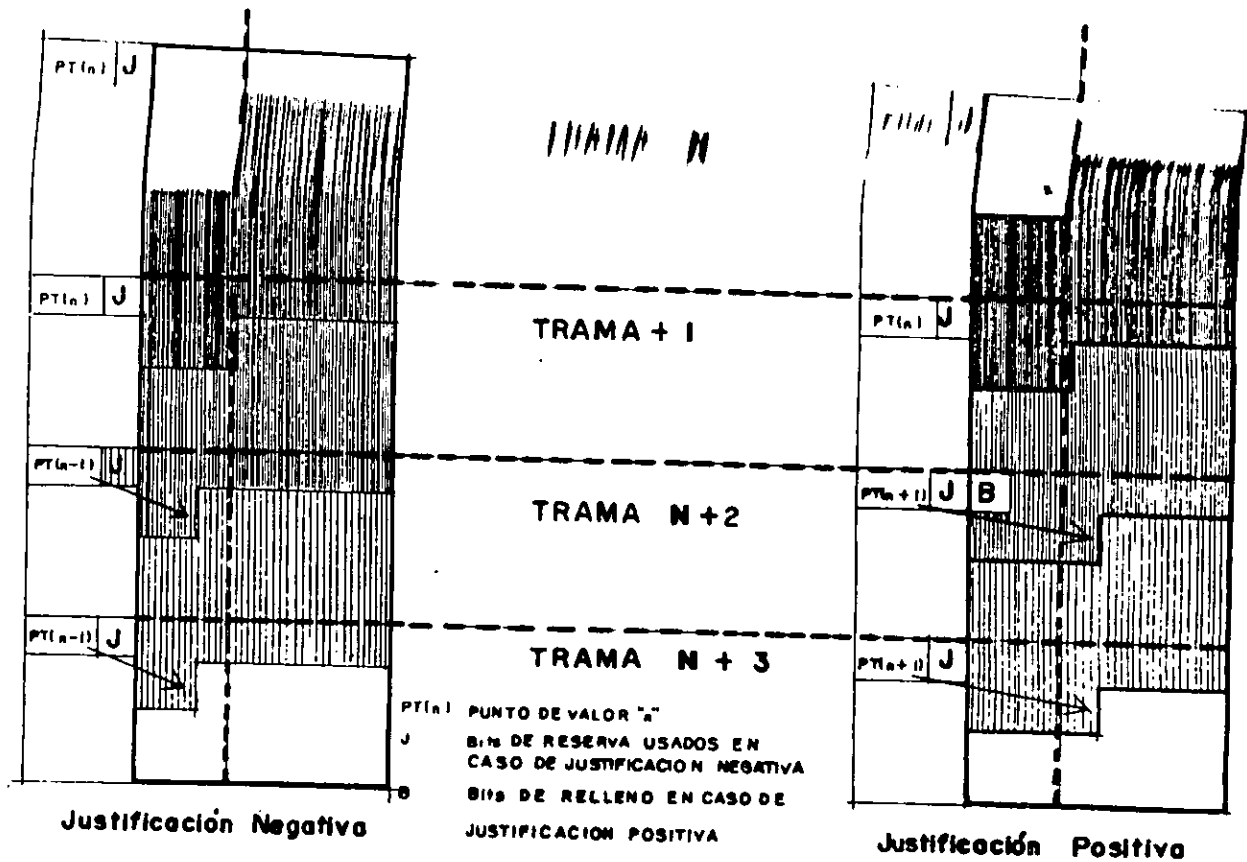
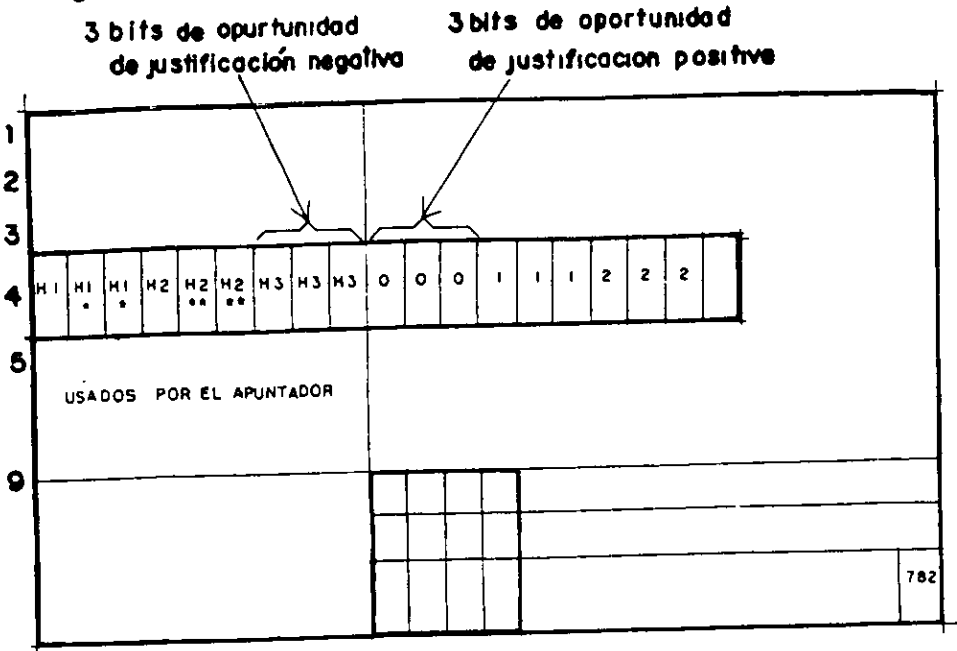


FIG. 3.13 USO DEL APUNTADOR Y LA JUSTIFICACION

La figura 3.14 muestra el apuntador de AU-4.

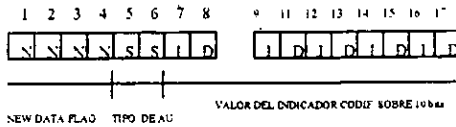


H1\*: 1001SS11 (S no especificado)

H2 \*\* Solamente 1 byte

FIG. 3.14 APUNTOR DEL AU4

Codificación del apuntador : el apuntador de la AU-4 usa el primer byte H1 y el primer byte H2



EL APUNTOR DE AU 4 USANDO H1 Y H2

NEW DATA FLAG (NDF): la fig. anterior muestra la trama de la NDF donde se observa que los bits 1 o 4 (bits N) constituyen un indicador de nuevos datos, permite la modificación arbitraria del valor del apuntador y tal modificación se debe al cambio de carga útil (pay load), en operación normal, el valor de la NDF es 0110.



Cuando hay un cambio el alineamiento, se indica con una inversión y el valor del NDF cambia a 1001 y los 10 bits del apuntador (ID, ID ...) toman sus nuevos valores .

Valor del Indicador (ID, ID, ...) del apuntador (PTR). Es el No. del primer byte de un grupo de 3 bytes que designa el inicio del VC-4 y se codifica en binario

Ejem: Si el apuntador (PTR) está en "0" (0000000000) el VC-4 inicia inmediatamente después del último byte H3.

Si el PTR está en 87 (000101111) el VC-4 inicia en la sig. línea de la carga útil (Pay load).

### PROCESO DE JUSTIFICACION DENTRO DE UNA TRAMA N

- Los bits D (decrementación) son invertidos en relación al valor previo si la justificación es negativa (uso de los bytes H3 como byte de información).

- Los bits I (incrementación) son invertidos en relación al valor previo si la justificación es positiva (los bytes se usan como stuffing).

Este proceso se usa para poder incrementar o decrementar el apuntador y lograr una mejor detección. La detección de una señal AIS ocurre cuando los bits del apuntador tienen valor de 1.

En el apuntador solo se usan 10 bits para indicar la dirección del primer byte VC-4, lo que equivale a tener un máximo de 0 a 1024 direcciones dentro de un VC-4; sin embargo hay  $261 \times 9 = 2349$  bytes posibles ( 261 columnas de la trama incluyendo la sección POH, ya que 9 son usadas para el RSOH y el MSOH y los 9 renglones de la trama ).

Para superar este problema, la justificación incluirá un salto de 3 bytes.

$$2349 / 3 = 783$$

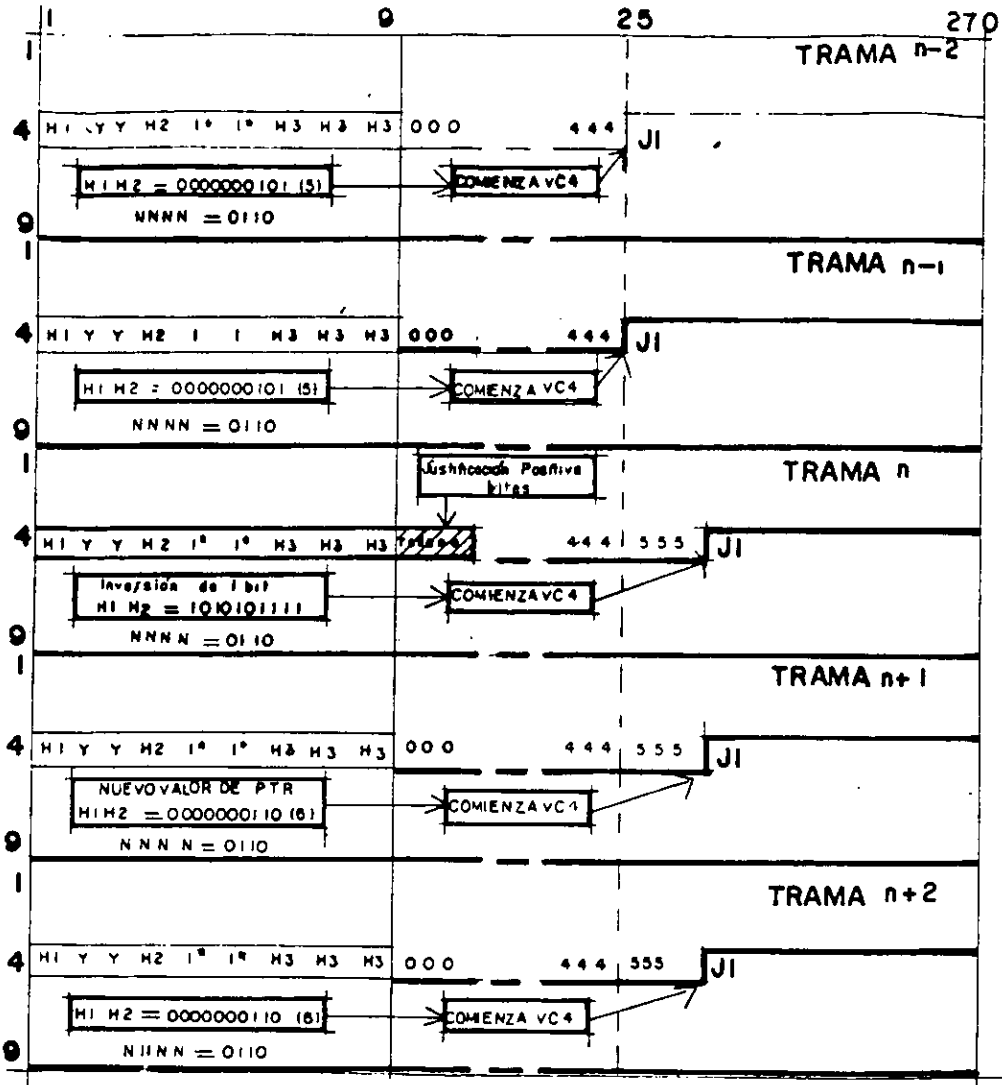


FIG. 3.15 JUSTIFICACION POSITIVA

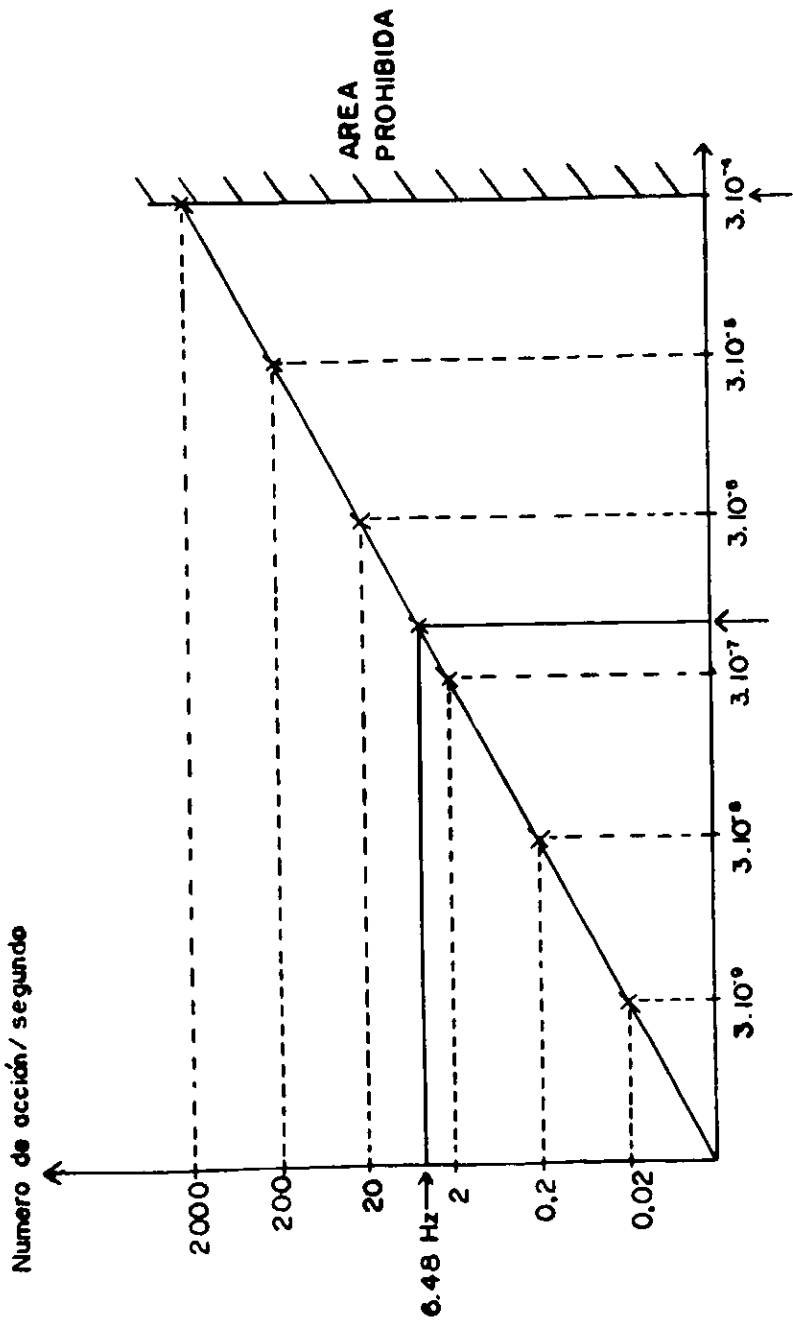


FIG. 3.16 MOVIMIENTOS DE APUNTADOR

Esta es la razón para que solo existan 783 valores diferentes del apuntador, numerados de del 0al 782, designando el primer byte de un grupo de 3 (en la trama).

La fig. 3.15 muestra un caso de justificación positiva y la fig. 3.16 los movimientos del apuntador.

### 3.5 PREPARACION DEL VC4

El VC-4 esta hecho de un contenedor C-4 y su POH asociado (Phat overhead ), el POH esta situado en la 10ª columna de la trama STM-1 y consta de 9 bytes.

La sig. fig. muestra el phat overhead. donde:

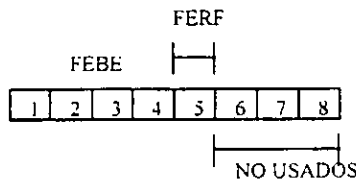
- J1 : VC-4 Path trace .- Habilita al receptor para verificar la la trayectoria en el transmisor
- B3 BIP 8 de VC-4 .- se usa para medir la calidad de la trayectoria y tiene la función de monitoreo de errores en la trayectoria por chequeo de paridad de los bits de VC-4 , este es el resultado de un cálculo de orden 8 , de paridad (order 8 parity), llamado BIP 8 (Bip Interleave parity), el B3 se calcula en todos los bits del VC-4 antes del scrambling y se ponen en el byte B3 antes del scrambling

J1
B3
C2
G1
F2
H4
Z3
Z4
Z5

-C2 Indica la construcción de V-C4 por ejemplo si tiene el valor 00 el VC no esta equipado, cuando este valor es diferente de 00 la trayectoria está equipada.

“00”: no equipado, 01: equipado no especificado, 02: TUG structure, 03: *Tu*locked, 04: puesto en correlación asíncrona con 34,368Kb/s y 44,736Kb/s en un contenedor C3. 05: puesto en correlación asíncrona de señales 139,264Kb/s en un contenedor asíncrono, 13: ATM, 14: MAN (DQDB), 15: FDDI.

**-G1:** estado de una trayectoria perteneciente a otra dirección se usa para transmitir instrucciones de funcionamiento (performance) e informa al equipo remoto de errores detectados en la trayectoria (FEBE) también lleva una alarma remota (FERF).



BYTE G1

**FEBE:** (Far End Block Error); indica el número de errores detectados por B3; tiene nueve valores para codificar de 0 (0000) a 8 (1000) los otros valores posibles se consideran como un error.

**FERF:** (Far End Remote Failure), "1" indica una falla en la terminal distante las condiciones de falla son las siguientes : detección de AIS en la trayectoria, inconsistencia del byte J1 error de retransmisión en el VC4 recibido.

**-F2:** Canal de servicio asignado para comunicación.

**-H4:** Puede usarse para asignar una aplicación específica de la carga útil del VC4, por ejemplo puede usarse como un indicador de multitrama, donde el VC4 está formado de señales de baja velocidad (1.5Mb/s y 2 Mb/s) indica la posición de V1 y V2 esta aplicación no se usa con señales de 140 Mb/s.

**Z3,Z4:** Spare chanel.( no usados en el presente).

**Z5:** Monitoreo del plan de conmutación.

### 3.6 MULTIPLEX DE 2 NIVELES.

Hay niveles de multiplexaje en SDH.

-Multiplex de señales de baja velocidad de origen plesiócrono dentro de la estructura básica de STM-1.

-Multiplex de tramas básicas SDH. Multiplex de estructuras STM-1 155.20Mb/s para construir una trama de alta velocidad.

STM-4 en 622.080 Mb/s.

STM-16 en 2488.32 Mb/s

### 3.6 MULTIPLEXAJE DE BAJO NIVEL.

Consiste en incertar señales plesiócronas en la trama síncrona, esta operación requiere de varias etapas y difiere de acuerdo a la velocidad de flujo de la señal incertada, para poder incertar la velocidad de las señales plesiocronas a la señal asignada a ellas dentro de los "VCs" es necesario usar el principio de justificación .

#### Inserción de una tributaria de 140 Mb/s en un STM-1

ADAPTACION FÍSICA

G 703 A 140 Mb

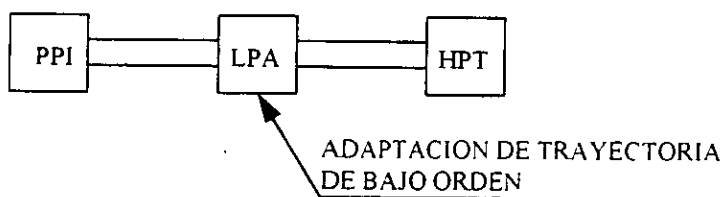
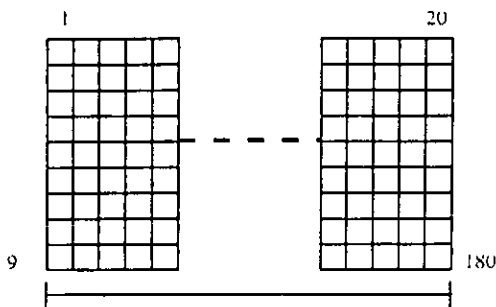


FIG. 3.17 INSERCIÓN RECUPERACIÓN DEL VC-4 PDH

1.- Generación del C-4 después de recuperar el reloj y regenerar la tributaria de 140 Mb/s, los datos se ponen en el contenedor, que contiene 180 blocks de

13 bytes cada block , los 180 bloques se dividen en 9 líneas de 20 bloques de 125 Ms con Fr. de  $f = 8000$  Hz. fig. 3.18



20 BLOQUES DE 13 BYTES EN 9 LINEAS

FIG. 3.18 GENERACIÓN DE C-4

C-4 Velocidad del contenedor.

20 bloques x 9 líneas = 180 bloques.

180 bloques x 13 bytes = 2340 bytes.

2340 bytes x 8 bytes = 18720 bytes

si hay 8000 muestras /s.

18720 bytes x 8000 = 149 .760 Mb/s.

Esta velocidad es mayor que la de 139.264 Mb/s pero es debido a que no todos los bits se usan para transportar información ; cada una de las 9 líneas se divide en 20 bloques y cada bloque contiene 13 bytes.

W = IIIIIII

X = CRRRRR00

Y = RRRRRRRR

Z = 11111SR

Donde: I: es 1 bit de información a 140 mb.

0: bit de servicio para necesidades futuras (service element bit).

R: bit de relleno ( fixed filling bit ).

S: bit de justificación uno por línea en z.

C: 5 bits indicadores de justificación.

C= 00000 bits de información

C= 11111 stuffing bit

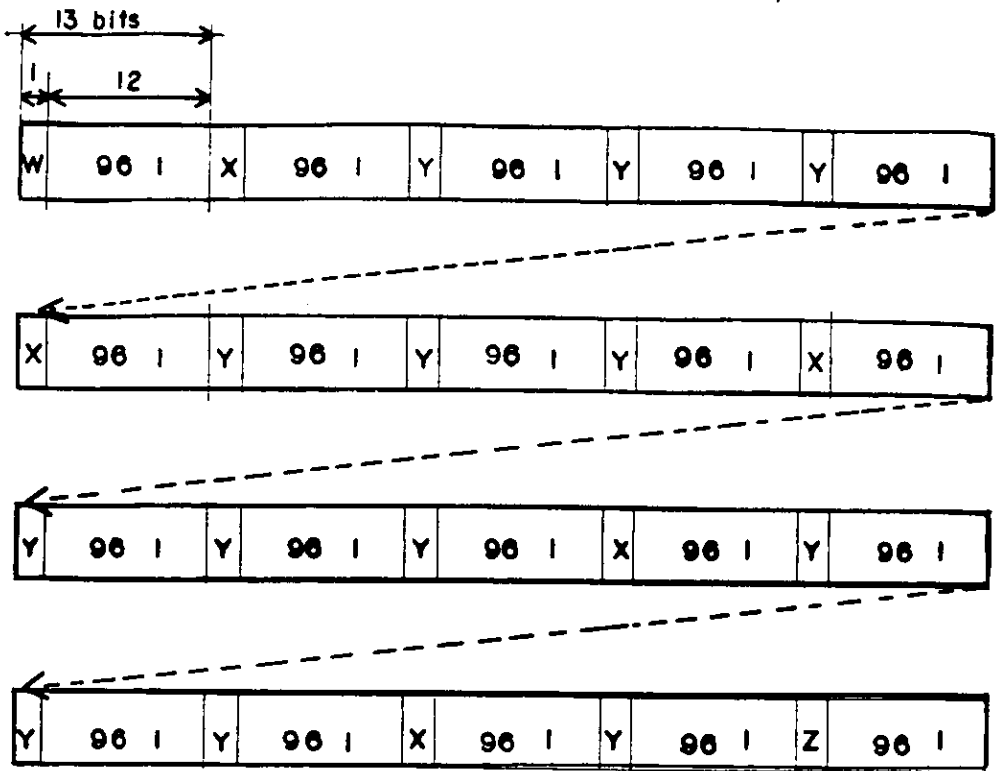


FIG. 3.19 LINEA DE 20 BLOCKS CON 13 BYTES CADA BLOCK

La justificación es necesaria para insertar una tributaria de 139.264 Kb/s 2.083 en un contenedor C4 es del tipo negativo.

-Flujo útil de la velocidad (por ejemplo de Y bits de C4); 139.248

-Velocidad de la tributaria a insertar : 139.264 15 ppm

$$139.264 \ 2.083 \ \text{Kb/s}$$

La velocidad de la tributaria a insertar es mayor que la velocidad útil de C4, por tal motivo el bit "S" de justificación será un bit de información.

$$\text{Justificación máxima: } 1 \times 9 \times 8000 = 72 \ \text{Kb/s}$$



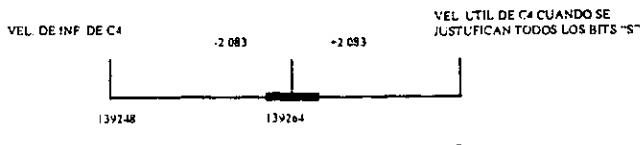


FIG. 3.20 JUSTIFICACION MÁXIMA

## INSERCIÓN DE TRIBUTARIAS DE 34 mB/S

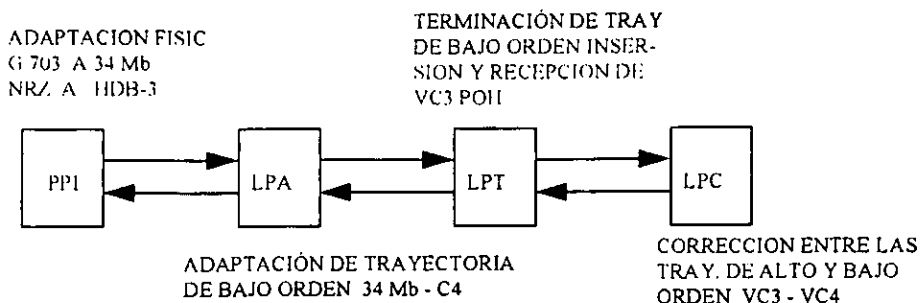


FIG. 3.21 INSERCIÓN DE TRIBUTARIAS DE 34 Mb EN UN STM-1

### Colocación en el contenedor C3 :

El contenedor C3 está estructurado de 9 líneas y 84 bytes de 125 ms

$$84 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits} = 672 \text{ bits}$$

$$672 \text{ bits} \times 9 \text{ líneas} = 6048 \text{ bits}$$

Por ejemplo una velocidad de  $6048 \times 8000 \text{ veces/s} = 48\,348 \text{ Mb/s}$ ; esta velocidad es mucho mayor que la velocidad de la tributaria, debido a que no todos los bytes se usan para llevar información .

El C3 se divide en 3 partes llamadas T1, T2, T3 de 3 líneas cada parte

$$\text{No. de bits de información para T1 : } (3 \times 8) \times 59 + 8 + 7 = 1431 \text{ bits}$$

$$\text{No. de bits de información en C3 : } 1431 \times 3 = 4293 \text{ bits}$$

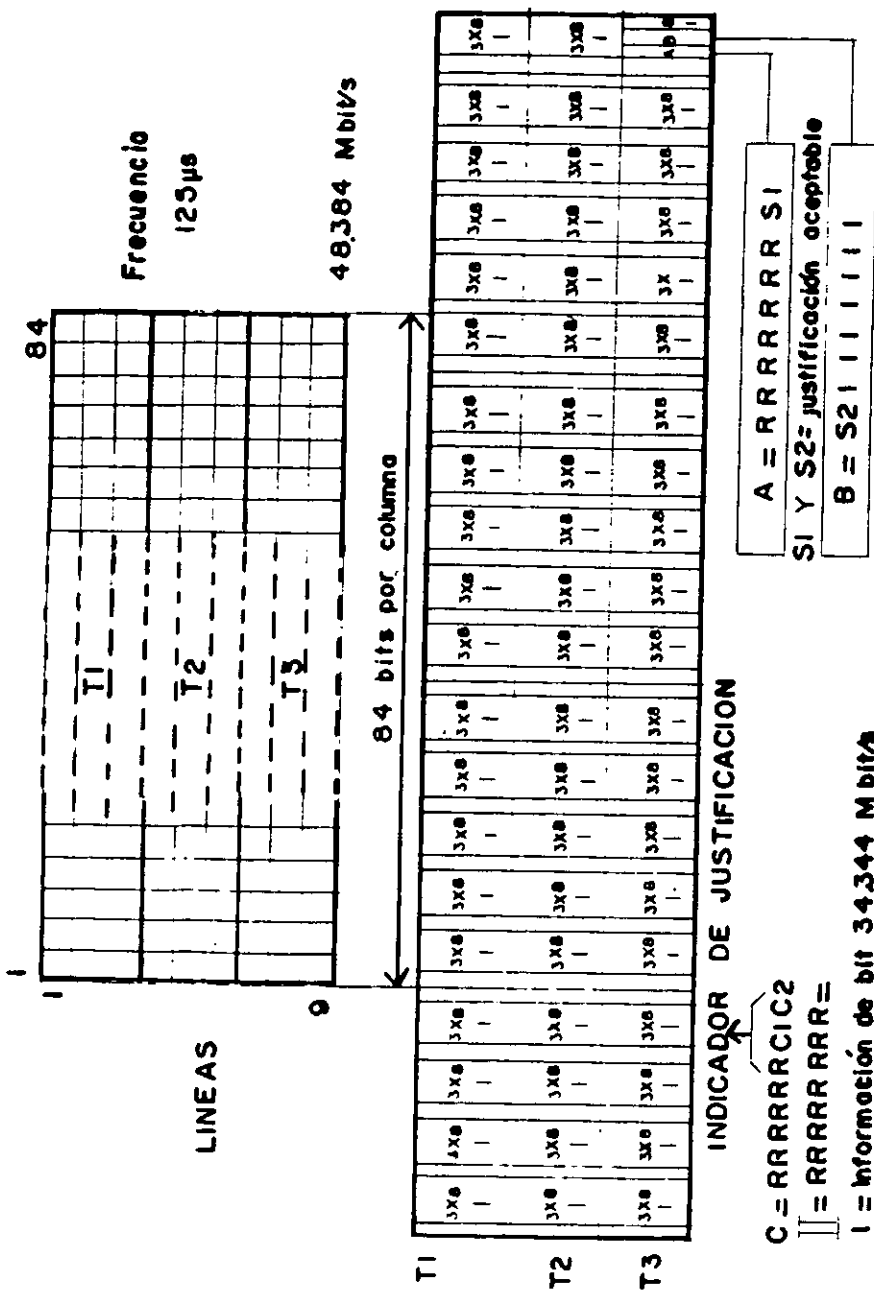


FIG. 3. 22

Velocidad de información de C3:  $4293 \times 8000 = 34\,344$  Mb/s

Máxima justificación:  $6 \times 8000 = 48$  Kb/s

Justificación promedio  $34\,368 - 34\,344 = 24$  Kb.

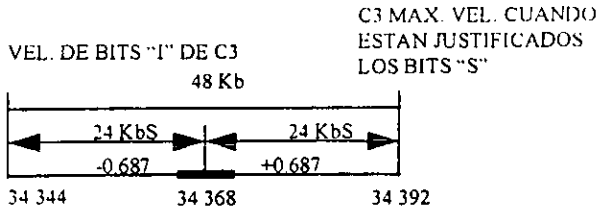


FIG. 3.23 JUSTIFICACION PROMEDIO

### CONTENEDOR VIRTUAL VC3

La Path Overhead (POH) del VC3 es idéntica a la POH del VC4

### INSERCIÓN DE UN VC-3 EN UN STM-1

El VC-3 se inserta en el STM-1 de acuerdo a las recomendaciones internacionales, y en un VC-4 se multiplexan 3 TUG-3 para configurar una AU-4 / AUG-4 y así integrar una trama STM-1

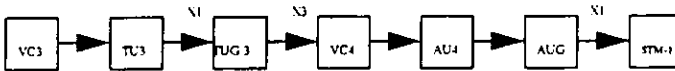


FIG. 3.24 GENERACIÓN DE UN STM-1 A PARTIR DE VC3

### GENERACIÓN DE TU-3 y TUG-3

El TU-3 se forma de un VC-3 y su apuntador asociado, dentro de la carga útil de la trama STM-1; el apuntador de TU-3 es idéntico al de AU-4 y tiene la misma función.

La TUG-3 define la colocación de los TU-3s, dentro de los VC-4, los bytes H1, H2, y H3 de TU-3 son los bytes de las líneas 1,2,3 de las columnas 4,5,6 del VC-4 los otros 6 bytes de esta columna, son de relleno.

## GENERACIÓN DE AU-4/AUG-4 de 3 TUG3.

El VC-4 formado de 3 TUG-3, se obtiene de multiplexar por intercalado (interlecing), de las columnas A/B/C/ , después de poner las columnas conteniendo VC-4 POH y columnas de relleno. en el encabezado (head) de VC-4.

### GENERACIÓN DE AU-4/AUG-4

Como en el caso de una tributaria de 140 Mb./s la AU-4 se obtiene asociando un apuntador con el VC-4 y la AUG-4 representa la entidad que contiene el AU-4

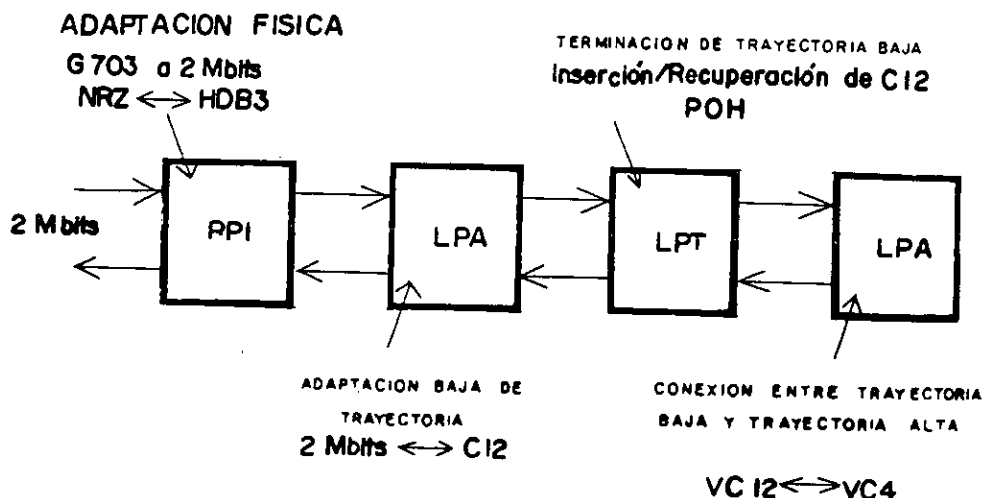


FIG. 3.25 INCERSION DE TRIBUTARIAS DE 2Mb EN UN STM-1

### PROYECCIÓN DE TRIBUTARIAS DE 2 MB EN EL C-12

Las tributarias de 2 Mb. pueden ser estructuradas (G 704) en tramas organizadas en bytes o no estructuradas (G /703) un tren de 2 Mb sin llevar

estructura de 2 Mb, esto hace que se tengan 2 caminos para la generación del C-12 :

**Generación asíncrona :** los bits se ponen en C-12 como y cuando arriban , sin tomar en cuenta la presencia y ausencia de byte de estructura o estructura de trama y la justificación se lleva a cabo a nivel de bit dentro

### 3.7 MULTIPLEXAJE DE ALTA VELOCIDAD

Una trama STM-N esta compuesto de  $N \times 270$  columnas por 9 líneas y se puede obtener mediante 2 técnicas diferentes que son .

#### I.- Por multiplexaje de N AUG

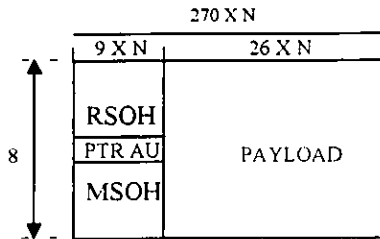


FIG. 3.26 TRAMA STM-1 SDH

La carga útil (pay load) de un STM-N se obtiene de multiplexar N VC-4s para hacer N AUGs

EL multiplexaje se lleva a cabo por intercalado (interleaving) de bytes de N VC-4s la carga útil se encuentra formada de N veces 261 columnas , para poder manejar N VC-4s , después del intercalado de bytes, los apuntadores de AU se ponen la cuarta línea de las N veces 9 columnas de la trama .

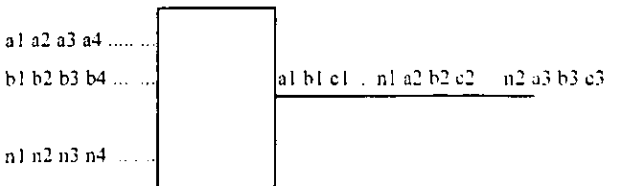


FIG 3.27 MULTIPLEXAJE POR INTERCALADO DE BITS

## **II.- Por multiplexaje de N STM-1 (SOH del STM-4)**

Esta posibilidad consiste de formar internamente dentro del sistema , N tramas STM-1 ( N STM-1s) y estas tramas son multiplexadas una contra otra por intercalado (interleacing) de bytes y los bytes del SOH para el manejo de STM-N se reescriben.

## **III.- El SOH de STM-N (SOH del STM-4)**

Se hace de 4 veces 9 columnas en total 36 columnas y los bytes significativos de de los cuales está hecho, tienen las mismas funciones que los bytes del SOH para STM-1.

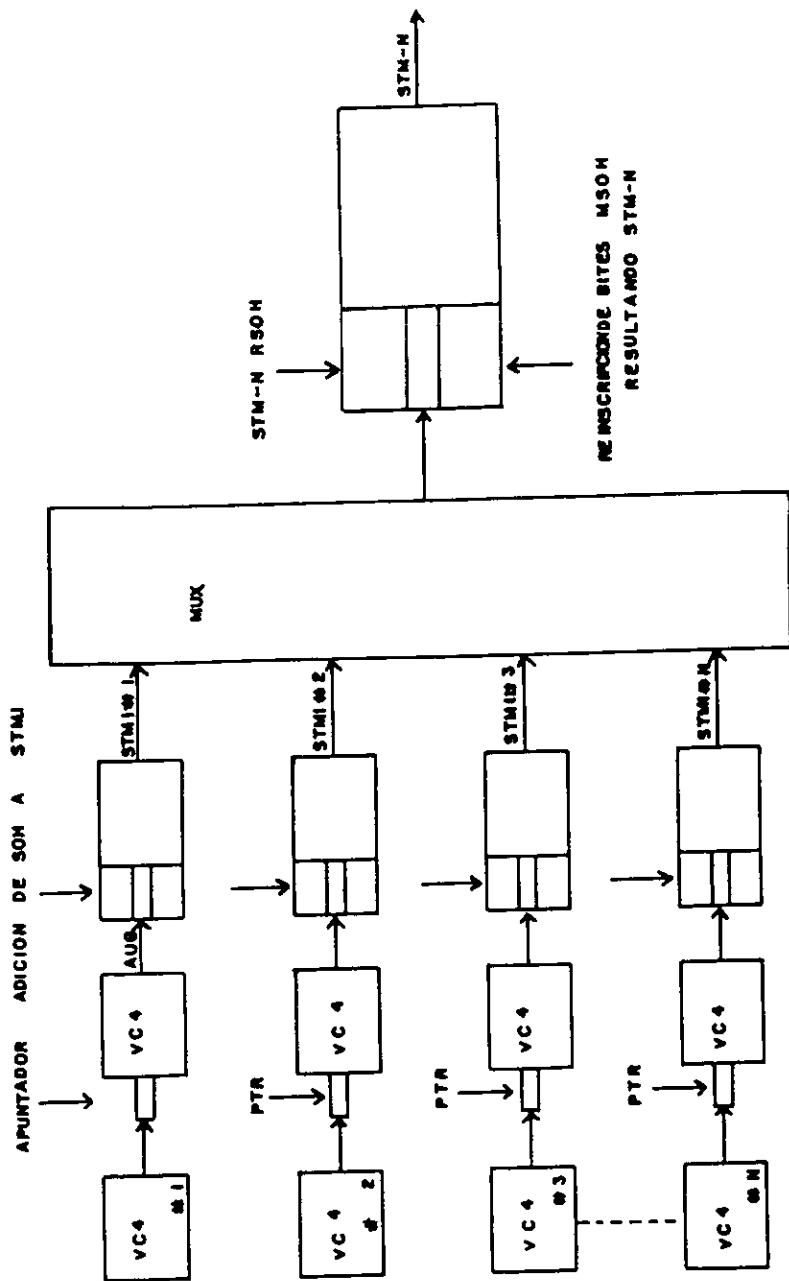


FIG. 3.20 INTERCALADO DE BITES

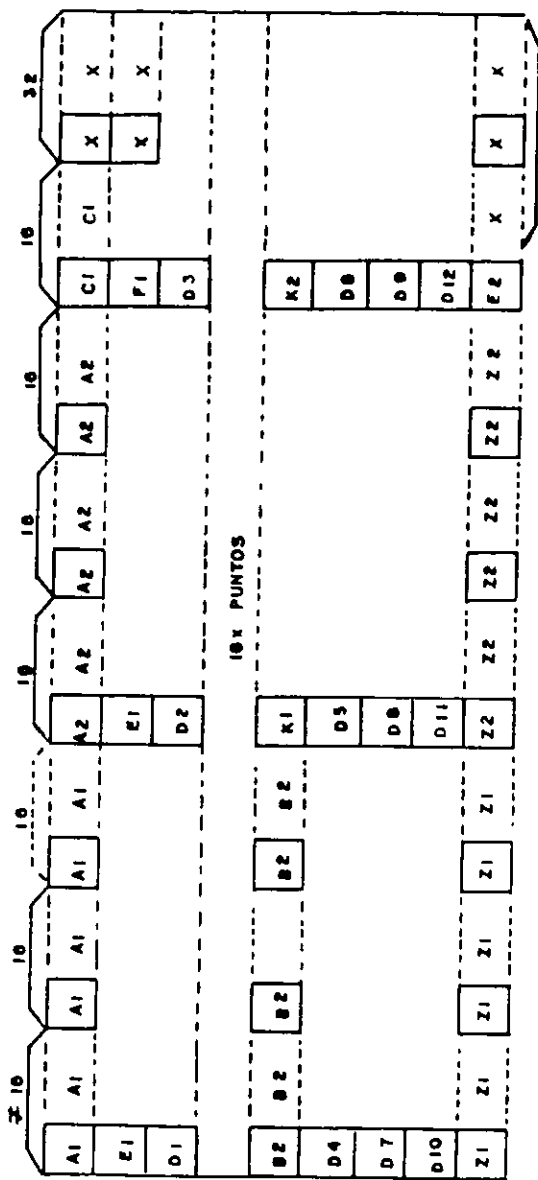


FIG. 3.20 10 VECES 9 COLUMNAS = 144 COLUMNAS



## **CAPITULO 4 APLICACIONES DE TECNICA SDH**

En este capítulo se muestran las aplicaciones típicas y los principales equipos SDH que existen en la actualidad, los conceptos teóricos de la filosofía SDH es la misma para cualquier equipo sin importar la marca del proveedor que los fabrica, la construcción de la red de larga distancia de TEL-MEX fue realizada con equipo de ALCATEL-INDETEL y por esta razón este trabajo está basado en equipos de este proveedor

## 4.1 TOPOLOGÍA DE RED Y CONFIGURACIÓN EQUIPO

Existen 4 tipos principales de redes como lo muestra la fig. 4.1 y son

*Bus*  
*Anillo*  
*Estrella*  
*Malla*

**4.1.1 Red De Bus o Lineal:** En una red de este tipo, el tráfico se transporta por una sucesión de nodos interconectados y el equipo usado, normalmente es equipo terminal de línea en los extremos, con "n" cantidad de repetidores (regeneradores); como se puede apreciar en la fig. 4.1.a, las velocidades de transmisión usadas pueden ser; 622 Mb/s STM-4 o bien 2.5 Gb/s STM-16; estas redes de línea son frecuentemente conocidas como redes lineales para aplicaciones railway, highway, pipe line.

Cuando estas aplicaciones requieren de extraer o insertar información en cualquier nodo del bus, se usa equipo ADM ADD/DROP multiplexer tanto en los puntos terminales como en los nodos intermedios tal como se puede apreciar en la fig. 4.1.a

FIG 4.1 TOPOLOGIA DE RED Y CONFIG. DE EQUIPO

<p><b>BUS</b></p> <p>(a)</p>		<p>TERMINAL OPTICA DE LINEA (OLT) REGENERADOR</p> <p>MULTIPLEXOR INSERCIÓN/EXTRACCION (ADM ADD DROP MULTIPLEXER)</p> <p>TERMINAL MULTIPLEXER</p>
<p><b>ANILLO</b></p> <p>(b)</p>		<p>MULTIPLEXOR INSERCIÓN/EXTRACCION (ADM ADD DROP MULTIPLEXER)</p>
<p><b>ESTRELLA</b></p> <p>(c)</p>		<p>MULTIPLEXOR INSERCIÓN/EXTRACCION TERMINAL MULTIPLEXER</p> <p>TERMINAL OPTICA DE LINEA (OLT)</p> <p>TERMINAL MULTIPLEXER DIGITAL CROSS CONNECT (DCC)</p>
<p><b>MALLA</b></p> <p>(d)</p>		<p>DIGITAL CROSS CONNECT (DCC)</p>

**4.1.2 Red en Anillo:** En una red de este tipo, no hay nodos terminales y/o intermedios como en el caso anterior y normalmente se construye básicamente con equipo ADM's (ADD/DROP), esta configuración juega un papel muy importante dentro de las aplicaciones SDH, ya que se pueden lograr redes autoprotegidas que operan a muy altas velocidades (< 50 ms). La fig. 4.1.b muestra esta topología.

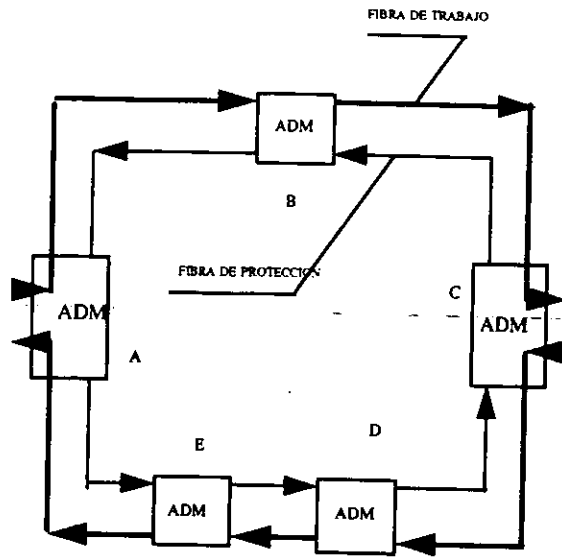
**4.1.3 Tipos De Anillo:** Hay 2 tipos de anillos Self-healing ring como lo muestra la fig. 4.2 que son:

*Anillos Unidireccionales*  
*Anillos Bidireccionales*

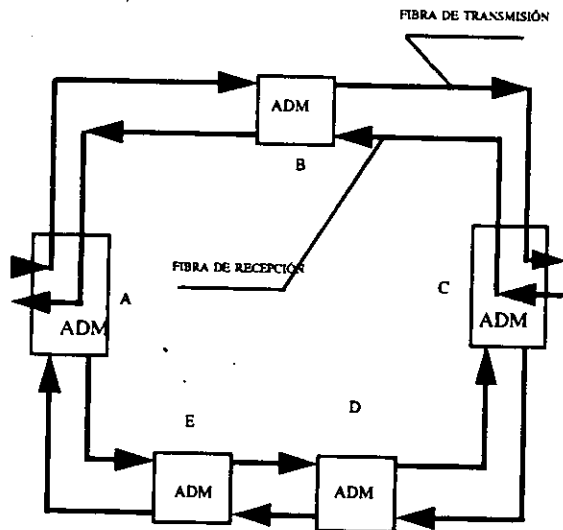
En un anillo unidireccional el tráfico de transmisión y recepción viaja en la misma dirección alrededor del anillo en la fibra óptica activa, la fibra de protección puede usarse en forma redundante, llevando por duplicado la información de la fibra activa o bien , para transportar tráfico de baja prioridad

Como puede observarse en la fig. 4.2 cada nodo transmite tráfico alrededor del anillo, simultáneamente en el sentido de las manecillas del reloj así como en sentido contrario a las manecillas del reloj, el nodo recibe la misma información (tráfico) de ambas direcciones y selecciona la mejor; cuando el elemento detecta una alta tasa de error en la trayectoria o bien una interrupción en la misma, se realiza una conmutación de trayectoria, esta conmutación debe ser < 50ms para cualquier arquitectura de anillo y cada nodo actúa independientemente de los otros nodos .

En un anillo bidireccional, la transmisión y recepción de tráfico, viajan en direcciones opuestas alrededor del anillo y usan las 2 fibras del anillo, por lo que la mitad del ancho de banda debe reservarse para la protección en el reenrutamiento de tráfico en caso de falla en cualquier punto del anillo .



UNIDIRECTIONAL SELF HEALING RING  
(U-SHR)



BIDIRECTIONAL SELF HEALING RING  
A 2 FIBRAS (B-SHR)

SONO2

## 4.2 MECANISMOS DE PROTECCION DE ANILLO

Hay anillos bidireccionales de 4 fibras, en los cuales un par de fibras se reserva para protección; en este tipo de arquitectura ( 4 fibras) existen 2 métodos de protección: protección de tramo, protección de anillo (Ring Protection), en el caso de ruptura de fibra entre 2 nodos, la protección de tramo cambia el tráfico de las fibras de trabajo a las fibras de respaldo, unicamente en el tramo afectado, como lo muestra la fig. 4.3 conmutando tanto la transmisión como la recepción., el resto del canal de protección (fibras de respaldo), permanecen disponibles para la conmutación de cualquier tramo excepto el ya afectado.

**Proteccion De Anillo:** Este método ocurre cuando existe una ruptura tanto en las fibra de trabajo como en las de respaldo tal como puede apreciarse en la fig. 4.4

En este caso se hace un puente (loop) entre las fibras de trabajo y las fibras de respaldo, este loop reconstruye el anillo usando las trayectorias de protección para reconectar los puntos A y D del anillo, este tipo de protección requiere una operación coordinada de todos los nodos que forman el anillo, la protección de anillo y de tramo no pueden usarse simultáneamente

Existen varios tipos de mecanismos de protección de anillo; como son la protección de trayectoria (PATH PROTECTION SWITCHING) y la protección de la sección de multiplex (MULTIPLEX SECTION PROTECTION).

**Proteccion De Seccion De Multiplex** .- se basa en en la detección de falla a nivel de la sección de multiplex para ambos ADMs, localizados en los extremos de la falla; si una falla ocurre en una sección , la señal STM-N es completamente reenrutada a la fibra de protección, aún si la falla se debe a uno de los contenedores en la trama; esta protección se encuentra representada en la figura 4.5

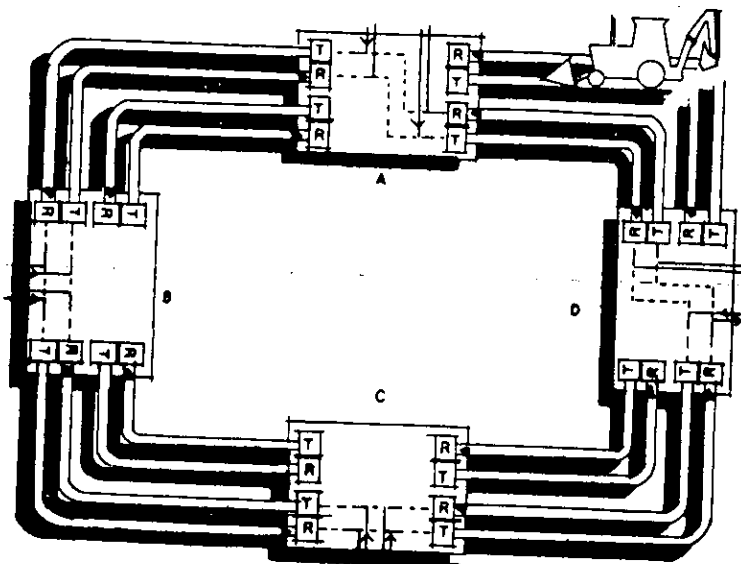


FIG. 4.3. PROTECCION DE TRAMO SPAN

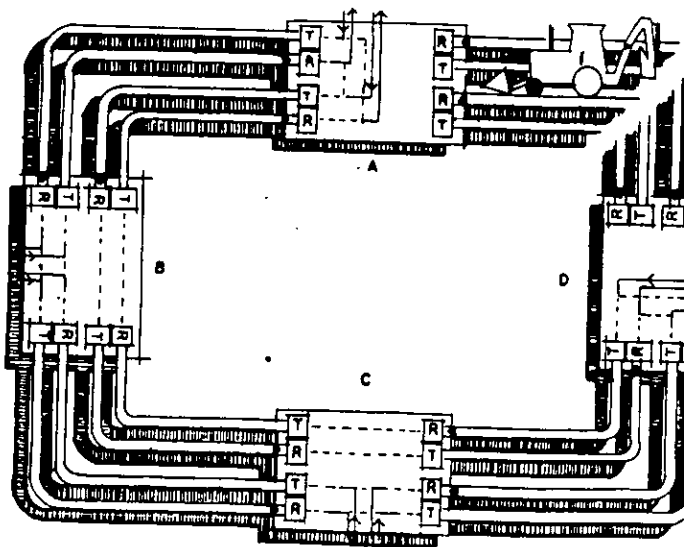


FIG. 4.4 PROTECCION DE ANILLO

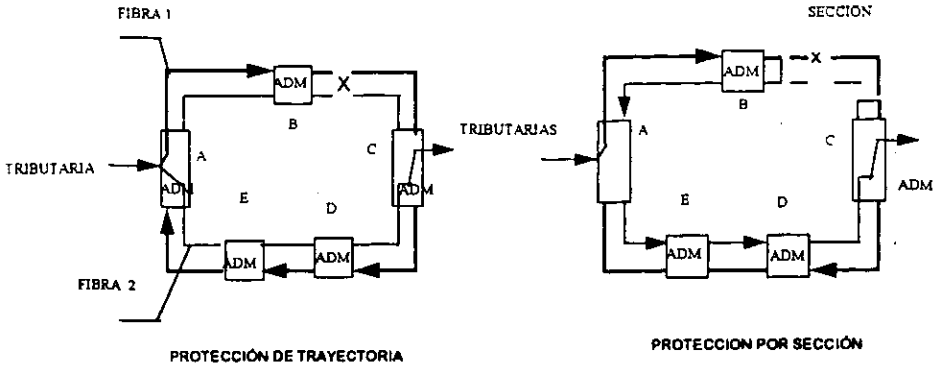


FIG 4.5 UNIDIRECTIONAL SELF HEALING RING (U-SHR)

#### 4.1.4 Protección Red Mallada (Mashed Network Protection)

En las redes malladas, cada nodo se interconecta al menos con otros 2 nodos por uno o más enlaces (links) y generalmente los nodos de una red de este tipo, cuentan con equipos cross connect, estas redes se usan en redes nacionales; las redes de malla pueden protegerse por 2 mecanismos

*División de tráfico*

*Duplicación de tráfico*

En la división de tráfico el 50 % de tráfico se enruta por una vía (branch) y el otro 50 % por la otra, por lo tanto si uno de los 2 enlaces se corta el 50 % de tráfico se pierde; esta protección permite proteger el 50% de tráfico.

En el caso de duplicación: el mismo tráfico se envía por ambas vías (branches) y en la recepción se elige la señal de mejor calidad logrando así el 100 % de la protección del tráfico; la fig. 4.6 muestra las protecciones de división y duplicación de tráfico.



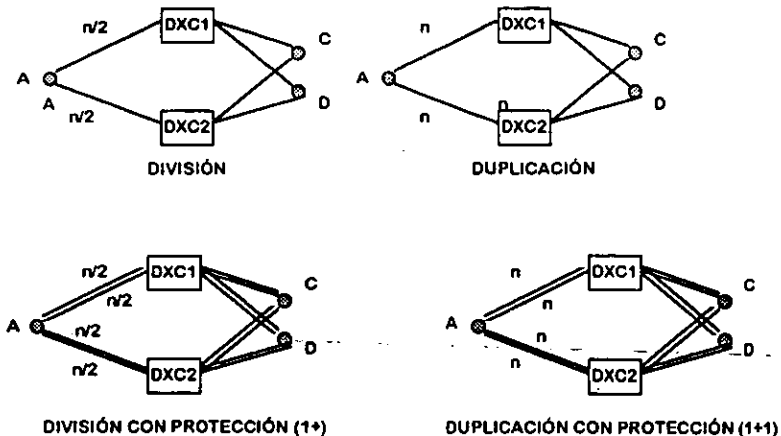


FIG. 4.6 DIVISIÓN Y DUPLICACIÓN DE TRAFICO

En redes de malla, donde existen equipos cross connect, hay un mecanismo de protección adicional que es el de restauración de red en el capítulo 5 se expone con mayor énfasis el concepto., también conocido como reenrutamiento asistido por el sistema de gestión de red (Network Management System) la fig 4.7 muestra una red mallada con equipo cross connect asociado (Digital Cross Connect "DXC" ). La elección de la red mallada depende de múltiples factores tales como tamaño de red, nivel de protección requerida, flexibilidad de la red etc. .

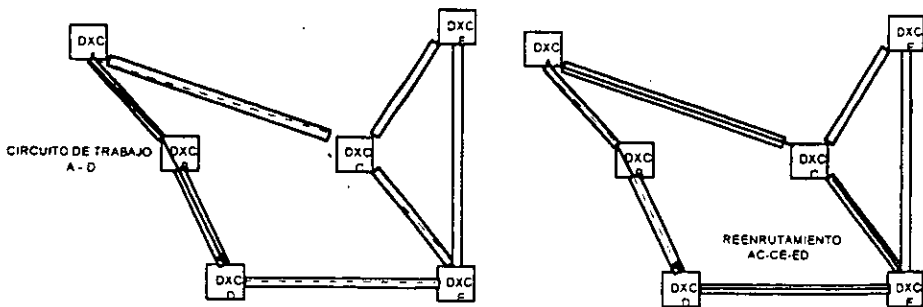


FIG. 4.7 RED MALLADA MOSTRANDO UN CIRCUITO DE TRABAJO Y SU RESPALDO

**4.1.5 Red Estrella:** En una red estrella , todo el tráfico pasa a través de un nodo central llamado hub que generalmente está compuesto por equipo cross connect , pero la principal desventaja de una red en estrella es la debilidad misma de la red , ya que si el hub falla el tráfico no puede transportarse entre las ramas de la estrella.

## 4.2 EQUIPOS DE LINEA

Los equipos de línea se usan principalmente como equipos de transporte en redes backbone o nacionales, ya que según sea el nivel jerárquico usado, 155 Mb/s, 622 Mb/s , 2.5 gb/s será la cantidad de tributarios de 140/155 Mb/s que puede transportar, en este capítulo describiremos el equipo de línea STM/16 que es el equipo usado en proyecto de larga distancia de TELMEX y en el cual se ha basado el presente trabajo. .

Los equipos de línea ópticos STM/16 pueden usar fibra óptica monomodo o de dispersión corrida y son compatibles con equipos plesiócronicos en redes de transporte ya existentes , pueden transmitir simultáneamente señales PDH o SDH y se usan generalmente en enlaces punto a punto; en enlaces muy grandes se usan equipos regeneradores intermedios como elementos de red (Network Element) "NE", estos equipos pueden manejar hasta 16 tributarias (tributaria es la señal que entra o sale del equipo) de 140/155 Mb. multiplexadas en una trama STM-16 .

El equipo transmite información a una velocidad de 2.488 Gb/s, usando como medio de transmisión un par de fibras ópticas una de las cuales es usada para transmisión "Tx" y otra para recepción "Rx" las fibras usadas pueden estar en la 2a. ventana 1310 nM o en la 3a. ventana 1550 nM

### 4.2.1. DESCRIPCION FUNCIONAL DE UNA TERMINAL

Una estación terminal en configuración 1:n se compone de una terminal de trabajo y una terminal de protección (N<5), las terminales se encuentran enlazadas por sets de puntos de conexión Tx in y Tx out así como puntos Rx in

y Rx out, para las señales de 155/140 Mb. y por sets de control para los comandos de conmutación, además de "IN CNF-OUT CNF" para el modo de operación de las tarjetas 140/155 Mb/s de las tarjetas eléctricas de transmisión "ETX" y las eléctricas de recepción "ERX" la fig. 4.9 muestra un diagrama a bloques de la terminal, indicando las tarjetas que la componen. A continuación se describe en terminos generales el funcionamiento de las diferentes tarjetas que componen a los equipos.

**Tarjeta ETX:** En la fig. 4.9 se puede observar que las 16 tributarias de 140/155 Mb. son puestas en 4 tarjetas ETX (eléctrica de transmisión) y cada tarjeta recibe 4 señales, las señales recibidas pueden ser:

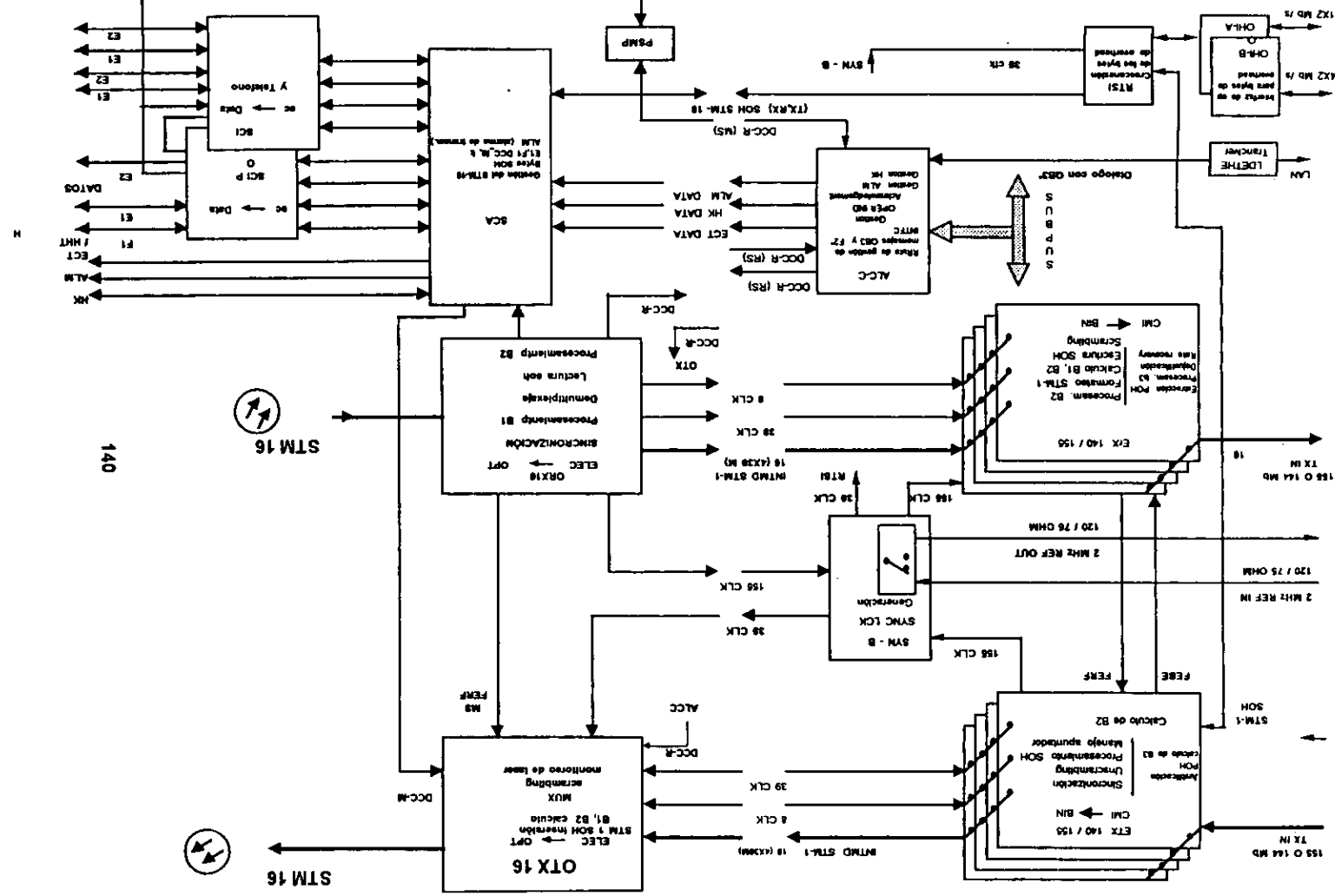
a).- 4 señales de 140 Mb codificadas en protocolo CMI ( Code Mark Inverted ) y estas señales después de haber sido recibidas, se amplifican y se convierten en señal binaria y ya en estas condiciones, se realiza el proceso para colocar esta información en un contenedor virtual VC-4; y cualquier alarma o falla detectadas se pondrán en los bytes correspondientes dentro del VC-4; el reloj de sincronía se recupera de la señal de 140 Mb. cuando aún se encuentra en código CMI .

En la tabla 4.1, se indican las señales de alarmas para estas tarjetas.

SEÑAL	CRITERIO
LOS	LOSS OF SIGNAL (PERDIDA DE SEÑAL)
LOFODL	LOSS ODL FRAME (PERDIDA DE TRAMA ODL)
AIS-R	PRESENCIA DE AIS EN TRIBUTARIA
BOARD FAIL	FALLA DE VOLTAJE, FALLA ASIC
CONFIG LOS	FALLA DE WATCHDOG, OCONFIG.

TAB. 4.1 SEÑALIZACIÓN PARA TRANSMISIÓN 140 MB.

La transmisión de AIS o FERF en la trama es de acuerdo al criterio de configuración.



140

STM 16

STM 16

**AIS:** para detección de pérdida de tributaria (LOS) o falla de tarjeta (board fail).

**P-FERF:** por recepción de P-FERF de la tarjeta ERX (en FEBE).

b).- Recibe una señal de 155 Mb en código CMI, la señal se ecualiza y amplifica y se toma la sincronía de la señal en código CMI, después de esto la señal se pasa a código binario y se realiza el proceso para colocar la información en el VC-4 correspondiente; las señales de alarma se indican en la tabla 4.2

SEÑAL	CRITERIO
LOS	LOS OF SIGNAL (PERDIDA DE TRIBUTARIA)
LOP	LOS OF TRIBUTARY POINTER (PERDIDA DEL APUNTADEOR DE TRIBUTARIA)
LOF	TRIBUTARY LOS OF FRAME (PERDIDA DE TRAMA DE TRIBUTARIA)
LOFODL	LOSS OF ODL FRAME ( PERDIDA DE TRAMA ODL)
MS-AIS	MS-AIS PRESENCE IN TRIBUTARY (MS AIS PRESENTE EN TRIBUTARIA)
P-AIS	P-AIS P-AIS PRESENTE EN LA SEÑAL RECIBIDA
MS-FERF	MS FERF PRESENTE EN LA SEÑAL REIBIDA
PJE	JUSTIICACIÓN DE LA AU-4 POR EXTRACCIÓN DEL VC-4 DE LA TRIB
BER	ERROR RATE CALCULADO EN B1 Y B2
G.821	PARAMETROS G 821 (ES,SES,DE, Y US)DETERMINADO EN B1 Y B2
B1, B2	NUMERO DE ERRORES EN B1 Y B2
BOARD FAIL	FALLA DE VOLTAJE, FALLA ASIC WATCHDOG FAILURE)
CONFIG LOS	WATCHDOGE FAILURE O CNFIG

TAB. 4.2 SEÑALIZACIÓN PARA TRANSMISION 155 MB.

**OTX:** Cada una de las señales que sale de la tarjeta ETX se envía a la terminal óptica de transmisión OTX en forma de 34 Mb, la terminal óptica recibe estas señales y las multiplexa a un STM-16 además de convertir la señal eléctrica recibida en una señal óptica por medio de un diodo laser DFB y la señal de 2488.320 Mb/s se envía la terminal distante vía fibra óptica .

**ORX:** En el lado receptor la Unidad Óptica de Recepción ORX recibe la señal STM-16 y hace la conversión a señal eléctrica de bajo nivel, regeneran-

dola por medio de un amplificador de bajo ruido seguido de un AGC, la sincronía se recupera de la señal eléctrica; la señal STM-16 se demultiplexa en 4 señales en paralelo de 39 Mb/s, la tabla 4.3 muestra las alarmas y criterios para esta unidad:

SEÑAL	CRITERIO
LOS	PERDIDA DE SEÑAL ENTRANTE
IOP	EXPRESIÓN EN dB DE LA POTENCIA DE LASER RECIBIDA
LOF	LOSS OF THE FAW
OOFS	TIEMPO CON PERDIDA DE FAW EXPRESADA EN SEGUNDOS
BER	ERROR RATE EN B1
G 821	PARAMETROS DE G 821 DETERMINADO EN B1 (ES, SES, DM, Y US)
B1	NÚMERO DE ERRORES EN B1
B2x	NÚMERO DE ERRORES EN B2 DE LA TRAMA NO X
BOARD FAIL	FALLA DE (-5, +5 V), ASICF, WATCHDOG O FALLA LOC2.5 FAILURE
CONFIG LOSS	FALLA DE WATCH DOG O CONFIG.

TABLA 4.3 CRITERIOS DE ALARMA DE LA TARJETA ÓPTICA DE RECEPCIÓN (ORX)

**ERX:** Las señales eléctricas son enviadas a la tarjeta eléctrica de recepción ERX y esta tarjeta es la encargada de convertir la señal recibida en señal de 140 Mb o 155 Mb para lo cual existen 2 posibilidades :

a).- **Señal plesiocrónica:** Los datos extraídos de la carga útil (pay load) se dejustifican y la señal de 139.264 se convierte a código de transmisión CMI para su envío a los accesos de salida de recepción, la tabla 4.4 muestra la señalización y criterios para esta aplicación

b).- **Tributarias sincrónicas:** los datos extraídos del VC.4 son reinsertados en la nueva estructura STM-1 , sincronizada por la referencia de reloj recibida de la unidad de sincronía. El apuntador de la AU se justifica de acuerdo al cambio de fase entre el reloj recobrado y el reloj local: la señal de 155. 520 Mb/s es puesta en los accesos eléctricos de salida de la recepción . la tabla 4.5 indica la señalización y criterios para este caso.

SEÑAL	CRITERIO
AIS-CL	PRESENCIA DE AIS-CL IN LA TRAYECTORIA
LOP	LOSS OF THE PATH POINTER (PERDIDA DE APUNTAADOR)
P-FERF	PRESENCIA DE P-PERF EN LA TRAYECTORIA
BER	ERROR RATE CALCULADO EN B2, B3, Y G1
G-821	PARAMETROS G821 (ES, SES, DM, Y US) DETERMINADO EN B2, B3 Y G1
B2, B3, G1	NÚMERO DE ERRORES EN B2, B3 Y G1
P-AIS	PRESENCIA DE UN P-AIS EN LA PATH
PJE	JUSTIFICACIÓN DE LA AU-4 POR EXTRACCIÓN DEL VC-4 DE LA TRIB
BOARD FAIL	FALLA DE VOLTAJE, FALLA ASIC WATCHDOG FAILURE)
CONFIG LOS	WATCHDOGE FAILURE O CNFIG

TABLA 4.4 CRITERIOS PARA OPCION PDH

SEÑAL	CRITERIO
AIS-CL	PRESENCIA DE AIS-CL IN LA TRAYECTORIA
LOP	LOSS OF THE PATH POINTER (PERDIDA DE APUNTAADOR)
LOFODL	PERDIDA DE TRAMA ODL
BER	ERROR RATE EN B2
G 821	PARAMETROS DE G 821 DETERMINADO EN B2 (ES, SES, DM, Y US)
B1	NÚMERO DE ERRORES EN B2
P-AIS	PRESENCIA DE P-AISIN LA TRAYECTORIA (PATH)
PJE	JUSTIFICACIÓN DE LA AU-4 POR EXTRACCIÓN DEL VC-4 DE LA TRIB
BOARD FAIL	FALLA DE (-5, +5 V), ASICF, WATCHDOG O FALLA LOC2.5 FAILURE
CONFIG LOSS	FALLA DE WATCH DOG O CONFIG.

TABLA 4.5 CRITERIOS PARA OPCION 155 MB/S

**ALC-C: Alarm And Fault Management:** esta unidad asegura la supervisión de la operación local, el manejo de datos de house keeping (HK), manejo de alarmas, enrutamiento de enlace y manejo de datos de red, permite el diálogo

con ECT (interfaz f2 y protocolo de comunicación local con una PC), manejo de QB3 (diálogo con equipo de gestión ).

**SCA:** Manejo del canal de servicio, provee la interfaz para la ECT (Equipment Craft Terminal) PC para supervisión local, permite la señalización de alarmas de HK, inventario remoto y diálogo con AOS (overhead bytes).

**SYN-B:** Unidad de sincronía que provee a la OLT (Optical Line Terminal ) de una señal de reloj, para sincronización de las señales que se envían a la línea así como la sincronización para la restauración de las señales de 140/ 155 Mb.

El equipo consta de un bastidor principal en el cual se pueden alojar 2 repisas en terminales o 3 repisas en repetidores ; la fig 4.11 muestra un bastidor equipado con 2 terminales y otro equipado con 3 repisas de repetidor, la fig 4.12 muestra una repisa equipada para un sistema de 2.5 Gb.

#### **4.3 EQUIPO MULTIPLEXOR DE INSERCIÓN/EXTRACCIÓN (ADD / DROP MULTIPLEXER)**

Estos equipos permiten una gran flexibilidad a la topología de red, ya que pueden ser usados como terminales de línea o como equipos ADM (Add/Drop multiplexor), las tributarias pueden ser plesiócronicas de 2,34 ó 140 Mb. o bien sincronicas a 155 Mb/s , pueden ser tributarias ópticas o eléctricas. Las unidades tributarias pueden ser suministradas con protección (1+ 1) (1:1) o bien (N+1) .

Los agregados ( se conoce como agregado a la unidad que envía la señal a la línea de transmisión) también pueden suministrarse en protección (1+1) o (1:1) configurados como Drop / Insert tienen interfaz este u oeste.

A continuación se describe el equipo ADM indicando las diferentes configuraciones posibles:

- *Funciones comunes.*
- *Versión 21 x 2 ( 21x 2 significa 21 tributarias de 2 Mb.).*
- *Versión 3 x 34 ( 3 x 3 significa 3 tributarias de 34 Mb.).*
- *Tributaria óptica .*
- *tributaria eléctrica .*



- *Mezcla de tributarias.*
- *Versión Drop/Insert.*

**FUNCIONES COMUNES:** Dentro de las funciones comunes para cualquier equipamiento, tenemos: *Canal Auxiliar, AUX-CH / EOW* que maneja todos los stream Over Heads de la trama STM-1 y hace posible un máximo de 6 canales de datos, 3 de 64 Kb. que cumplen con la recomendación G703 de la UIT y 3 que cumplen con la recomendación "V 12"

**Unidad de reloj:** proporciona la referencia de reloj para todas las unidades del equipo, seleccionando la señal de sincronización entre las referencias de entrada disponibles: hay 11 referencias disponibles en la entrada:

- 5 referencias de 38.88 Mhz o 2048 mHz recibidas de las unidades tributarias
- 4 de 38.88 Mhz recibidas de los agregados
- 2 de 2 Mhz recibidas de una fuente externa por medio de los conectores (M127) y (M128)

**ESCT** Controladora de equipo, controla el diálogo con las unidades instaladas en la repisa, a través de la interfaz "S", controla también el diálogo con el sistema de gestión (a) por medio de la interfaz Q3, P Permite el diálogo local con una terminal portátil por medio de la interfaz f conectando la PC directamente al equipo.

**El OH BUS:** consiste de un bus serial bidireccional de 486 Mb/s y maneja el tráfico de los bytes OH dentro del equipo; las unidades conectadas al OH bus son:

- *Agregado STM/1 para bytes POH del VC-4*
- *Tributaria STM-1 para algunos bytes POH del VC-4 y para bytes SOH*
- *Tributaria 3 x 34 Mb / s para bytes POH de VC/3*

La estructura del OH BUS consiste de una trama de 607.5 bits que corresponden a 75 palabras de 8 bits ( los últimos 7.5 bits no son usados ) para un intervalo de 125 ms, cada unidad que usa el OH bus se asigna a un slot de

8 bits de acuerdo al orden establecido en la tabla 4.6, los bytes no indicados en la tabla no se usan y en la misma tabla se define el contenido de cada slot

p = bytes insertados dentro del bus por la unidad

g = bytes extraídos del bus a las unidades

SLOT No.	UNIDAD	CONTENIDO
1	AGREGADO STM-1	F2, Z3, Z4, Z5
2	AGREGADO STM-1	F2, Z3, Z4, Z5
3	AGREGADO STM-1	F2, Z3, Z4, Z5
4	TRIB. STM-1, TRIB 3X34	E2/F2, Z3, Z4, Z5
5	TRIB. STM-1, TRIB 3X34	E2/F2, Z3, Z4, Z5
6	TRIB. STM-1, TRIB 3X34	E2/F2, Z3, Z4, Z5
7	TRIB. STM-1, TRIB 3X34	E2/F2, Z3, Z4, Z5

**TABLA 4.6 ASIGNACION DE SLOT A LAS UNIDADES EN EL OH BUS**

El contenido de estos bytes es de a los canales de datos y de servicio, procesados por la unidad AUX CH/ EOW de acuerdo al software usado.

### VERSION 21 X 2

Esta versión permite 63 tributarias plesiócronas de 2.048 Mb/s y la configuración consiste de 4 unidades tributarias de 21 x 2 ( una de respaldo) 2 agregados ( 1 de respaldo ), cada tarjeta de 21 x 2 maneja 21 señales de 2 mb/s en código de línea HDB-3, la tarjeta hace el cambio a señal binaria y las inserta en sus respectivos VC-12, para posteriormente ponerlo en un VC/4, en el lado de recepción la unidad recibe la señal y realiza un proceso inverso para obtener la señal de 2.048 Mb/s en código de línea HDB/3 la fig. 4.12 muestra un diagrama a bloques de esta versión.

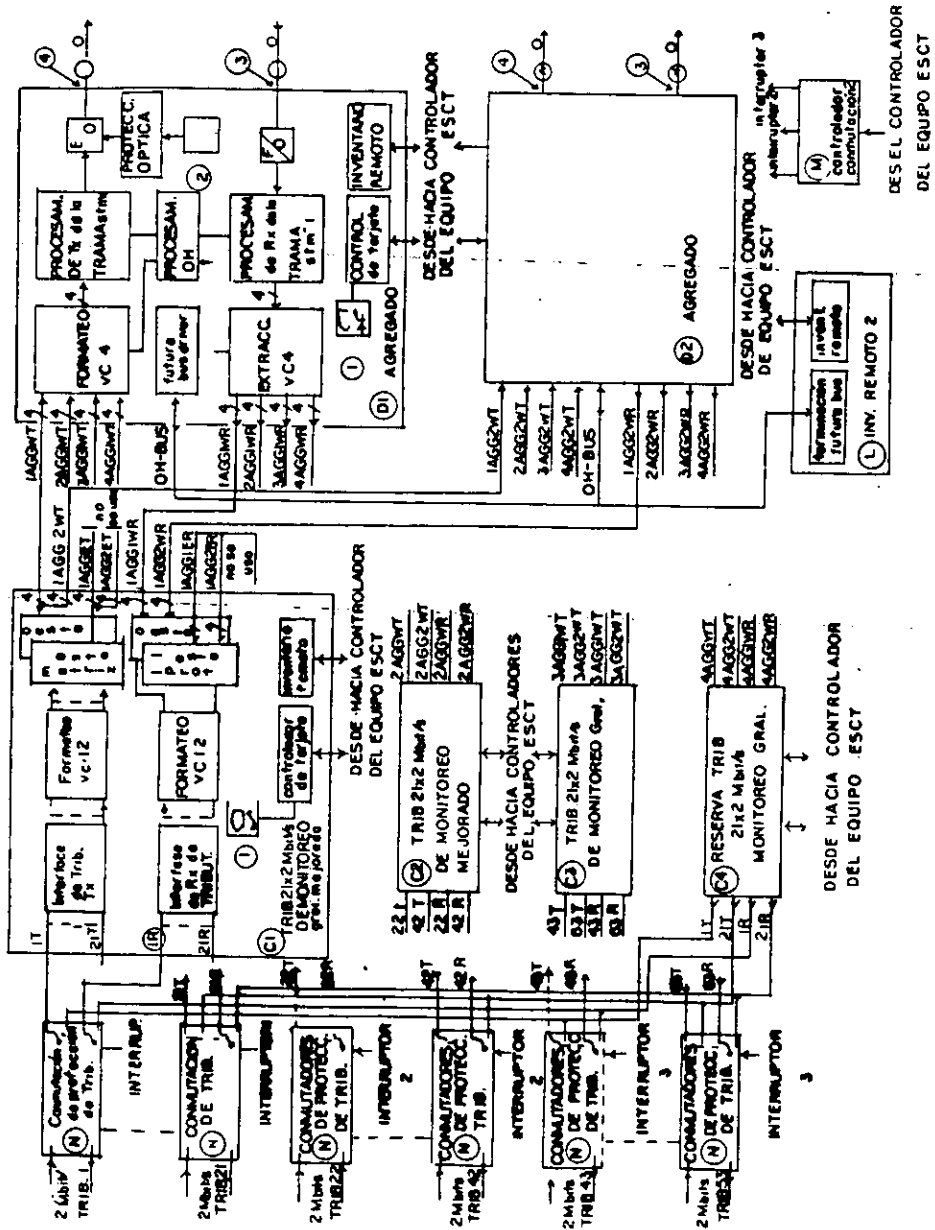


FIG. 4.12 ADM VERSION 21 x 2

## VERSION 3X 34 :

El equipamiento de esta versión recibe un máximo de 3 tributarias plesiócronicas de 34. 368 Mb/s en una señal STM-1, la configuración es de protección (1+1) tanto para las tributarias como para las señales de línea y consiste de las siguientes unidades

- 2 unidades de 34 mb/s (1 de trabajo y 1 de respaldo).
- 2 agregados (1 de trabajo y 1 de respaldo).
- 3 subunidades tributary protection switches una para cada tributaria.
- 1 subunidad switch driver/2.

Cada unidad tributaria de 34 Mb/s recibe 3 señales de 34 Mb/s en código de línea HDB-3 y son recibidas a través de las subunidades "trib protection switches", las señales HDB3 son transformadas en señales binarias e insertadas en 3 estructura VC-3 y posteriormente pasan a un stream VC-4 que a su vez es enviado al agregado óptico ( se transmiten en paralelo 4 señales de 34. 88 Mb/s), en el cual son multiplexadas a un STM-1 y la señal eléctrica convertida a óptica para su transmisión a la terminal distante.

En el lado receptor se realiza un proceso inverso que después de recibir la señal óptica STM-1 la convierte en 3 señales plesiócronicas de en código de línea HDB/3.

La fig 4.13 muestra a bloques un dibujo de esta versión.

## VERSION TRIBUTARIA OPTICA :

En esta versión se pueden manejar un máximo de 5 tributarios ópticos de 155.52 Mb/s y pueden transmitirse por el agregado en una señal STM-1; el equipamiento consta de 5 tributarias ópticas STM-1 y 2 agregados ópticos.

Cada tributaria óptica recibe una señal óptica STM-1 con código de línea NRZ ( no retorno a cero) esta señal se recibe en el conector (3) y el circuito "O/E" (Optical/Electrical), transforma la señal óptica en eléctrica, posteriormente esta señal eléctrica es convertida en 4 señales binarias de 38.88 Mb/s en paralelo que por medio del circuito "STM-1" RX Frame; estas señales en pa-

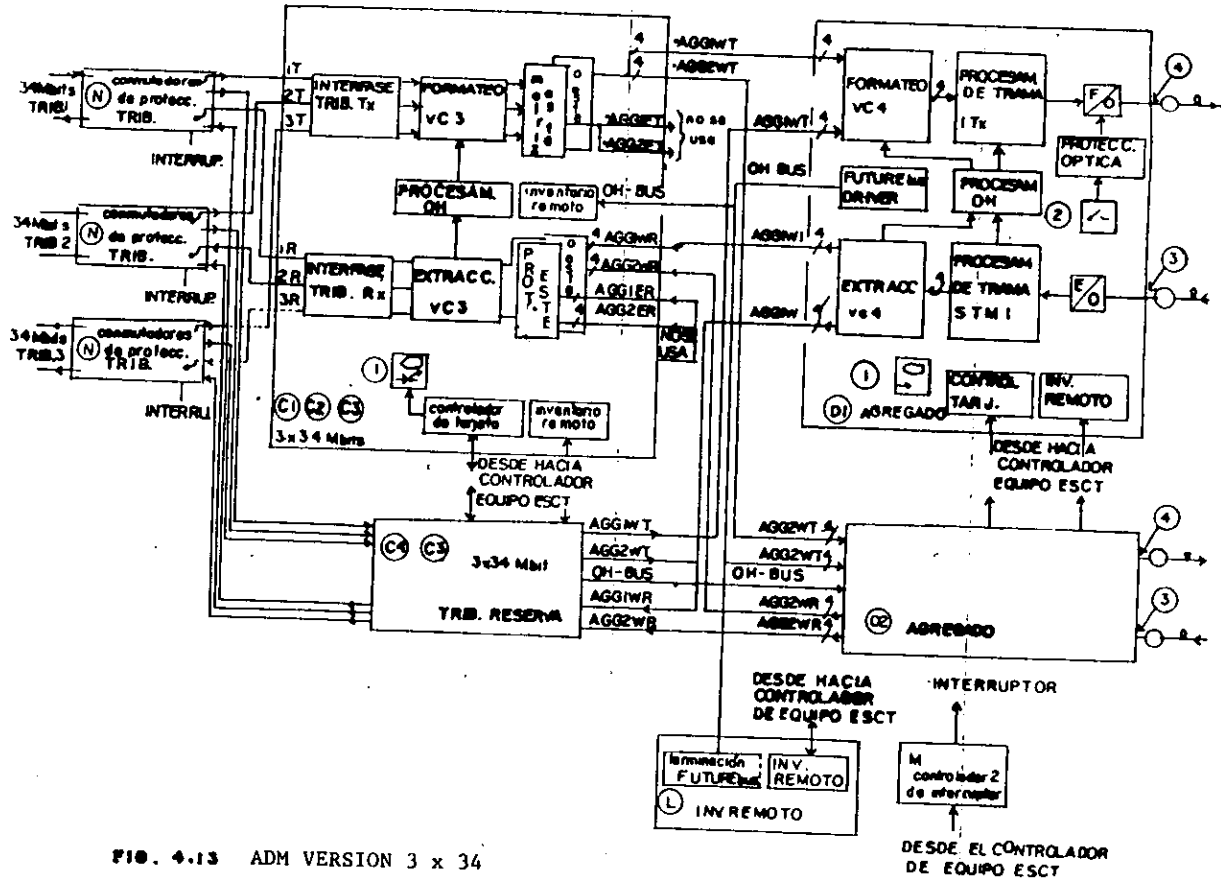


FIG. 4.13 ADM VERSION 3 x 34

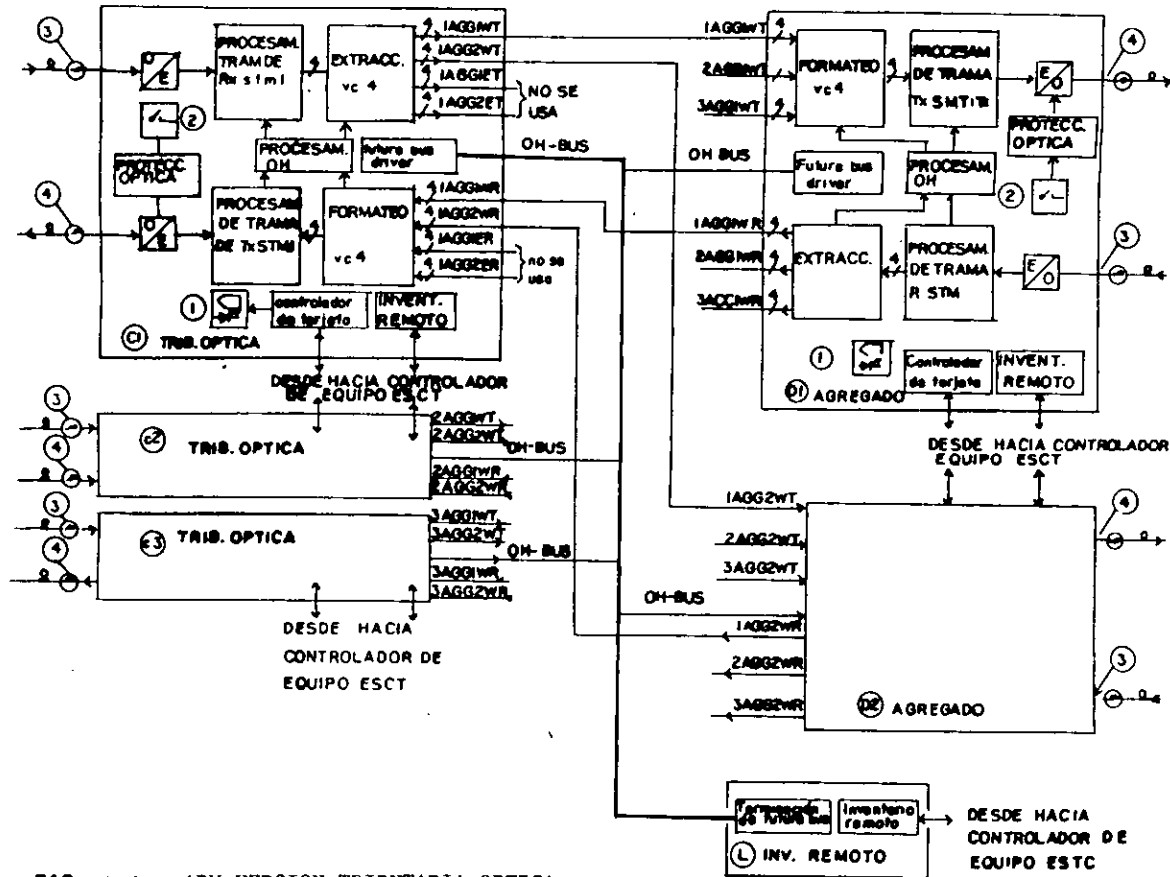


FIG. 4.14 ADM VERSION TRIBUTARIA OPTICA

ralelo son enviadas al agregado para su transmisión a la terminal distante .

En el lado receptor, se realizan un proceso inverso hasta obtener la señal óptica NRZ.; la fig 4.14 muestra un diagrama a bloques de esta versión.

### VERSIÓN AGREGADO ELÉCTRICO:

Para esta versión se hace el mismo procedimiento que para la de agregado óptico, únicamente cambia la señal STM-1 manejada, que en lugar de ser óptica es eléctrica y cambia también el circuito "e/o" por un circuito CMI/NRZ.

### VERSION DROPP/INSERT :

La fig 4.15 muestra la configuración de un equipo ADM con la facilidad de Drop/Insert (Inserción/Extracción), lo que nos permite insertar y/o extraer canales en las estaciones intermedias del enlace o anillo, la fig. 4.15 muestra una estación intermedia con protección (1+1) y en donde ambos lados este y oeste transmiten y reciben información.

Los canales usados por la estación intermedia, son extraídos/insertados por las unidades tributarias, el resto de los canales que no son usados por esta estación, pasan directamente a la línea de transmisión.

Los 2 agregados oeste, posiciones (D1) y (D2) reciben la señal STM/1 de la línea (D2) es de respaldo; después de procesar la señal de la misma forma que para agregado óptico, cada unidad maneja 7 streams de 38.88 mb/s con una estructura de bus de 4 hilos, los primeros 5 streams (drop) son usados hacia las unidades tributarias, mientras que los restantes streams (transit) son directamente transmitidos a la línea del agregado este; el equipamiento consiste de:

- 2 unidades tributarias 21 x 2 (una de respaldo).
- 2 unidades tributarias de 3 x 34 (una de respaldo).
- 1 tributaria óptica.

Cada unidad tributaria recibe un stream de 38 Mb/s conteniendo los canales para drop provenientes del agregado oeste y cada unidad tributaria procesa los

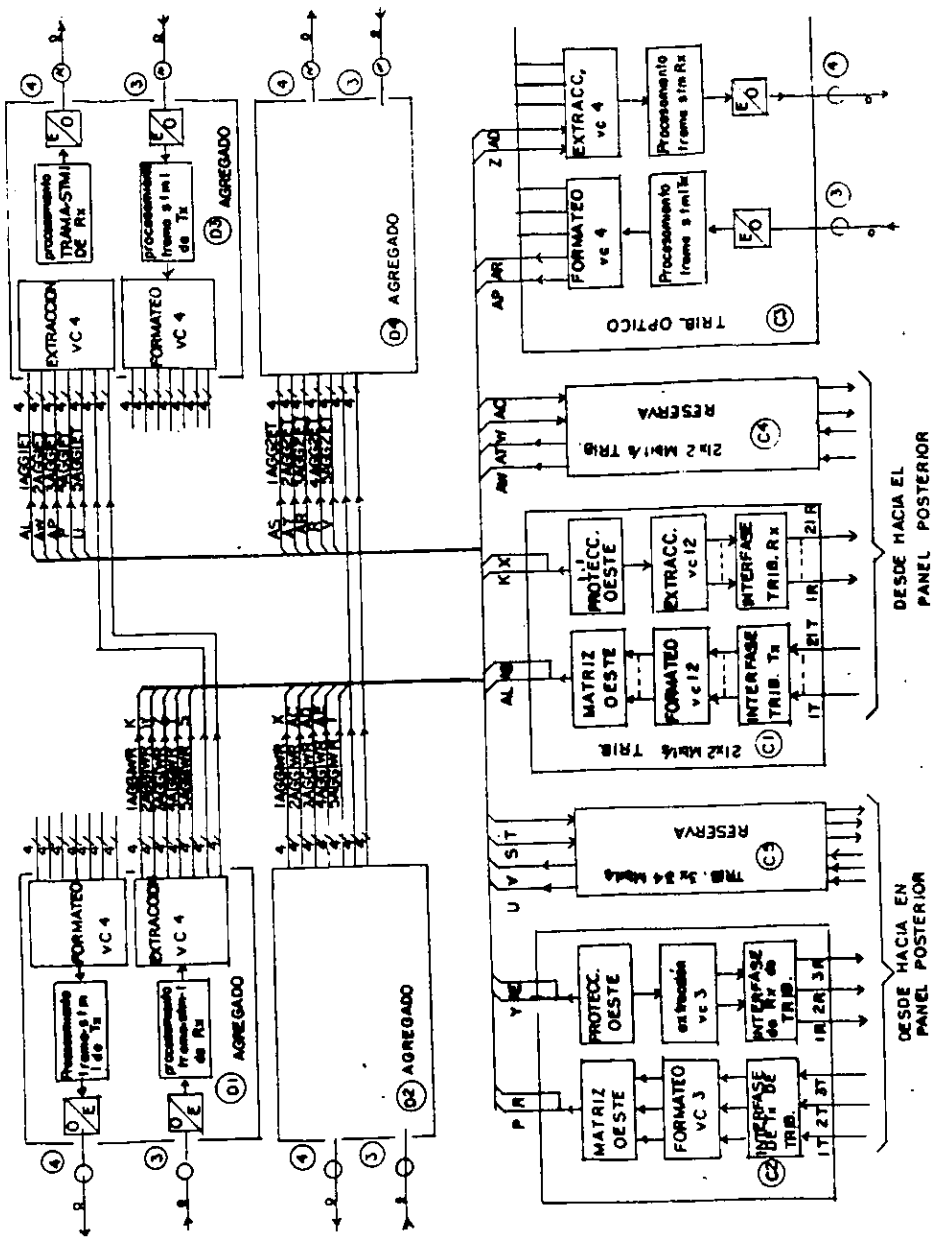


FIG. 4.10 ADM VERSION AGREGADO ELECTRICO

stream recibidos, para generar las señales tributarias de drop; además las unidades tributarias reciben la señal que deberá insertarse al stream óptico STM-1,



estas señales son procesadas por la unidad tributaria y enviadas a la línea usando ambas señales las insertadas y las de tránsito ( las señales drop, insert y transit son definidas por el software propietario).

#### 4.4 EQUIPO CROSS CONNECT

El equipo cross connect 1644 SX es un repartidor de enlaces digitales Plesiocronos de 140 Mb/s recomendaciones G703, G823 y G751 y sincronos de 155 Mb/s recomendaciones G703 , G707, G708, G709 y G783. Este equipo es principalmente usado para:

- *Interconexión de enlaces internacionales, nacionales o interurbanos, en la red nacional de Telmex.*
- *Reenrutamiento automático de tráfico en caso de ruptura ó daño en el medio de transmisión con tráfico.*
- *Localización dinámica de recursos disponibles para restaurar tráfico en el menor tiempo posible.*

El equipo cross connect 1644 SX se compone de un repartidor electrónico CXU y una MMP (Man Machine Processor) el CXU puede ser controlado hasta por 7 operadores y un superusuario OSS y la MMP es la interfaz para poder acceder al distribuidor digital CXU, el CXU está compuesto por 4 bloques funcionales como puede apreciarse en la fig . 4.16

**MTX:** Bloque de matriz en la cual se realizan todas las transconexiones.

**I / O:** Bloque de entrada / salida, funcionalmente localizada entre la matriz y los accesos externos (puertos entrada/salida de 140 ó 155 Mbs).

**GCP:** Procesador central general que asegura la administración interna del equipo, así como la comunicación con la MMP.

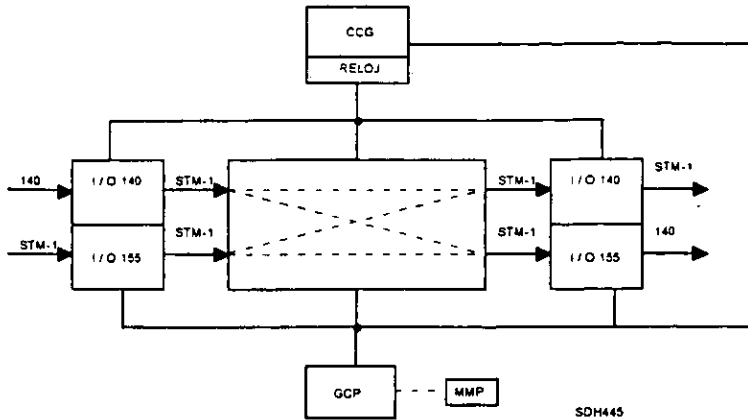


FIG 4.16 DIAGRAMA A BLOQUES DEL CROSS CONNECT

**CCG:** Generador central de sincronía quien se encarga de proporcionar las señales de sincronía a 155 Mhz para que puedan operar los módulos I/O y MTX.

Todos los módulos cuentan con elementos de reserva para la protección del equipo, el cross connect puede realizar la interconexión de 64 , 128 , 256 y 512 puertos dependiendo del dimensionamiento de red que se requiera en algún lugar específico y cada puerto tiene una entrada "In" y salida "out".

El número de gabinetes depende de la cantidad de puertos que se requieren manejar, de acuerdo a la siguiente tabla

TABLA 4.7 NO. DE PUERTOS Y GABINETES NECESARIOS

NO PUERTOS	GABINETE U.C.	GABINETE(S) I/O, MTX
64	1	1
128	1	2
256	1	4
512	1	8

El CXU está compuesto de 2 ó más gabinetes.

- a) *Gabinete de unidades comunes "CU".*
- b) *Gabinete(S) de entrada/salida y matriz.*

Los gabinetes se encuentran compuestos de módulos (MDL) y cada módulo compuesto de 2 submódulos (SBMDL), la fig 4.17 muestra los gabinetes y su equipamiento.

## **OPERACION GENERAL:**

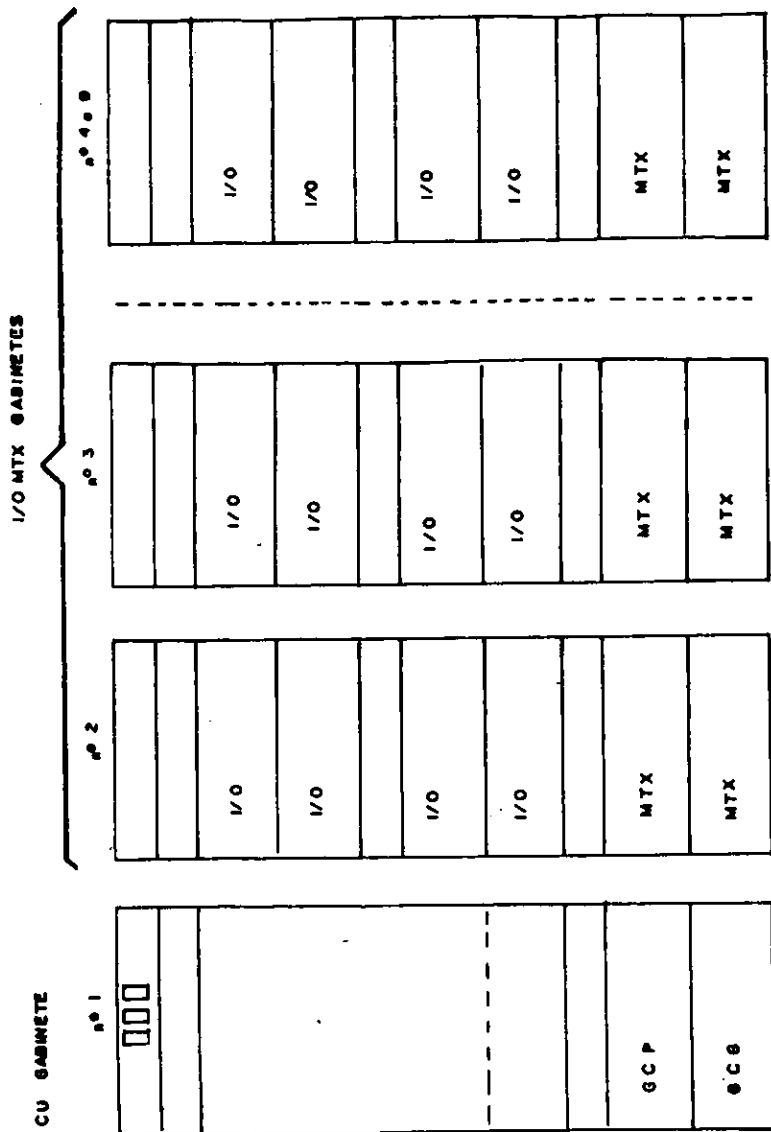
El 1644 SX realiza las siguientes funciones principales:

- Función de matriz con los módulos MTX.*
- Función entrada salida con los módulos I/O.*
- Función de sincronía módulo CCG.*
- Función control y supervisión GCP.*

- El módulo de matriz (MTX) realiza internamente la transconexión digital entre uno ó más puertos.
- El módulo entrada-salida I/O son los puertos de acceso para la conectividad de los puertos tanto de entrada como de salida.
- El módulo CCG suministra la señal de sincronía para la operación del equipo.
- El módulo GCP administra y supervisa todos los recursos de los módulos MTX, I/O y CCG.

La función de control es proporcionada por las tarjetas CPB, LPB y LCB; la función de sincronía es proporcionada por las tarjetas SYB, FCB, RCB y SCB.

El módulo CCG tiene tres puntos de acceso para sincronizar el equipo de manera externa ó 2 MHz (opcional). La fig. 4.18 muestra un diagrama a bloques del proceso.



DISPOCISION DE EQUIPO MECANICO

FIG. 4.17

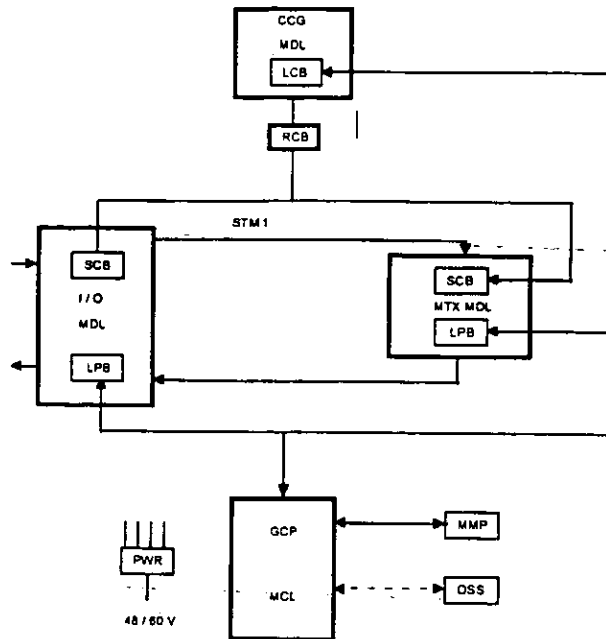


FIG. 4.18 DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROCESO

Los puertos se interconectan mediante circuitos bidireccionales o unidireccionales como se ve en la fig. 4.19.

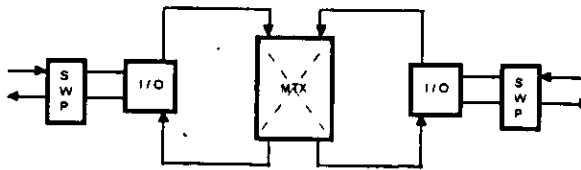


FIG. 4.19 CIRCUITOS BIDIRECCIONALES

La Fig. 4.20 muestra la función matriz formada por tres tipos de tarjetas AMB CMB EMB, que correspondan a los tres estados de la estructura clos y establecen las conexiones entre las funciones I/O.

La función I/O está compuesta por las tarjetas PB EPB IOB IPB, que pueden apreciarse en la fig. 4.21 Que muestra la estructura lógica de la matriz:

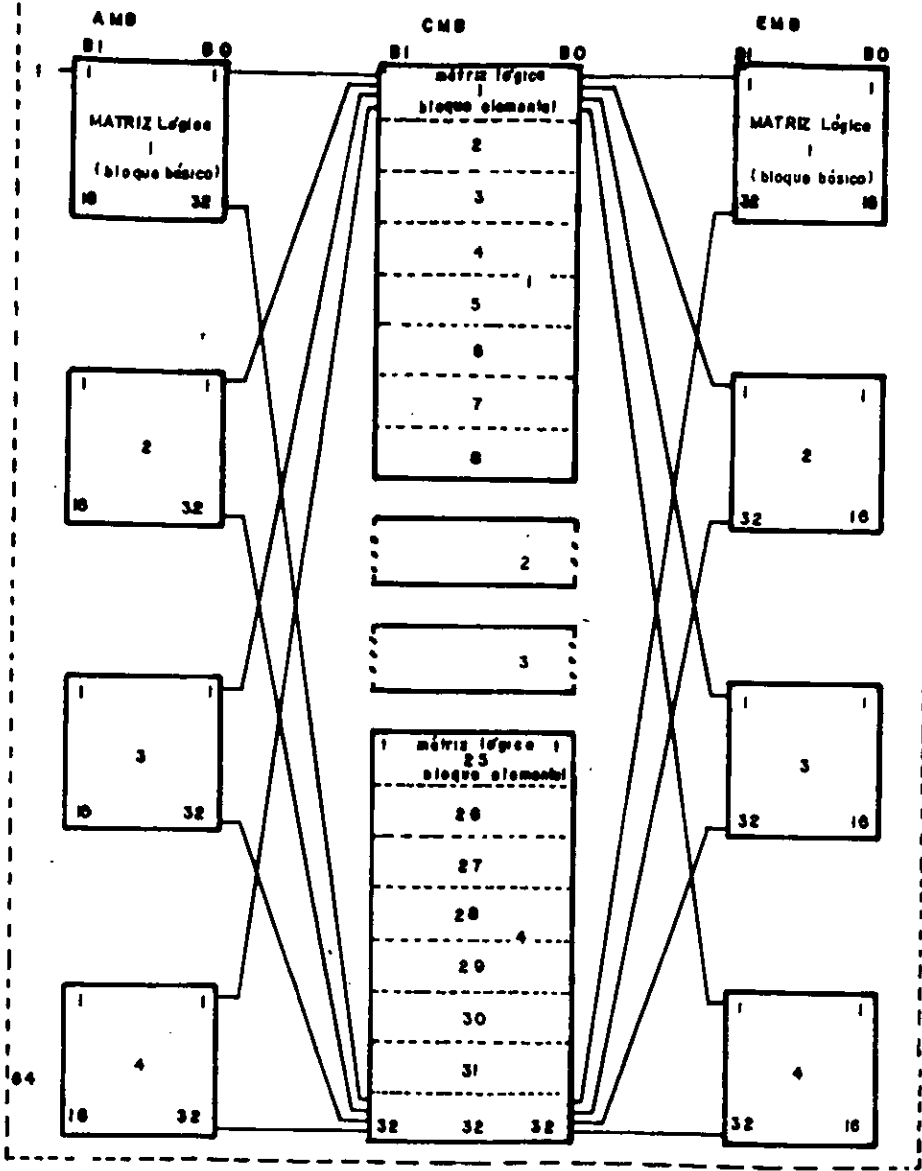
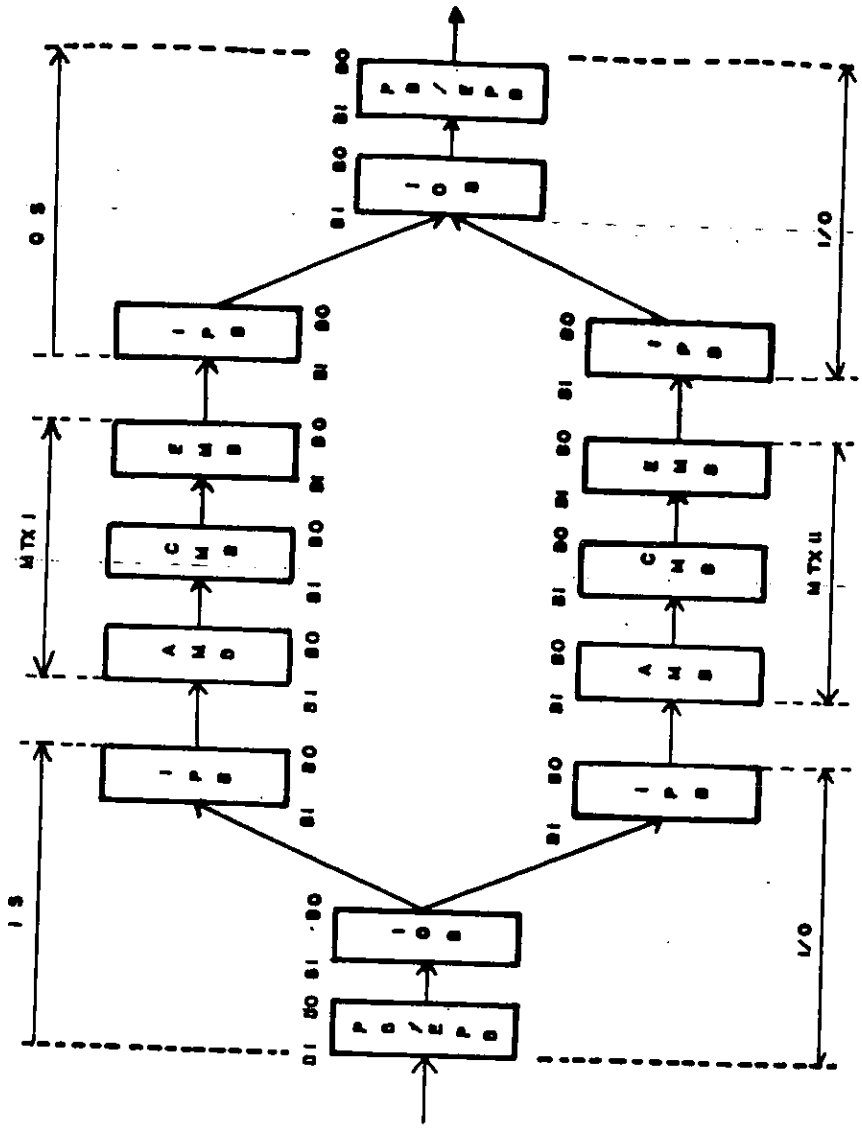


FIG. 4.20

MATRIZ 64x 64



fi Fig 4.21 SISTEMA DE ACCESO A LA TRANSMISION

( TRANSMISION UNIDIRECCIONAL )

la matriz usa 3 niveles A C y E en una estructura clos, con conmutación de division de espacio no bloqueable, como lo muestra la fig. 4.22

*Accesos a nivel A , reciben datos.*  
*Accesos a nivel E proporciona datos a salida.*

Para una matriz  $K \times K$  ( $K$  no. de puertos) los bloques básicos se ve en la siguiente tabla

$K$ =no. de puertos	64	128	256	512
$P$ = bloques basicos	4	8	16	32

Bloques Básicos P: están formados por matrices  $16 \times 32$  nivel A por matrices  $32 \times 16$  nivel E

El No. de accesos  $P/NIVEL/C$  es = 32

No. de bloques básicos 'P' depende del No. de puertos 'K'  $P= K/16$

El no. bloques elementales C es de 32 en forma independiente del no. de puertos, el bloque elemental se forma por una matriz variable "PxP".

El No. de accesos Entrada/ Salida del bloque C elemental es igual al No. de bloques básicos "P" a los que se conectan.

Las conexiones internas de la matriz permiten la distribución de una entrada a varias salidas, la fig. 4.23 muestra un diagrama de interconexión

La distribución se realiza desde las tarjetas EMB y CMB.

La distribución de la EMB debe realizarse hacia la repisa I/O conecta a la tarjeta.

La distribución a varias repisas debe realizarse desde una CMB. (no se realiza la distribución desde AMB por peligro de bloqueo).



MATRICES LONCAS

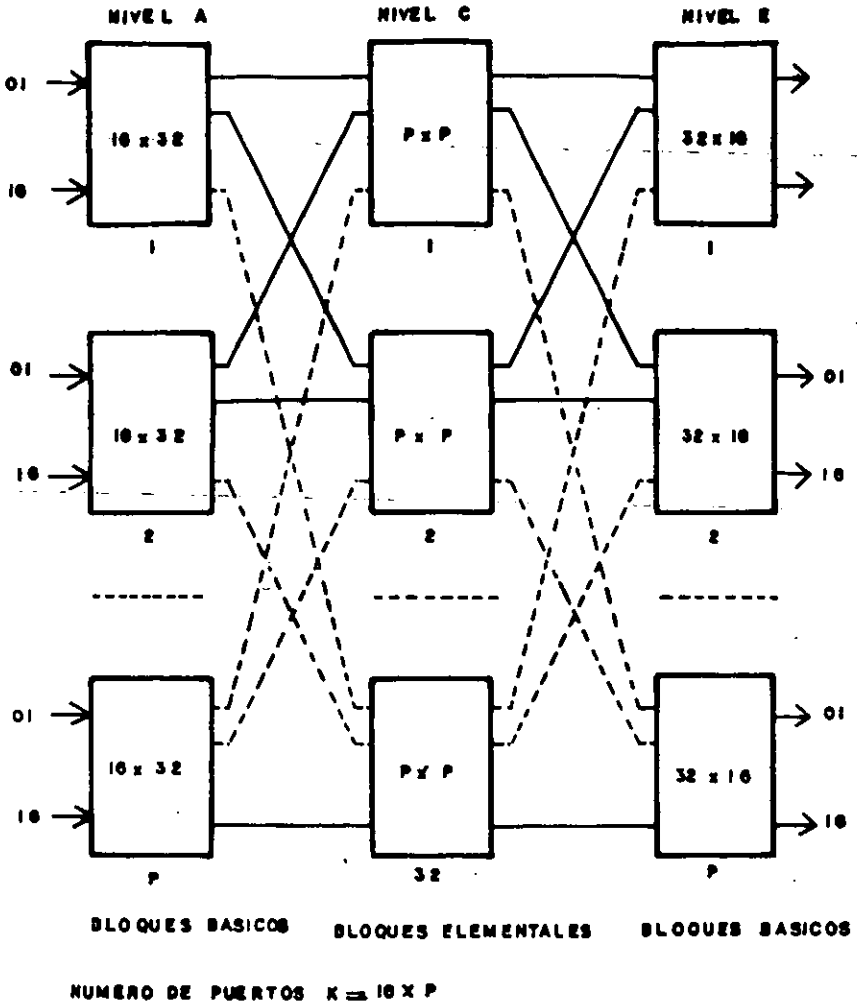


FIG. 4.22

DIAGRAMA DE BLOQUES EN MATRIZ

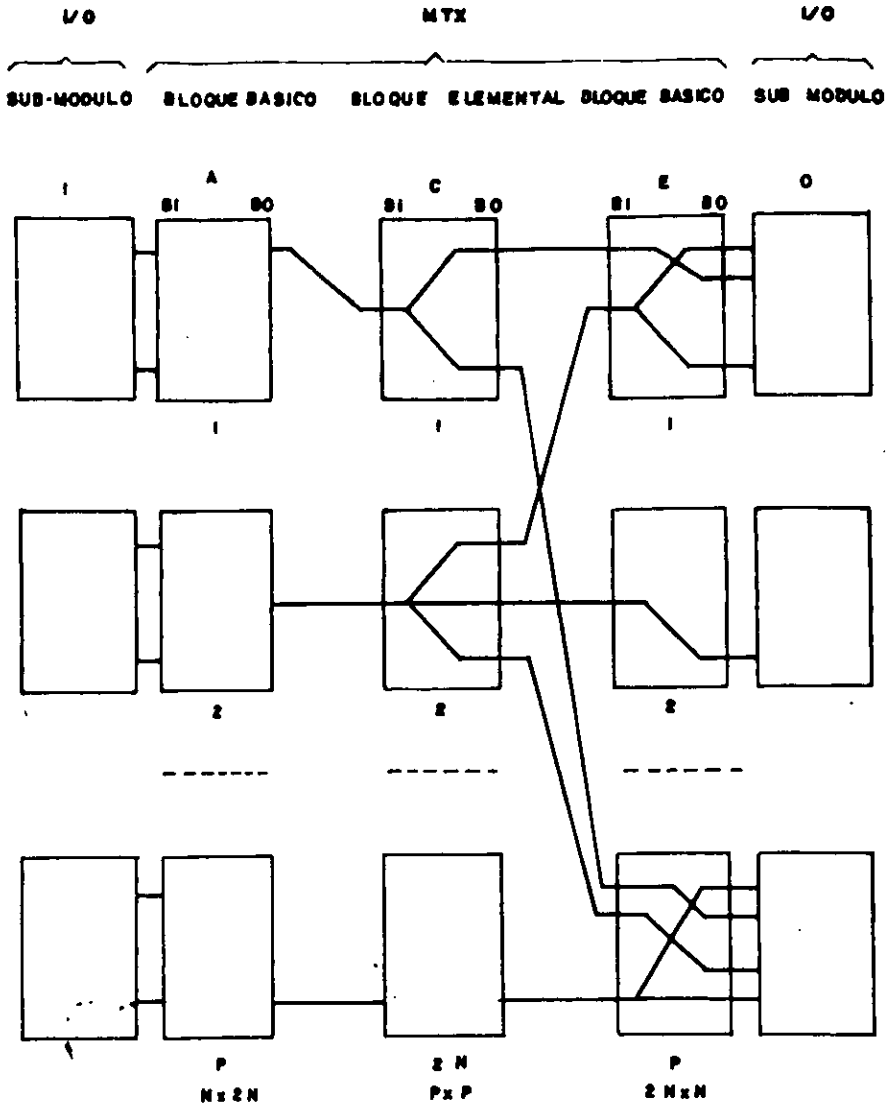


FIG. 4.23 DISTRIBUCION DE BLOQUES EN MATRIZ

La distribución de una entrada BI se limita a b salidas BO, la fig 4.24 muestra un diagrama de la función I/O

Cada tarjeta IPB AMB EMB y CMB está equipada con un detector y generador de señales pseudoaleatorias para checar los EXC5 no usados por los HXC's .

La continuidad de trayectos no usados con tráfico real.

Cada repisa o submódulos I/O (16 puertos) incluye las siguientes tarjetas

2 tarjetas EPB protección externa, c/u asociada con 8 cajas de protección PB.

8 Tarjetas I/O con 2 puertos (IOB)

1 PIOB tarjeta de protección IOB.

2 IPB tarjeta de protección interna, c/u asociada con 16 puertos.

Cada tarjeta IOB soporta 2 puertos que están numerados como "N y N+8".

Los puertos 01 a 08, de cada submódulo están asociadas con las tarjetas EPB, los puertos 09 al 16 de cada submódulo están asociados a las tarjetas EPB2.

Cada tarjeta IOB incluye 2 puertos, cada uno con 2 accesos que son BI de entrada ó BO de salida, cada puerto es bidireccional, si se usa un enlace unidireccional. Se usa un acceso sencillo y el otro se indispone.

La IPB1 conecta a los puertos con MTX1 y la tarjeta IPB2 con MTXII.

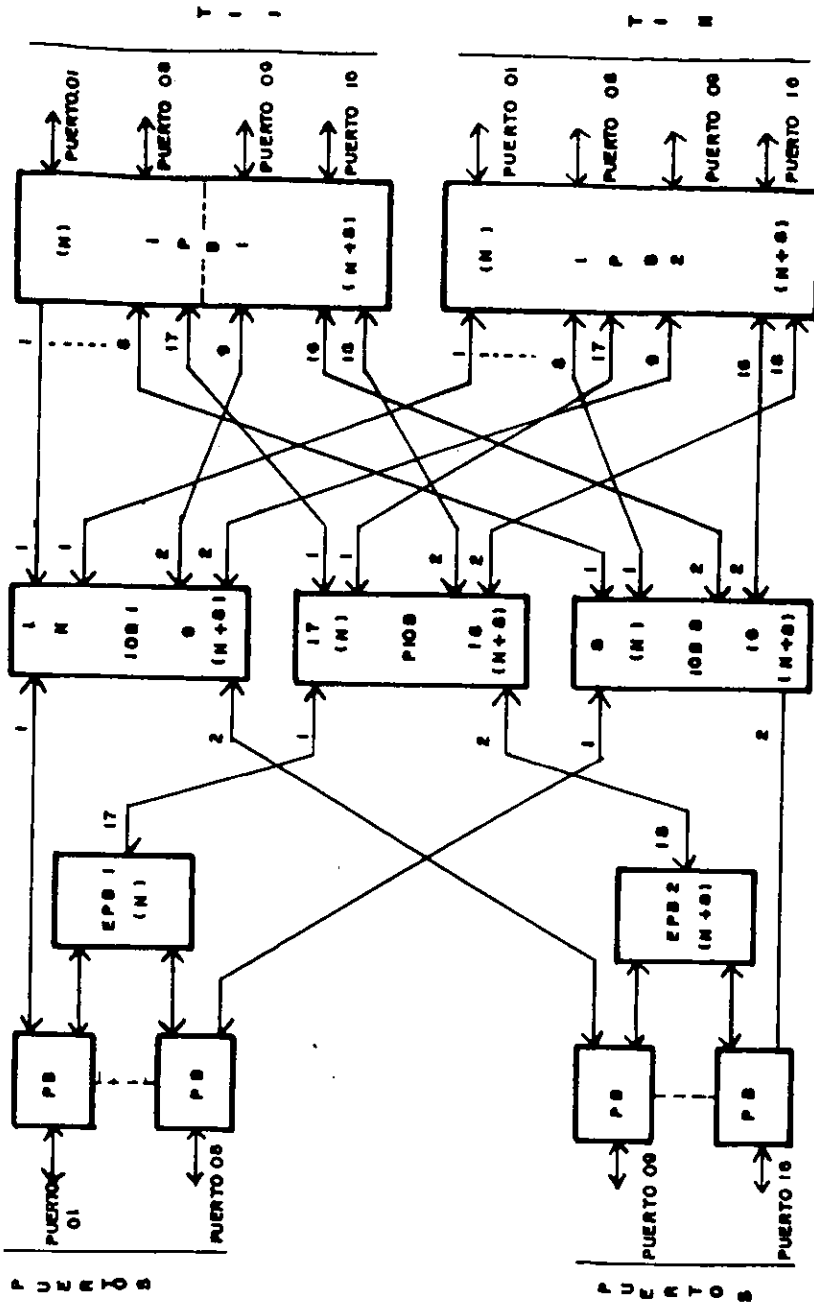


FIG. 4.24

DIAGRAMA DE BLOQUE EN FUNCIONAMIENTO I/O

## **CAPITULO 5 EQUIPO DE GESTION Y RESTAURACIÓN**

**Un sistema de Gestión:** es un sistema que proporciona gestión de trayectorias y protección automática de las mismas para una red de transporte con nodos de transconexión con equipo cross-connect.

Equipos de Gestión proporcionan una herramienta a nivel NML (Network Management Layer), que permite definir, aprovisionar y mantener trayectorias de alto orden de extremo a extremo. La aplicación gestiona trayectorias SDH así como PDH y soporta trayectorias unidireccionales, bidireccionales y de difusión.

El equipo de gestión proporciona protección automática de trayectorias. La trayectoria es monitoreada continuamente y al detectarse una falla, la aplicación es capaz de reenrutar el tráfico afectado a una ruta alterna que es aprovisionada en tiempo real.

El Equipo de Gestión opera de manera conjunta con el repartidor electrónico. Los equipos representados en los diagramas de restauración y gestión, en todo el capítulo son los equipos mencionados en el capítulo 4.

## **5.1 RESUMEN DE FUNCIONES DE EQUIPO DE GESTION 1354 RA**

Las características del equipo de gestión (1354 RA) se pueden resumir de la siguiente manera:

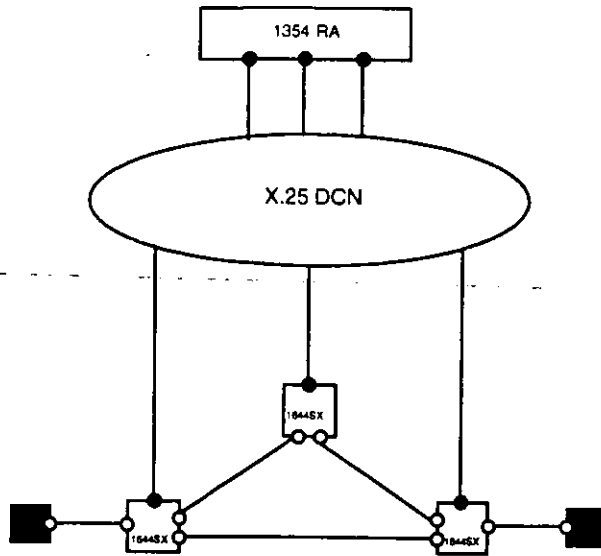
- \*Representación y construcción gráfica de la red.*
- \*Aprovisionamiento de trayectorias, trayectorias SDH y PDH, unidireccional, bidireccional y de difusión.*
- \*Activación de trayectoria programada.*

### **GESTIÓN DE FALLAS:**

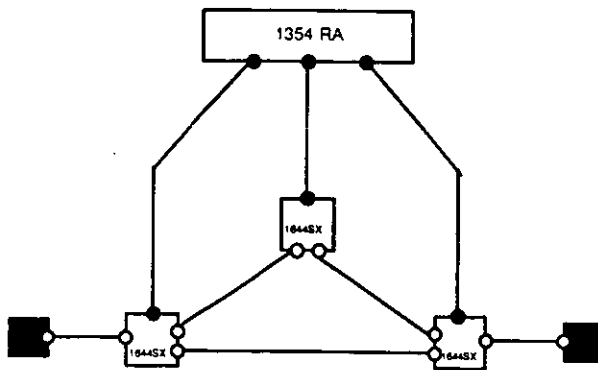
- \* Detección de alarmas, análisis, desplegado y registro en la bitácora.*
- \* Reenrutamiento automático de tráfico.*

### **GESTIÓN DE LA SEGURIDAD**

- \*Control de acceso de operador.*
- \* Bitácora de comandos de operador.*



a).- VISTA FÍSICA



b).- VISTA LÒGICA

FIG. 5. 1 ARQUITECTURA DE GESTIÓ GLOBAL

## **GESTIÓN DEL SISTEMA:**

*\*Afinación del sistema y parámetros, configurables por el operador.*

*\* Funciones para administración del sistema.*

### **5.2 CONFIGURACIÓN DE RED EQUIPO DE GESTIÓN 1354 RA Y CROSS CONNECT.**

El equipo de gestión 1354 RA se encuentra en comunicación permanente con cada repartidor electrónico de la red, como se muestra en la fig. 5.1.a. En general, los repartidores electrónicos envían avisos de alarma y eventos al equipo de gestión y éste emite comandos de configuración y consultas de estado.

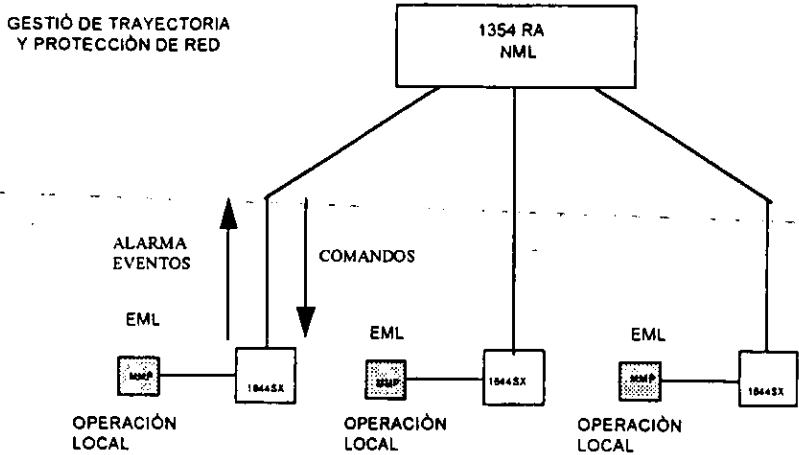
El protocolo de comunicación entre el equipo de gestión y el repartidor electrónico 1644 SX es un protocolo Q propiedad del proveedor, siendo la DCN (Data Communications Network) una red X25. Cada ER (Elemento de Red) se comunica con el OS (Operating system) a través de un enlace de control que puede duplicarse opcionalmente para lograr un máximo de disponibilidad de la conexión. La conexión física se ilustra en la fig. 5.1.b.

El equipo de gestión proporciona operaciones NML tales como la gestión de trayectoria y protección de red. Únicamente soporta un subconjunto reducido de funciones EML (Element Management Link), necesarias para las operaciones NML. Las funciones EML del 1644 SX son proporcionadas por la terminal local, que se denomina MMP (Main Machine Processor). La MMP proporciona acceso a todas las funciones de gestión 1644 SX. La fig. 5.2 ilustra las funciones de NML y EML con relación a la configuración global de la red.

### **5.3.- CONCEPTOS DEL EQUIPO DE GESTIÓN**

Como se mencionó anteriormente, el equipo de gestión proporciona la función de protección para una red de transporte con nodos de repartidor electrónico. Este capítulo explica cómo se modela y representa internamente una red en el equipo de gestión.





FIGS.2. ARQUITECTURA DE GESTIÓN GLOBAL

### 5.3.1 LA RED DE TRANSPORTE

Una red de transporte consiste de nodos y enlaces entre los nodos. Los nodos son equipo repartidor electrónico 4/4 y los enlaces son un medio de transmisión físico, típicamente sistemas de transmisión por fibra óptica. El equipo repartidor electrónico se denomina NE (Network Element) y los sistemas de transmisión se denominan cables. Se puede decir entonces, que la red real consiste de un número de NE interconectados por cables. La fig.5.3 muestra un ejemplo de una red real.

La red conduce señales SDH y PDH que son transportadas entre sus nodos de origen y destino. Las señales entran y salen de la red únicamente en los nodos de transconexión, de manera más precisa, una señal específica entra o sale de la red en un puerto de un repartidor electrónico. Un puerto, por lo tanto es un punto de terminación, normalmente tributarios de 140 a 155Mb. Una señal que conduce información de un punto de terminación a cualquier otro, se denomina "Trayectoria".

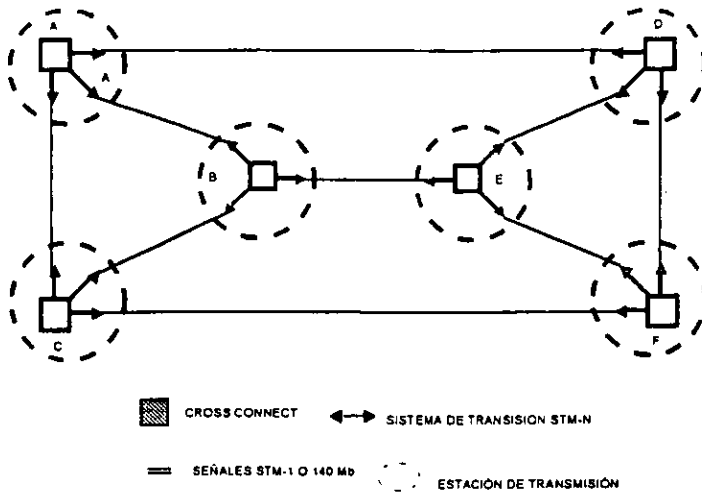


FIG. 5.3 RED DE TRANSPORTE

Una trayectoria puede atravesar varios nodos de red y desplazarse sobre varios cables. En cada nodo, se proporciona una transconexión en el NE permitiendo que la señal pase a través de éste y llegue a un cable nuevo.

El tráfico en la red esta protegido, lo que significa que en caso de una falla que ocasione un pérdida o degradación del tráfico, una nueva conexión entre los puntos de origen y terminación se activa automáticamente y el tráfico es reenrutado hasta ella. El reenrutamiento de tráfico es posible en una red mallada debido a que existen varias rutas que interconectan a los nodos de origen y destino, sin embargo hay que notar, que para contar con rutas alternas para protección, la red debe contar con alguna capacidad de reserva.

El equipo de gestión tiene dos vistas diferentes de la red real: **Vista Física** y **Vista Lógica**. Desde el punto de "Vista Física" de las rutas; el 1354 RA "ve" sistemas de transmisión (cables) que interconectan sitios geográficos.

En la mayoría de los casos los cables de las redes SDH conducirán señales STM-16 en las señales STM-1 o 140Mbps que se encuentran transconectadas por el ER. Esto significa que un cable puede conducir varias señales STM-1 (dieciseis, en el caso de STM-16) y en el caso de falla de un cable, más de una trayectoria se verá afectada. El conocimiento detallado de las rutas físicas de

los cables permite al EG (equipo de gestión) localizar y aislar la falla, así como reenrutar el tráfico sobre secciones de cable en buenas condiciones.

La red también es “vista” por el equipo de gestión desde la perspectiva de las subredes lógicas que se implantan sobre la red física. Una subred lógica agrupa un conjunto de recursos como puertos y enlaces individuales, que representan particiones lógicas de entidades físicas: NE y cables respectivamente. La característica principal de la subred, es que las trayectorias pueden definirse y protegerse (automaticamente). Por cada subred, el equipo de gestión mantiene descripciones de los puertos NE y de las conexiones individuales de puerto a puerto, a las que se les denomina enlaces individuales. Esto se conoce como el “modelo de red lógica”.

Para localizar una falla y ordenar el reenrutamiento de la trayectoria, el equipo de gestión relaciona la información que proporciona la vista de red lógica, puerto y estatus de enlace individual; con la información que proporciona la vista de red física, rutas de cables y sitios físicos: El mapeo entre los dos modelos se basa en la definición de “grupos de enlaces” (Link Connection Bundle) que son conjuntos de enlaces individuales físicamente relacionados, en donde cada uno está contenido en un cable específico.

### 5.3.2 LA VISTA FISICA DE LA RED.

El modelo de red física describe a la red desde el punto de vista de las rutas de cables y comprende las siguientes entidades:

- *Sitio*
- *Cable*
- *ER*

#### DEPARTAMENTO.

**Un sitio:** corresponde a un nodo de red y representa un lugar geográfico que puede contener un NE o ser, simplemente, un punto de terminación o de división de un cable.

**Un cable:** corresponde a un arco de red y representa un medio de transmisión físico que conecta a dos sitios.

**Un NE:** es un repartidor electrónico 1644 SX instalado en un sitio específico.

**Un departamento:** es una organización administrativa que está a cargo del ER así como de la operación y mantenimiento del cable.

La figura 5.4 ilustra la vista de la red física. Se puede observar que los sitios A al F contienen a los ER's, mientras que los sitios G y H son únicamente puntos de división de cables (en el sitio G, el cable CRS-9, se divide en los cables CERS-6 y CRS-10).

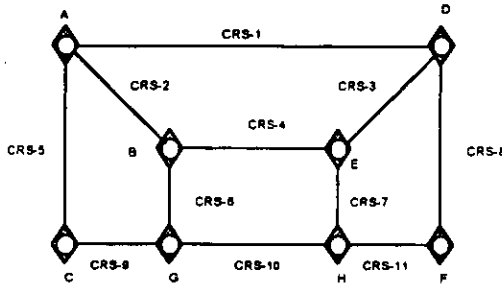


FIG. 5.4 VISTA FISICA DE LA RED

### 5.3.3 LA VISTA LÒGICA DE LA RED.

El modelo lògico describe la red desde el punto de vista de las subredes lògicas que se definen sobre la red física. Una subred lògica define un subconjunto coherente de recursos de red que son gestionados como una red independiente.

El concepto de subred lògica surge del hecho de que la red puede extenderse sobre varias "regiones". Por lo tanto, es posible dividir la capacidad de la red global para así proporcionar una subred por cada región individual y una subred que sea la "espina dorsal" que comunique las diferentes regiones.

La Fig. 5.5.a. ilustra una red para la que se identifican tres regiones diferentes, denominadas *Región 1*, *Región 2* y *Región 3*. Para cada una de estas regiones, se define una subred como se muestra en las figuras 5.5.c, 5.5.d y 5.5.e. Las tres regiones están interconectadas por medio de una subred "espina dorsal" como se muestra en 5.5.b.

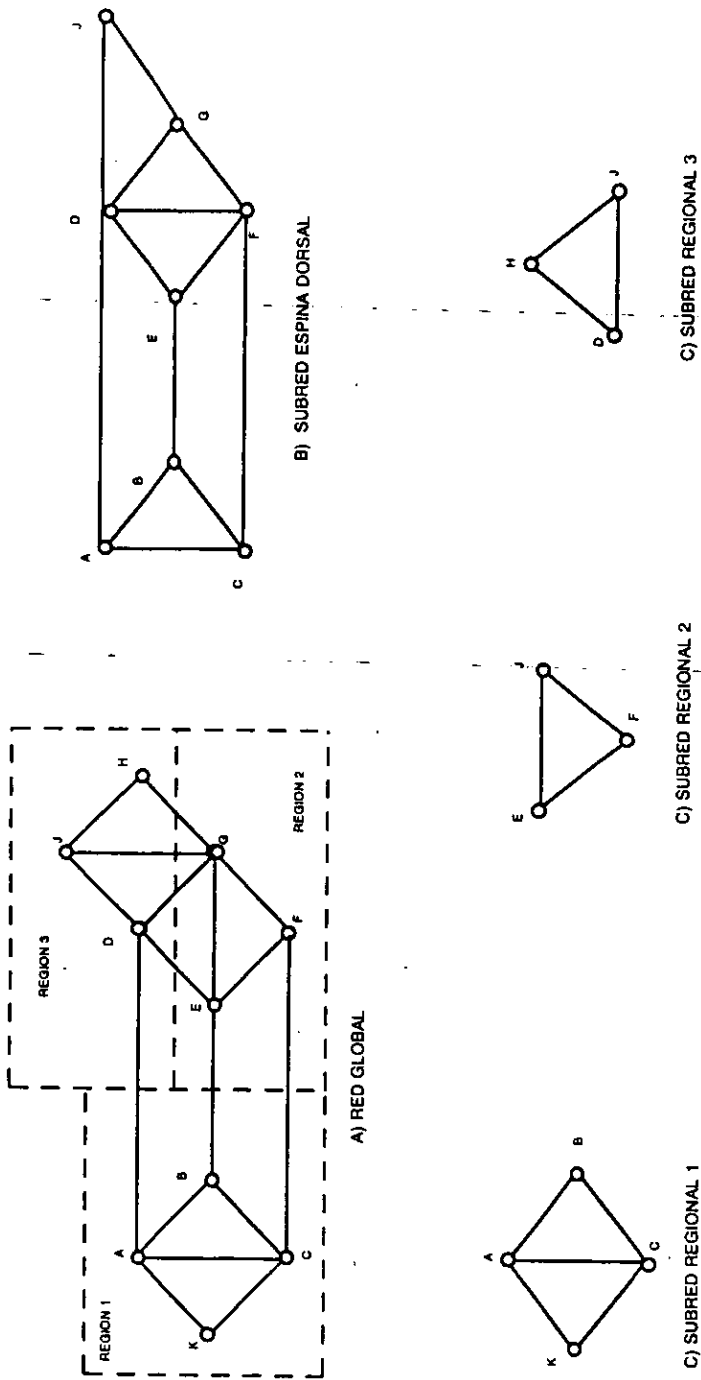


FIG. 5.5 DIVISION DE LA RED LÓGICA EN SUBREDES

## 5.4.- CONCEPTO DE SUBRED

A cada subred se asigna a una partición lógica de la capacidad total de la red. Esto significa que los cables y otros recursos físicos, se pueden compartir entre subredes. Un cable puede conducir algunas señales pertenecientes a una subred regional y algunas otras señales pertenecientes a la subred "espina dorsal" de la misma forma, algunos puertos del ER se pueden asignar a una subred regional y algunos otros a una subred "espina dorsal". El punto principal, es que cada subred es tratada por el equipo de gestión como una red independiente y totalmente operativa. Esto equivale a decir que una subred particular no tiene conocimiento de las otras subredes existentes.

### 5.4.1.- MODELO DE SUBRED

El modelo de subred comprende las siguientes entidades:

- Subred.*
- Puerto.*
- Enlace individual.*
- Grupo de enlaces.*
- Trayectoria.*

**La subred:** define una partición de la red global que puede por si sola ser tratada como una red completamente independiente.

**Un puerto:** es un punto del 1644 SX que está asociado con una señal SDH o con una PDH (Tributaria SDH o PDH).

**Un enlace individual** o *LC (link connection)*: es una conexión puerto a puerto entre dos ER's.

**Un grupo de enlaces** o *LCB (Link Connection bundle)*: es un conjunto de enlaces individuales que conducen el mismo tipo de señal y viajan por la misma ruta de cable.

**Una trayectoria:** es una señal que conduce tráfico desde un punto origen a uno o más puntos de destino, cada punto final de trayectoria es un puerto. Una trayectoria sigue una ruta a través de la subred y puede atravesar varios nodos.

En cada nodo, se proporciona una transconexión en el ER permitiendo que la señal pase a alcance un nuevo LCB.

Las entidades del modelo lógico y las relaciones entre ellas se resumen en la fig.5.6.A

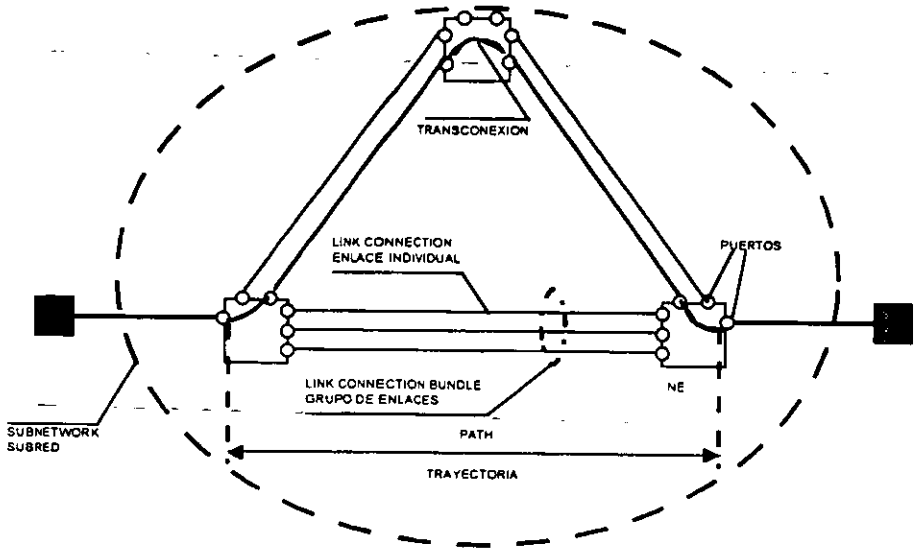
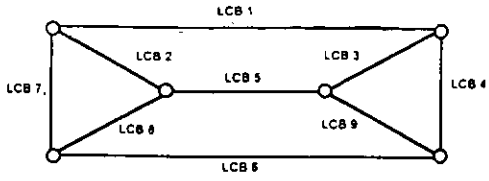


FIG. 5.6A MODELO DE SUBRED Y TRAYECTORIA DE ALTO ORDEN

Los arcos de la red corresponden a grupos de enlaces. La fig 5.6 B muestra que sólo una red ha sido definida para toda la red física. También puede observarse que el grupo de enlaces LCB-8 atraviesa dos cables, CRS-9 y CRS-6 y que el grupo de enlaces LCB-6 atraviesa a tres cables, CRS-9, CRS-10 y CRS-11.

#### 5.4.2.- REGLAS PARA LA DEFINICIÓN DE SUBREDES.

El modelo permite dividir la red global en una subred “espina dorsal” o nacional y un número variable de subredes regionales. Si la red global se va a tratar como una sola, entonces la red individual sólo define una subred



○ NE CROSS CONNECT  
REPARTIDOR ELECTRONICO

LCB: LINK CONNECTION BUNDLE  
GRUPO DE ENLACES

FIG. 5.5B MODELO LÓGICO DE LA RED

Un ER puede compartirse entre la red nacional y sólo una subred regional. Un ER no puede compartirse entre dos subredes regionales.

Un puerto pertenece sólo a una subred. La fig 5.7 ilustra un ER que es compartido entre la subred nacional y una subred regional. Nótese que los puertos que pertenecen a la subred nacional no son vistos por la regional y esta última no es vista por la anterior y viceversa.

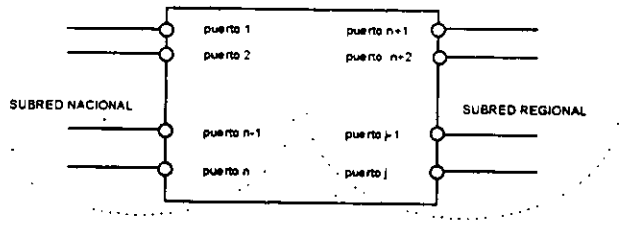


FIG. 5.7 PARTICIÓN LOGICA EN UN ELEMENTO DE RED

Los LCB's también pertenecen sólo a una subred y lo mismo se aplica a los LCS's (no pueden ser compartidos por dos o más subredes).

Una trayectoria también pertenece a una subred y consecuentemente, debe construirse con enlaces individuales que pertenezcan a la misma subred.



### 5.4.3. RELACIÓN ENTRE "GRUPO DE ENLACES" Y CABLES.

La figura 5.8 muestra un ejemplo de dos que están interconectados por dos cables diferentes. En este caso, por lo menos se tienen que definir dos LCB's diferentes, uno por cada cable.

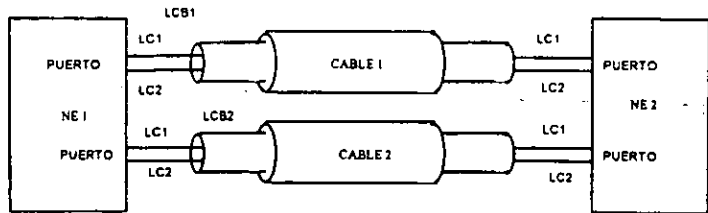


FIG. 5.8 INTERCONEXIÓN DE 2 NE

La siguiente figura 5.9 ilustra el caso en el que dos NE están interconectados por sólo un cable pero algunos enlaces individuales transportan señales SDH y algunos otros enlaces individuales transportan señales PDH. En este caso, por lo menos dos LCB's deben definirse debido a que un LCB no puede mezclar ambos tipos de señal.

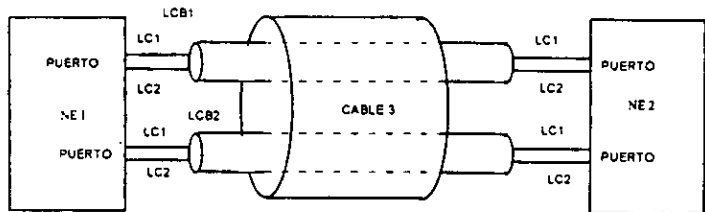


FIG 5.9 INTERCONEXIÓN DE 2 NE CON UN CABLE

### 5.5 ESTRATEGIA DE RESTAURACIÓN DE TRAYECTORIA.

Esta sección describe la estrategia utilizada en la restauración de trayectorias involucradas en una falla de la red de transporte.

La estrategia considerada se basa en el concepto de reenrutamiento de trayectoria, que es el procedimiento mediante el cual una trayectoria de trabajo afectada por una falla, es asignada a una nueva ruta no dañada de la red; la ruta nueva se denomina ruta de protección, como se muestra en la fig. 5.10

La ruta de protección se selecciona en cuanto a su tiempo de corrimiento con base en el estatus actual de la red; la conmutación automática a una ruta de protección es posible explotando las capacidades de reconfiguración del repartidor electrónico 4/4. La ruta de protección permanece asignada hasta que la falla de la red haya sido corregida. A continuación se introducen conceptos que se utilizan en este contexto:

- *Capacidad de red de trabajo y de reserva.*
- *Alarmas de red.*
- *Prioridad de trayectoria.*
- *Mecanismo de intervención de trayectoria.*

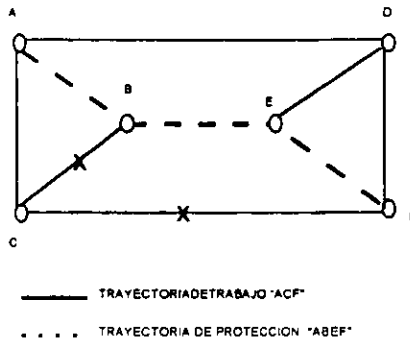


FIG 5. 10 RESTAURACIÓN BASADA EN REENRUTAMIENTO DE TRAYECTORIA

## 5.6 CAPACIDAD DE RED DE TRABAJO Y DE RESERVA

Dentro del alcance de la función de restauración de trayectoria, la capacidad de red "espina dorsal" se considera como dividida en dos partes:

- *capacidad de trabajo*
- *capacidad de reserva*

Las dos capacidades de red están separadas lógicamente, es decir, que pueden compartir el mismo medio de transmisión físico.

La capacidad de la red de trabajo está compuesta de todos los enlaces individuales y el nodo TPS utilizado para conducir la demanda de tráfico bajo condiciones operativas normales. Su forma y dimensión surgen como resultado

del enrutamiento de todas las demandas de tráfico (consultar la sección 9 sobre la definición de la capacidad de la red de trabajo) de las trayectorias (que a su vez son denominadas trayectorias de trabajo).

La capacidad de la red de reserva se compone de la parte restante de la red, es decir, esta compuesta de todos los recursos de red (enlaces individuales y nodo TPS) no utilizados por las trayectorias de trabajo. Los recursos de reserva son principalmente para efectos de protección; no están dedicados a una trayectoria de trabajo individual (como en los esquemas de protección tradicional 1+1 o 1+M), pero están disponibles para la protección de cada trayectoria que pueda necesitarlos. Los recursos de reserva pueden alguna vez ser utilizados para otros efectos tales como prueba o mantenimiento.

La fig. 5.11 muestra trayectorias de trabajo y de reserva en una red dada.

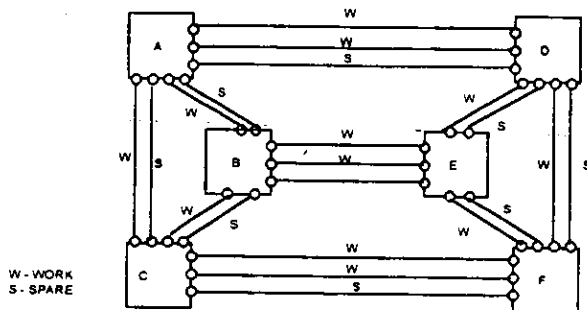


FIG. 5.11 CAPACIDAD DE RED DE TRABAJO Y DE RESERVA

## 5.7 ALARMAS DE RED.

Un requisito muy importante para la restauración de la trayectoria es la capacidad de detectar y localizar precisa y rápidamente una falla ocurrida en la red. De hecho únicamente cuando una falla ha sido detectada e identificada, se puede buscar una ruta de protección para una trayectoria afectada. Para realizar esto, es necesario que el EG reciba los mensajes de alarma de la red en caso de fallas.

La lista de las alarma enviadas por el 1644 SX al 1354 RA es la siguiente:

Para el puerto 140Mbit/sPDH

TABLA 5.1 ALARMAS PARA 140 MB

ETIQUETA	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
LOS	LOSS OF SIGNAL	1
LOF (I)	LOSS OF FRAME ALIGNMENT	1
AIS (I)	AIS	2
BER	EXCEEDED BER	1
IIOB	INACCESSIBILITY DUE THE BOARD STATUS	4
IMOD	INACCESSIBILITY DUE THE MODULE STATUS	4
UNAV	UNAVAILABILITY	5
UTQ	UNACCEPTABLE TRANSMISSION QUQLITY	6
DTQ	DEGRADED TRANSMISSION QUQLITY	7
SECU	SECURIZATION REQUESTED FOR THIS PORT	5
RALM (I)	REMOTE ALARM (ON INPUT)	8
RAM (O)	REMOTE ALARM (ON OUTPUT)	5
AIS (O)	AIS (ON OUTPUT)	9
LOF (O)	LOSS OF FRAME (ON OUTPUT)	9

TABLA 5. ALARMAS PARA STM-1SDH

ETIQUETA	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIÓN
LOS	LOSS OF SIGNAL	1
LOF	LOSS OF FRAME ALIGNMENT	1
LOP	LOSS OF POINTER	1
MS_AIS	SETION AIS	1
BER	EXCEEDED BER	1
WJ1	J1 MISMATCH	3
IIOB	INACCESSIBILITY DUE THE BOARD STATUS	4
IMOD	INACCESSIBILITY DUE THE MODULE STATUS	4
UNAV	UNAVAILABILITY	5
UTQ	UNACCEPTABLE TRANSMISSION QUQLITY	6
DTQ	DEGRADED TRANSMISSION QUQLITY	7
SECU	SECURIZATION REQUESTED FOR THIS PORT	5
FERF	FAR EN FAILURE (SECTION)	1

## OBSERVACIONES.

- 1).- Si la alarma es señalizada por un puerto "red-espina dorsal", identifica al LC defectuoso. En este caso, si se relaciona con una dirección significativa de una trayectoria, la trayectoria en sí misma se declara defectuosa y el 1354 RA intenta restaurarla. El LC es declarado defectuoso. Si la alarma es señalizada por un puerto de acceso que es relevante para una dirección de trayectoria significativa, entonces la trayectoria es declarada defectuosa pero no se da lugar a ninguna acción de restauración.
- 2).- Si la alarma es señalizada por un puerto "red-espina dorsal" y es relevante para una dirección significativa de una trayectoria, la trayectoria es declarada defectuosa y la alarma se utiliza para localizar la falla en la trayectoria; si la alarma no esta relacionada con una dirección significativa de la trayectoria, entonces el LC asociado se declara defectuoso. Si la alarma es señalizada por un puerto de acceso y es importante para una dirección significativa de la trayectoria, la trayectoria es declarada defectuosa pero no se inicia ninguna acción de restauración.
- 3).- La alarma es señalizada pero no activa ningún intento de restauración.
- 4).- No gestionada.
- 5).- Alarma que indica degradación de calidad de señal por un periodo específico.
- 6).- La alarma es registrada y señalizada pero no se realiza acción alguna de restauración.
- 7).- Esta alarma es detectada por un puerto PDH que recibe la señal a través de la matriz del puerto SDH. Indica una alarma dentro del VC-4 mientras que la señal STM-1 en sí misma puede estar sin alarmas. La trayectoria afectada se declara no-recuperable y las alarmas PDH adicionales relacionadas con la trayectoria no se consideran.
- 8).- La alarma es registrada y señalizada , pero no se realiza acción alguna
- 9).- Esta alarma es detectada por un puerto PDH que recibe la señal a travez de la matriz del puerto SDH. Indica una alarma dentro del VC-4 mientras que la señal STM-1 en si misma puede estar sin alarmas. La trayectoria afectada se

declara no recuperable y las alarmas PDH adicionales relacionadas con la trayectoria no se consideran.

## **5.8 PRIORIDAD DE TRAYECTORIA**

Los niveles de prioridad (1.M) pueden ser definidos por las demandas de tráfico que son conducidas por las trayectorias; el número M de niveles de prioridad es un parámetro de sistema definido en la instalación. La prioridad de las demandas de tráfico se utiliza en el enrutamiento inicial de la red. las demandas de tráfico de prioridad más altas son reenrutadas primero para asegurar las trayectorias más cortas y de mejor calidad.

Las trayectorias heredan el mismo nivel de prioridad de la demanda de tráfico que fluye por ellas. La prioridad de trayectoria se utiliza en el proceso de restauración donde las trayectorias de prioridad más altas afectadas por una falla son restauradas primero. Esto es para asegurar la más alta probabilidad de restauración. Por esta razón, se mantienen la filas M de las trayectorias a ser reenrutadas una por cada nivel de prioridad.

### **5.8.1 MECANISMO DE PRIORIDAD DE TRAYECTORIA.**

Un mecanismo de intervención es implementado para proporcionar una capacidad de protección adicional a trayectorias de prioridad más altas; en el caso de una trayectoria de prioridad "1" que no pudo encontrar una ruta de protección en la capacidad de la red de reserva, el algoritmo de reenrutamiento permite intervenir los recursos de trabajo de las trayectorias de prioridad más baja hasta la prioridad de nivel 1+1. Algunas trayectorias de trabajo de baja prioridad son puestas en servicio en este caso; serán asignadas a su respectiva fila a ser reenrutada junto con las otras trayectorias de la misma prioridad y que fueron involucradas en la falla, si las hay.

### **5.8.2 TRAYECTORIAS PDH Y SDH**

Una trayectoria SDH siempre es reenrutada a otra ruta SDH, es decir, a una ruta en la cual todos los recursos de trayectoria de protección son SDH. Si no existe ruta alterna SDH que utilice únicamente recursos libres, entonces puede intervenir una trayectoria SDH de prioridad más baja.

Una trayectoria PDH puede reenrutarse a una ruta de protección que consista de recursos PDH y SDH. Primero el equipo de gestión busca una ruta alterna

que consista únicamente de recursos libres PDH, si no la encuentra, entonces busca una ruta que contenga recursos PDH y SDH, siempre y cuando estén todas libres. Únicamente si no se puede construir ninguna trayectoria con recursos libres, se puede intervenir una trayectoria con prioridad más baja (y ambos tipos de recursos se pueden utilizar).

### 5.8.3 RESTAURACIÓN

La estrategia de restauración de trayectoria se basa en el reenrutamiento de extremo a extremo de la trayectoria con falla; el reenrutamiento se realiza en una ruta alterna obteniendo recursos de protección de la capacidad de red de reserva en donde se necesite; los enlaces individuales no dañados y los nodos TPS de la trayectoria original, pueden reutilizarse para construir la trayectoria de protección. No están disponibles para proteger otras trayectorias de prioridad más baja.

Por cada trayectoria involucrada en una falla, la búsqueda de una ruta de protección adecuada se realiza consultando una tabla precomputada de rutas de protección genérica, que conectan a los mismos nodos de origen/destino con la falla computada. Esta tabla es única para la red, es decir, es válida para todas las trayectorias. Una trayectoria de protección es adecuada si se encuentra disponible y puede asegurar un nivel de calidad de transmisión suficiente. Los recursos de trayectoria de trabajo de prioridad más alta si no existen recursos de reserva suficientes en la red ( mecanismo de intervención).

Únicamente cuando no se detecta alguna trayectoria de protección disponible en esta tabla, el 1354 RA inicia una búsqueda en tiempo real de una protección adecuada. En la sección 7 se proporcionan detalles acerca de la tabla de rutas alternas precalculadas y del algoritmo de reenrutamiento.

### 5.8.4 RECUPERACIÓN DE TRAYECTORIA.

La recuperación de trayectoria es un conjunto de acciones que realiza el equipo de gestión cuando la falla de la red ha sido eliminada, el objetivo de estas acciones es el de retomar las trayectorias protegidas a sus rutas de trabajo originales. En otras palabras, la recuperación de trayectoria libera los recursos de protección utilizados y retorna a la red a su configuración original.

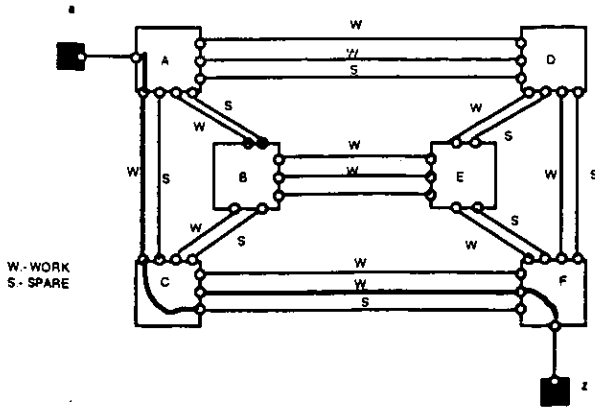


FIG. 5.12 TRAYECTORIA DE TRABAJO

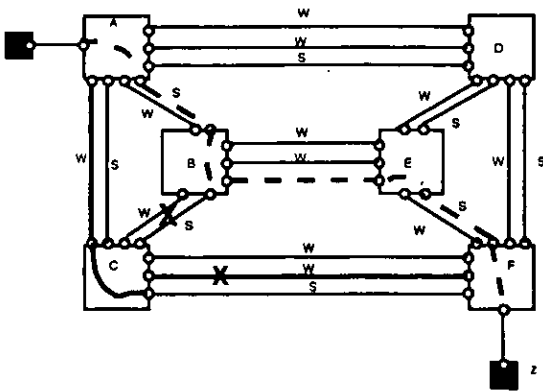


FIG. 5.13 TRAYECTORIA CON REENRUTAMIENTO

RA6



Por tanto, se requiere que todas las trayectorias de trabajo que fueron enrutadas en una trayectoria de protección, retornen a su ruta de trabajo original después de que la falla de la red haya sido corregida. Esto sólo puede realizarse si todos los recursos originales de una trayectoria afectada se preservan, también si no fueron utilizadas en la trayectoria de protección seleccionada.

El procedimiento de recuperación de trayectoria es iniciado por el operador del 1354 RA. También es posible programar la actividad de recuperación automática a una cierta fecha y hora.

## **5.9 PROCESO / ALGORITMO DE RESTAURACIÓN DE TRAYECTORIA**

En esta sección el proceso de restauración de trayectorias y sus algoritmos relacionados se describen con mayor detalle.

La restauración puede dividirse en los siguientes 5 pasos sucesivos:

- 1).- Recopilación de Alarmas.*
- 2).- Localización de Fallas.*
- 3).- Selección/Búsqueda de ruta de Protección.*
- 4).- Implementación de Ruta de Protección.*
- 5).- Validación de Ruta de Protección.*

### **5.9.1 RECOPIACIÓN DE ALARMAS**

La Recopilación de Alarmas es el primer paso del proceso de restauración de trayectoria; inicia en cuanto el EG recibe un mensaje de alarma de la red. El objetivo de este paso es recolectar los mensajes de alarma que entran e identificar las trayectorias de trabajo afectadas.

Si la alarma se relaciona con un enlace individual que actualmente no conduce una trayectoria de trabajo, el enlace individual es declarado como fuera de servicio y concluye el proceso de restauración.

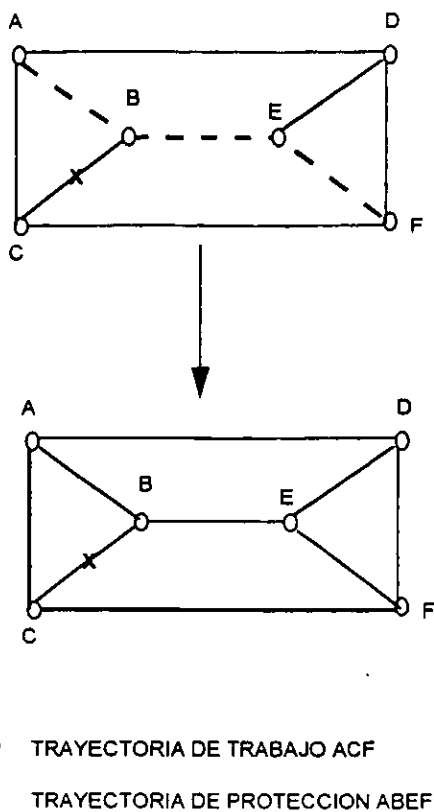


FIG. 5.14 RECUPERACIÓN DE TRAYECTORIA

Si la alarma afecta un puerto que no es parte de un enlace individual, la alarma es registrada; mas no se inicia acción alguna y termina el proceso de restauración.

Si la alarma recibida se relaciona con una trayectoria de trabajo ésta es marcada como alarmada y con dos tiempos fuera (  $T_1$  y  $T_2$  ). Los valores  $T_1$  y  $T_2$  son parámetros del sistema global.  $T_1$  es un periodo de tiempo en el que el 1354 RA recolecta mensajes de alarma que vienen de la red. Esto es necesario para contar con la información suficiente para localizar la falla. El  $T_2$  será descrito posteriormente. También en este paso, todas las trayectorias involucradas son identificadas y ordenadas por prioridad.

## 5.9.2 LOCALIZACIÓN DE FALLA.

Cuando el tiempo T1 expira, se inicia la localización de falla. Los mensajes de alarma que aún están llegando son registrados pero no son utilizados en el paso de localización de falla; esto significa que si los mensajes de alarma nuevos afectan otras trayectorias, éstas serán tomadas en cuenta solo al final de la actividad de restauración actual. El parámetro T1 representa un compromiso entre la necesidad de un inicio temprano de la actividad de restauración y la necesidad de esperar un número suficiente de mensajes de alarma que sean capaces de localizar con precisión la falla.

Los enlaces individuales con falla son identificados examinando los mensajes de alarma recibidos, donde la información no fue suficiente para identificar con precisión el enlace individual con falla, también otros enlaces individuales de los que se sospeche pueden ser declarados como no habilitados adoptando la política del peor caso.

Para otras fallas ( por ejemplo, puertos) la localización es inmediata mediante mensajes de alarma importantes; sin embargo, debido a que la trayectoria podría estar operando aún en la presencia de una falla de puerto, no iniciará automáticamente la reconfiguración de la trayectoria, hasta que arriben alarmas de red subsecuentes relacionadas con la trayectoria al 1354 RA. Se realiza una excepción a esta política si el puerto es el último puerto "red" de una trayectoria de trabajo unidireccional. Esto es de hecho el único caso en el que ningún otro mensaje de alarma ayudará al sistema a comprender si la señal ha sido suministrada correctamente a su usuario o no. Otra excepción se realiza cuando el puerto alarmado es el puerto destino de la trayectoria, en este caso la trayectoria esta marcada como alarmada y declarada como no restaurable debido a que no se pudo realizar acción alguna para restaurarla.

## 5.9.3 SELECCIÓN/BUSQUEDA DE TRAYECTORIA DE PROTECCIÓN

La selección se inicia una vez que la falla ha sido localizada en la red. El objetivo es encontrar una ruta de protección en la red para cada una de las trayectorias de trabajo afectadas.

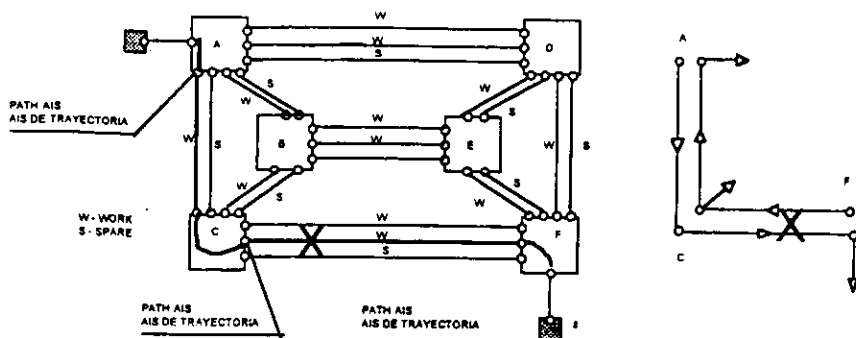


FIG 5.15 MENSAJE DE ALARMA GENERADOS PÓR UNA FALLA BIDIRECCIONAL EN UNA TRAYECTORIA

La lista de trayectorias involucradas en la falla ya ha sido ordenada por prioridad. Se procesa una trayectoria a la vez, para cada una de ellas, se busca una ruta de protección utilizando el algoritmo de restauración descrito en las siguientes secciones.

### 5.9.4 ALGORITMO DE RESTAURACIÓN

El algoritmo de restauración se divide en dos partes:

**PARTE 1:** En la que una tabla de rutas genéricas precalculadas, utilizable potencialmente para la protección, es accesada y se extrae una ruta de protección adecuada, si la hay.

**PARTE 2 :** En la que la ruta de protección adecuada se busca dinámicamente ejecutando al algoritmo Dijkstra.

### 5.9.5 SELECCION DE TRAYECTORIA DE PROTECCIÓN DE LA TABLA DE RUTA PRECOMPUTADA.

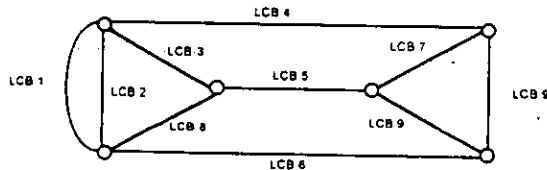
Para una trayectoria con falla a ser restaurada, la tabla precalculada de rutas es accesada y se extraen los grupos de rutas con los mismos nodos de origen y destino que las trayectorias con falla. Este grupo de rutas de protección posibles se compone de diferentes rutas K computadas fuera de línea y basadas en la topología de la red de transporte. Las rutas son especificadas en términos

de nodos y grupo de enlaces entre ellos. La descripción de la tabla de rutas precalculadas y su modalidad de construcción se describen posteriormente en esta misma sección.

El siguiente procedimiento de selección de trayectoria de protección se aplica entre las diferentes rutas K con el mismo origen y destino de la trayectoria a restaurar, la ruta mínima que conciernen por lo menos una ruta de protección no dañada se selecciona así como la trayectoria de protección contenida para la restauración de la trayectoria afectada.

### 5.9.6 CONSTRUCCION DE TABLA DE RUTA PRECALCULADA.

La tabla es construida fuera de línea, calculando un K número de rutas por cada par de nodos de la red; los pares se consideran solo una vez (ejemplo, el conjunto de rutas K de los nodos de origen/destino A,B; es el mismo que el de B,A).



ORIGEN-DEST	RUTAS PRECALCULADAS
A - B	A LCB3 B
	A LCB2 C LCB10 B
	A LCB4 D LCB7 E LCB9 B
	A LCB1 C LCB6 F LCB8 E LCB5 B
A - C	A LCB1 C
	A LCB2 C
	A LCB3 B LCB10 C
	A LCB4 D LCB9 F LCB6 C
A - F	A LCB2 C LCB6 F
	A LCB4 D LCB9 F
	A LCB3 B LCB5 E LCB8 F
	A LCB0 D LCB7 E LCB8 F

FIG. 5.16 EJEMPLO DE RUTA PRECALCULADA

El computo de las rutas  $K$  se realiza en la topología de la red con una limitante en la longitud máxima de la ruta; esta limitante es un parámetro fijado por el operador del sistema, cada vez que la tabla es construida o modificada.

La tabla de rutas precalculadas debe calcularse cada vez que sucede un modificación en la topología de la red ( ejemplo inserción de un nodo, nuevos enlaces individuales nuevos cables, etc.). Un mensaje de advertencia del sistema le avisa al operadeor cuando la tabla ya no está actualizada y sugiere un recomputo. No se proporciona recomputo automático de la tabla.

Si para un par de nodos dadod no es posible encontrar  $K$  rutas diferentes, unicamente se consideran las rutas diferentes y existentes. El criterio de selección de ruta es el siguiente (para cualquier par de nodos  $A,B$ ):

- 1).- *Tratatr de encontrar las rutas  $K$  disjuntas entre  $A$  y  $B$ .*
- 2).- *Si únicamente se encontraron rutas  $M > K$ , entonces se debe tratar de encontrar otras  $k$  "distinct" "distintas" entre  $A$  y  $B$ .*
- 3).- *Almacenar en la tabla las primeras rutas disjuntas  $M$  ( si las hay).*
- 4).- *Almacenar en la tabla las rutas diferentes  $K-M$  seleccionadas con base en el menor costo y que sean diferentes a las ya almacenadas.*

A dos rutas se les denomina **disjuntas** si no comparte ningun grupo de enlaces A dos rutas e les denomina **distinct** (distintas) si son diferentes en por lo menos un grupo de enlaces

## 5.9.7 PARTE 2. SELECCIÓN DE RUTA DE PROTECCIÓN UTILI - ZANDO EL ALGORITMO DIJKSTRA

Quando definitivamente no se encuentran rutas disponibles ya adecuadas en la tabla de rutas precalculadas, se realiza un último intento para encontrar una ruta de protección corriendo el algoritmo Dijkstra haciendo caso omiso de cualquier limitante a la longitud máxima de la trayectoria.

El algoritmo se corre con el BER como parámetro de costo; esto significa que el algoritmo proporcionará la mejor trayectoria de BER de la red entre los nodos dados de origen y destino. El algoritmo Dijkstra puede invocarse varias veces incrementando cada vez el conjunto de recurseos disponibles ( ejemplo, red de reserva unicamente la primera vez, red de reserva más los enlaces

individuales degradados la segunda vez, etc) hasta que se detecte una ruta con un nivel de calidad de transmisión suficiente o no se pueda añadir ningún otro recurso de red. En el último caso, no se detecta ninguna ruta de protección y la trayectoria con falla se declara como no restaurable.

Si, al contrario se encuentra alguna ruta de protección de alguna manera, la búsqueda de rutas de protección continúa para otras trayectorias con falla de la misma prioridad y subsecuentemente, de prioridades inferiores hasta que la lista de trayectorias con falla quede vacía o el temporizador T2 expire. El temporizador T2 se fija para asegurar una reconfiguración rápida para trayectorias de prioridad más alta; cuando expira, el primer grupo de trayectorias (para el que ya se encontró una trayectoria de protección) se suministra al proceso que opera el siguiente paso de la implementación.

Si el temporizador T2 expirase antes de que se hubiera encontrado alguna ruta de protección, el sistema realizaría este paso de todas formas; en este caso el paso sería interrumpido únicamente cuando todas las trayectorias de prioridad-más-alta con fallas hubiesen sido consideradas (ejemplo, cuando por cada una de ellas, se hubiese encontrado una ruta de protección o se hubiese declarado como no restaurable).

### **5.9.8 IMPLEMENTACIÓN DE RUTA DE PROTECCIÓN**

Este paso inicia inmediatamente después de que el temporizador T2 ha expirado si algunas rutas de protección ya han sido encontradas o después de procesamiento de las trayectorias de prioridad más alta que fueron afectadas por la falla. El objetivo de este paso es implementar las trayectorias de protección ya computadas.

Los mensajes que se requieren de las transconexiones necesarias nuevas para construir todas las trayectorias de protección que ya se han computado, se envían a los nodos que están involucrados en el proceso de reconfiguración.

También en este paso el 1354 RA espera las confirmaciones de los nodos. Por cada nodo involucrado en el proceso (ejemplo, por cada nodo al que por lo menos se le envió una petición de transconexión nueva) se le fija un temporizador T3 (nodo) cuando los comandos son enviados a los nodos para

limitar la espera de la confirmación. Cuando todas las confirmaciones arriba o los importantes expiran, el control continúa al siguiente paso.

### **5.9.9 VALIDACIÓN DE RUTA DE PROTECCIÓN**

El objetivo de este paso es verificar el estado de las trayectorias de protección nuevas para poder confirmar que el proceso de restauración haya sido exitoso.

El temporizador T4 está asociado con cada una de las rutas de protección nuevas para filtrar las alarmas relacionadas con su preparación; todas las alarmas relacionadas con esas trayectorias que arriban durante este periodo son registradas, pero no son consideradas para la restauración.

Se define una línea de rastreo de trayectoria nominal para el operador del 1354 RA para cada trayectoria. En cada nodo, la línea que llega es comparada con la nominal. Cuando esta comparación detecta diferencias en por lo menos 12 líneas sucesivas, se genera una alarma ID-MIS y se le muestra al operador. No se inicia ninguna actividad de restauración.

Después de que el temporizador T4 expira, el estatus de todas las rutas nuevas es verificado utilizando el byte J1. Si una trayectoria continúa alarmada, es rechazada. En la siguiente fase del proceso de restauración, la trayectoria original correspondiente se restaurará nuevamente.

En este paso de validación finaliza cuando todas las rutas de protección nuevas han sido verificadas (ejemplo, validadas o no validadas).

Al finalizar el paso de validación, el control continúa al primer paso, la recolección de alarmas.

### **5.9.10 RECUPERACION DE TRAYECTORIA.**

Como se describió en la sección previa, la recuperación de trayectoria es la acción por la cual una ruta de protección retorna a su ruta de trabajo original cuando la falla que causó la restauración ha sido eliminada.



Cuando una falla de un enlace individual es eliminada, el indicador de alarma del enlace individual es removido. De esta forma, el 135RA se da cuenta de que el recurso queda nuevamente disponible. Cuando todos los enlaces individuales alarmados de una trayectoria de trabajo afectada por una falla quedan nuevamente disponibles, el indicador de alarma es removido de la trayectoria de trabajo y el proceso de recuperación puede iniciar.

Si la operación de recuperación automática se ha seleccionado, se le reporta al operador del 135 RA el resultado de la operación de recuperación.

Si la actividad de recuperación ha sido programada para una determinada fecha y hora, al operador del 1354 RA en donde se le indica que puede iniciar la operación.

### **5.9.11 AJUSTE DE COSTO Y EVALUACIÓN DE CALIDAD.**

A cada grupo de enlaces le es asignado un costo nominal en su definición (este parámetro de costo puede, por ejemplo, ser dado por la suma de longitudes del medio físico de transmisión); cada enlace individual del grupo de enlaces hereda el mismo costo del grupo de enlaces.

A cada trayectoria puede asignársele un costo nominal que es la suma de los costos nominales de sus enlaces individuales.

A cada trayectoria se le puede asignar un parámetro de calidad que es la suma del BER del medio físico que la transporta.

Cuando la tabla de rutas precalculadas es accesada para operar la selección de la ruta de protección, el costo nominal y la calidad de cada una de las rutas K de la tabla, es ajustado para tomar en consideración el estado presente de la ruta.

Para el costo, se aplican las siguientes reglas de ajuste:

- 1).- Si uno o más grupos de enlaces de la ruta se encuentran deshabilitados, a la ruta se asigna un costo infinito ( ejemplo; 10E90).
- 2).- En el caso de que una ruta de la tabla este degradada, su valor de costo se incrementa para ser mayor al de la trayectoria más larga no degradada

de la red.

- 3).- En el caso de una ruta de la tabla que este siendo utilizada por la trayectoria de trabajo, su valor de costo es incrementado proporcionalmente a la prioridad de la trayectoria de trabajo. El incremento del costo es tal que un enlace individual que conduzca una trayectoria de trabajo de prioridad I siempre costará más que la trayectoria permitida más larga de prioridad  $I+1$ .

A cada demanda de tráfico le es asignada una calidad mínima (BER más), requisito que debe ser satisfecho por la trayectoria por la cual la demanda de tráfico es enrutada o reenrutada. Por esta razón se realiza una revisión de los parámetros de calidad actualizados de las rutas de la tabla. Únicamente las rutas que satisfacen el parámetro de calidad requerido se consideran adecuadas para la selección de una ruta de protección.

Una vez que una ruta ha sido seleccionada de la tabla, se extrae una ruta de protección de la trayectoria.

De esta forma, es posible implementar el mecanismo de intervención descrito en la sección previa. En otras palabras, por cualquier trayectoria I que vaya a ser reenrutada, el algoritmo implementa el siguiente criterio de activación de recursos en la selección de la ruta de protección ( en orden de preferencia):

- 1).-Rutas de protección que utilizan únicamente enlaces individuales de reserva.
- 2).- Rutas de protección con por lo menos un enlace individual degradado(si esto es aceptado para la trayectoria a ser restaurada).
- 3).- Rutas de protección con por lo menos un enlace individual que es parte de la trayectoria de trabajo de prioridad M.
- 4).- Rutas de protección con por lo menos un enlace individual que sea parte de una trayectoria de trabajo con prioridad  $I + 1$ .

El parámetro de costo es utilizado para forzar al algoritmo de reenrutamiento a seleccionar la más barata de entre las rutas disponibles con todos los enlaces individuales libres y activos.

Si no existe una ruta de protección con dichas características, el costo dirigirá al algoritmo hacia la trayectoria de costo más bajo compuesta de enlaces individuales activos y degradados (si esto es aceptable para la trayectoria que está siendo reenrutada), el parámetro de calidad sigue siendo considerado.

Si nuevamente, no se encuentra alguna trayectoria de protección, el mecanismo de intervención inicia y el parámetro de costo dirigirá al algoritmo para que se seleccione también de entre los enlaces individuales de las trayectorias de trabajo de prioridad más baja, interviniéndolas para quitarles los recursos si es necesario. El requisito de calidad también es considerado en este caso.

## **CAPÍTULO 6 CONSTRUCCION DE LA RED DE LARGA DISTANCIA SDH DE TELMEX**

En este capítulo se muestra el proyecto de ampliación de la red de larga distancia de TELMEX, el cual fue desarrollado y construido por ALCATEL - INDETEL; en este proyecto se usaron los equipos de transmisión SDH como son los equipos de línea, cross-connect que fueron mencionados en el capítulo 4, también se implementó una red de gestión y supervisión, basada en los conceptos del equipo 1354 RA y 1353 NX; el presente capítulo muestra una red de transporte real, donde se aplican los principios SDH aprovechando las ventajas que esta técnica actualmente brinda y que en combinación con las ventajas que ofrece la Fibra Óptica, para el transporte de alta capacidad de tráfico de información, se construyó una red de larga distancia con una alta confiabilidad y gran flexibilidad (esta red es una ampliación a la red de LD original).

## 6.1 RED DE TRANSPORTE

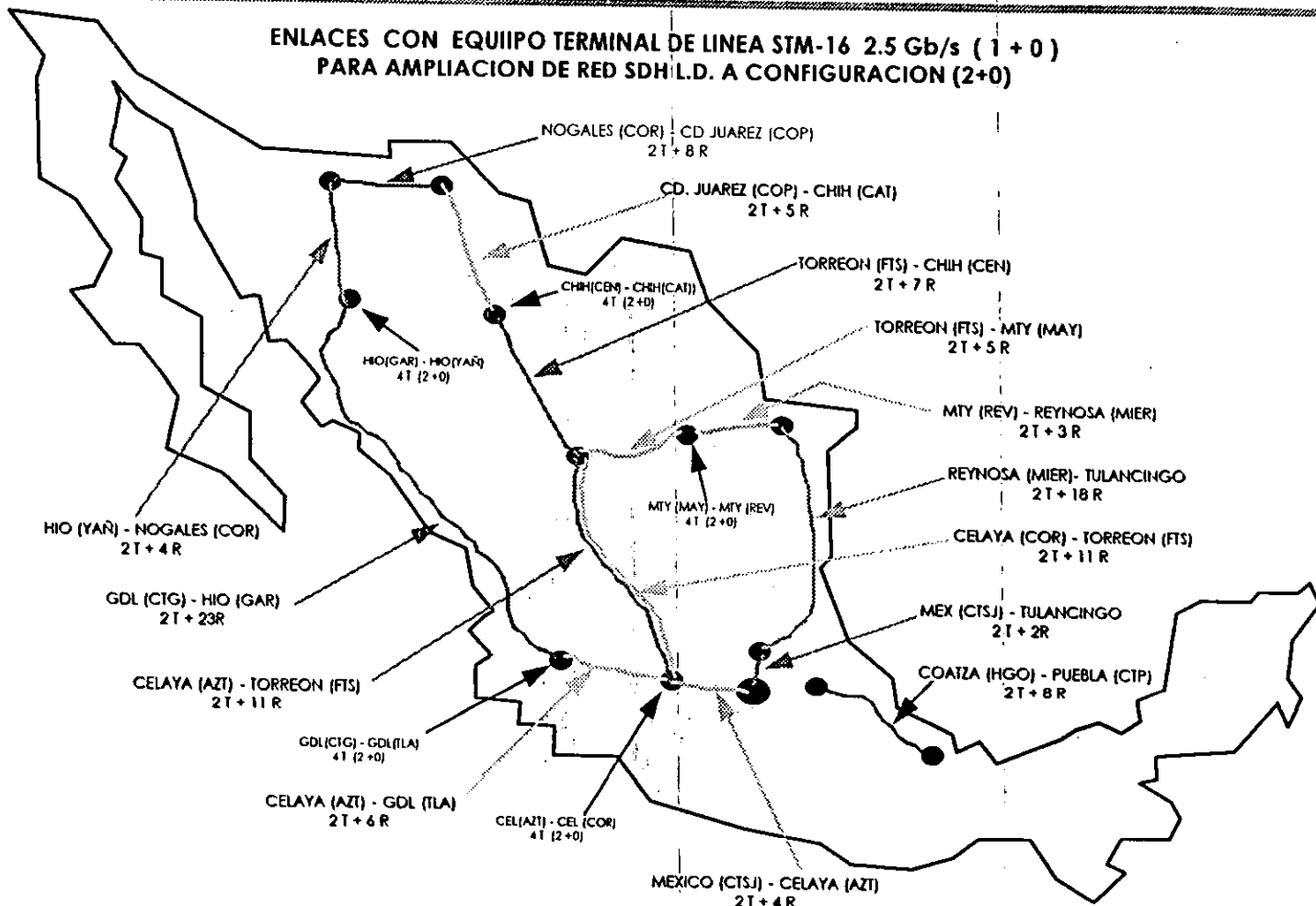
Las necesidades del cliente (TELMEX) fueron las de contar con una red altamente confiable y flexible, por eso se decidió proponer una red transporte mallada usando como equipo de transporte equipo terminal de línea con sus equipos regeneradores asociados, así como con equipo cross-connect modelo 1644 SX para los nodos de interconexión y finalmente se instaló el equipo de 1353 NX para la supervisión y gestión de los dispositivos de transmisión.

La construcción de la red de transporte, está implementada con un total de: 48 equipos terminales ópticos de línea STM-16 y de 115 equipos regeneradores de línea; estos equipos se instalaron en 19 rutas que cubren las zonas de mayor importancia para TEL-MEX dentro de la República Mexicana, la tabla 6.1 muestra la cantidad de rutas con las terminales y los repetidores asociados. Las rutas se encuentran asignadas de tal forma que integran tres anillos interconectados con fibra óptica monomodo; los anillos en cuestión son :

- \* *Anillo del Golfo .*
- \* *Anillo del Pacífico.*
- \* *Anillo de Centro*

**FIG. 6.1 RED LD CON EQUIPO DE LINEA OPTICO SDH 2.5 Gb/s**

**ENLACES CON EQUIPO TERMINAL DE LINEA STM-16 2.5 Gb/s (1 + 0)  
PARA AMPLIACION DE RED SDH/L.D. A CONFIGURACION (2+0)**



En la tabla 6.1 se indica también a que anillo corresponden las rutas mostradas en la misma; la finalidad de haber formado estos anillos es para para que uno de estos sirva como respaldo del otro, es decir que si ocurre una falla en el anillo del Pacífico, se puede desbordar la información por la ruta que componen el anillo del Golfo, en la fig. 6.1 se muestra un mapa de la República, donde se indican los anillos y se muestran las rutas que los componen.

### 6.1.1 CÁLCULO DE ENLACES DE FIBRA ÓPTICA

Para la elección adecuada del equipo de transporte, tomando en cuenta la potencia de transmisión requerida para las diferentes rutas, es necesario realizar un cálculo de enlace para todas las rutas, el cálculo deberá realizarse entre cada tramo a lo largo de la ruta correspondiente, a continuación se presentan los cálculos realizados para ruta Celaya-Torreón, para mostrar los los criterios de diseño.

En este proyecto (LD) se eligió la fibra óptica mono modo, se seleccionó este tipo de fibra, ya que es el tipo de fibra más adecuado para aplicaciones en el área de telecomunicaciones y particularmente usadas en enlaces con grandes distancias.

El cálculo para determinar la atenuación de los enlaces esta de acuerdo con la recomendación G-709 de UTI.

La expresión para el cálculo de atenuaciones:

$$At = (A1 \times L1) + (A2 \times L1 / L2) + (n \times A3) + Mc + P \quad (6.1)$$

Donde : At = Atenuación del tramo ( dB).

A1 = Atenuación de la fibra óptica (dB/Km ).

L1 = Longitud del enlace ( Km ).

A2 = Atenuación en el empalme ( Db ).

L2 = Longitud de la bobina de fibra óptica ( Km ).

n = No. de conectores entre Tx y Rx.

A3 = Atenuación de conectores (dB ).

Mc = Margen del cable.

P

**TABLA 6.1 RUTAS DE LD 2a FASE**

CASLD				
RUTA	ENLACE	TERM.	REG.	ANILLO
01	Sn Juan-Tulancingo (Tgo.)	02	02	GOLFO
02	Reynosa-Tulancingo	02	18	GOLFO
03	Monterrey- Reynosa	04	03	GOLFO
04	Mty (Mayo)-Mty (Rev)	02	0	GOLFO
05	Torreon (Fts)-Mty (Mayo)	02	05	GOLFO
06	Celaya (Corr)-Torreon (Fts)	02	11	GOLFO
07	Celaya (Azt)-Celaya (Corr)	02	0	GOLFO
08	Sn Juan -Celaya (azt)	02	04	GOLFO
09	Celaya (azt)-Torreon (Fts)	02	11	PACIFICO
10	Torreon (fts)-Chihuahua (cat)	02	07	PACIFICO
11	Chihuahua (cat)-Chih. (cent)	02	0	PACIFICO
12	Juarez (cop)-Chihuahua (cat)	02	05	PACIFICO
13	Nogales (cor)-Juarez (cop)	02	08	PACIFICO
14	Hilo (Yañ)-Nog (cor)	02	04	PACIFICO
15	Hilo (Gar)-Hilo (Yañ)	02	0	PACIFICO
16	Guad (CTG)-Hilo (Garm.)	02	23	PACIFICO
17	Guad. (CTG)-Guad (Tlaque)	02	0	PACIFICO
18	Celaya (Azt)- guad (Tlaque)	02	06	PACIFICO
19	Coatza (Hgo)-puebla (CTP)	02	08	PACIFICO

EL ANILLO CENTRO ESTA COMPUESTO POR:

MEXICO-CELAYA  
 MEXICO-PUEBLA  
 CELAYA-CUERNAVACA  
 MEXICO CUERNAVACA

RUTAS PERTENECIENTES A FASE 1



Se consideran los siguientes valores, que son tomados de especificaciones del proveedor

$A1 = 0.22 \text{ dB / Km}$  para la fibra monomodo usada

$A2 = 0.1 \text{ dB}$  es la pérdida que se requiere en empalmes de fusión

$L2 = 4 \text{ Km}$ ; existen bobinas de fibra de mayor longitud, pero por facilidad de manejo se recomienda el uso de bobinas de esta long.

$n = 2$

$A3 = 0.7 \text{ dB}$  atenuación tomada de proveedor.

$Mc = 3 \text{ dB}$ .

Para el tramo Celaya-Irapuato de la ruta Celaya-Torreón se tiene una distancia de 68.5 Km.

Aplicando la expresión 6.1 se tiene :

$$At = (0.22 \text{ dB/Km} \times 68.5 \text{ Km}) + (0.1 \text{ dB} \times 68.5 \text{ Km} / 4 \text{ Km}) + (2 \times 0.7 \text{ dB}) + 3 \text{ dB} + 2 \text{ dB} = 23.1825 \text{ dB}.$$

Para el tramo Irapuato-León se tiene una distancia entre repetidores de 69.4 Km. , por lo tanto :

$$At = (0.22 \text{ dB/Km} \times 69.4 \text{ Km}) + (0.1 \text{ dB} \times 69.4 \text{ Km} / 4 \text{ Km}) + (2 \times 0.7 \text{ dB}) + 3 \text{ dB} + 2 \text{ dB} = 23.403 \text{ dB}.$$

La atenuación por margen de cable, no se considera al inicio de vida ya que es una degradación de que se da con el tiempo por eso se consideran 2 atenuaciones: la de *Atenuación Inicio Vida*, sin considerar el Margen de cable (AIV) y para el tramo Celaya-Irapuato sería de  $AIV = 20.1825 \text{ dB}$  y para el tramo Irapuato-León, sería de  $AIV = 20.403 \text{ dB}$  la *Atenuación de Fin de Vida* (AFV); para el tramo Celaya-Irapuato considerando el margen de cable tiene una  $AFV = 23.1825 \text{ dB}$  y el tramo Irapuato-León tiene una  $AFV = 23.403 \text{ dB}$ .

Existen varios tipos de equipos de transmisión de línea óptica, para este

proyecto se consideraron 2 tipos del mismo, uno conocido como *Equipo de Super Alta Potencia* ( terminales JE) con las siguientes características :

*Transmisor con una potencia de salida de + 3 dB.*  
*Receptor con una potencia maxima de recepciòn de - 13 dB*  
*y una potencia minima de recepciòn de -33 db.*

El otro conocido como *Equipo de Alta Potencia* ( terminales L ) con las siguientes características:

*Transmisor con una potencia de salida de 0 dB.*  
*Receptor con una potencia maxima de recepciòn de - 9dB*  
*y una potencia minima de recepciòn de - 29 db.*

Tomando en cuenta las características de Transmisiòn y Recepciòn de los equipos y la atenuaciòn calculada, el equipo recomendado para los tramos:

Celaya-Irapuato es equipo tipo JE, ya que el nivel de potencia en el receptor serà de :

Nivel de Rx = + 3 dB - 23,1825 = 20.1825 Db 7 dB menos del nivel màximo de recepciòn (11 dB màs del nivel mìnimo de recepciòn).

Si se eligiera un equipo de alta potencia se tendria :

Nivel de Rx = - 1.5 + ( -23. 185) = - 24.685 dB

15 db menos del màximo nivel de recepciòn y 4.315 db màs del nivel mìnimo de recepciòn.

En la tabla 6.2 se indican todos los tramos de todas la rutas asi como los niveles de atenuaciòn para cada tramo y las unidades opticas recomendadas

TABLA 6.2.- UNIDADES ÓPTICAS RECOMENDADAS

CENTRAL A	CENTRAL B	LONGIT UD	ALV.	A.F.V.	OPTICAS RECOM.		P.P. TMX	
CEL (AZT)	SALVATIERRA	37	12.465	15.465	L	L	L	L
SALVATIERRA	CUITZEO	62	18.59	21.59	L	L	L	L
CUITZEO	PURUANDIRO	55	16.875	19.875	L	L	L	L
PURUANDIRO	PENJAMO	62	18.59	21.59	L	L	L	L
PENJAMO	MONTE LEON	62.42	18.6929	21.6929	L	L	L	L
MONTE LEON	ESTANCIA	75.39	21.8705	24.8705	JE	JE	JE	JE
ESTANCIA	GDL. TLA	72.8	21.236	24.236	JE	JE	JE	JE
CTL. CELAYA	CTL. IRAPUATO II	68.50	20.1825	23.1825	JE	JE	JE	JE
CTL. IRAPUATO II	CTL. PINO SUAREZ	69.40	20.403	23.403	JE	JE	JE	JE
CTL. PINO SUAREZ	REP. EL PUERTO	67.50	19.9375	22.9375	JE	JE	JE	JE
REP. EL PUERTO	CTL. PEDRO PARGA	64.90	19.3005	22.3005	JE	JE	L	L
CTL. PEDRO PARGA	CTL. LUIS MOYA	65.30	19.3985	22.3985	JE	JE	JE	JE
CTL. LUIS MOYA	CTL. PLATA	59.90	18.0755	21.0755	L	L	L	L
CTL. PLATA	CTL. FRESNILLO	74.12	21.5594	24.5594	JE	JE	JE	JE
CTL. FRESNILLO	REP. LAS PIEDRAS	65.80	19.521	22.521	JE	JE	JE	JE
REP. LAS PIEDRAS	REP. MORELOS	71.10	20.8195	23.8195	JE	JE	JE	JE
REP. MORELOS	REP. 12 DE DE DICIEMBRE	70.00	20.55	23.55	JE	JE	JE	JE
REP. 12 DE DE DICIEMBRE	REP. M. MACHADO	69.00	20.305	23.305	JE	JE	JE	JE
REP. M. MACHADO	CTL. FUENTES	70.00	20.55	23.55	JE	JE	JE	JE
TORREON	BERMEJILLO	50.77	15.8386	18.8386	L	L	L	L
BERMEJILLO	YERMO	69.49	20.4250	23.4250	JE	JE	JE	JE
YERMO	ESCALON	54.38	16.7231	19.7231	L	L	L	L
ESCALON	JIMENEZ	73.82	21.4859	24.4859	JE	JE	JE	JE
JIMENEZ	CAMARGO	73.7	21.4565	24.4565	JE	JE	JE	JE

CAMARGO	DELICIAS	68.65	20.21925	23.21925	JE	JE	JE	JE
DELICIAS	L. CARDENAS	32.04	11.2498	14.2498	L	L	L	L
L. CARDENAS	CHUHUAHUA	53.8	16.581	19.581	L	L	L	L
CTL. CELAYA	CTL. IRAPUATO II	68.50	20.1825	23.1825	JE	JE	JE	JE
CTL. IRAPUATO II	CTL. PINO SUAREZ	69.40	20.403	23.403	JE	JE	JE	JE
CTL. PINO SUAREZ	REP. EL PUERTO	67.50	19.9375	22.9375	JE	JE	JE	JE
REP. EL PUERTO	CTL. PEDRO PARGA	64.90	19.3005	22.3005	JE	JE	L	L
CTL. PEDRO PARGA	CTL. LUIS MOYA	65.30	19.3985	22.3985	JE	JE	JE	JE
CTL. LUIS MOYA	CTL. PLATA	59.90	18.0755	21.0755	L	L	L	L
CTL. PLATA	CTL. FRESNILLO	74.12	21.5594	24.5594	JE	JE	JE	JE
CTL. FRESNILLO	REP. LAS PIEDRAS	65.80	19.521	22.521	JE	JE	JE	JE
REP. LAS PIEDRAS	REP. MORELOS	71.10	20.8195	23.8195	JE	JE	JE	JE
REP. MORELOS	REP. 12 DE DE DICIEMBRE	70.00	20.55	23.55	JE	JE	JE	JE
REP. 12 DE DE DICIEMBRE	REP. M-MACHADO	69.00	20.305	23.305	JE	JE	JE	JE
REP. M. MACHADO	CTL. FUENTES	70.00	20.55	23.55	JE	JE	JE	JE
TORREON	REP. MAYRAN	75.76	21.9612	24.9612	JE	JE	JE	JE
REP. MAYRAN	REP. KM130	76.74	22.2013	25.2013	JE	JE	JE	JE
REP. KM130	REP. EL TANQUE	74.86	21.7407	24.7407	JE	JE	JE	JE
REP. EL TANQUE	SALTILLO	65.66	19.4867	22.4867	JE	JE	L	L
SALTILLO	SANTA CATARINA	77.42	22.3679	25.3679	JE	JE	JE	JE
SANTA CATARINA	MONTERREY (MAYO)	19.76	8.2412	11.2412	L	L	L	L
SAN JUAN	TEOTIHUACAN	62.25	18.65125	21.65125	L	L	L	L
TEOTIHUACAN	PACHUCA	65.22	19.3789	22.3789	JE	JE	L	L
PACHUCA	TULANCINGO	45.3	14.4985	17.4985	L	L	L	L
CD. JUAREZ	ELGUEZABAL	64.09	19.10205	22.10205	JE	JE	L	L
ELGUEZABAL	VILLA AHUMADA	65.32	19.4034	22.4034	JE	JE	L	L
VILLA AHUMADA	MOCTEZUMA	51.57	16.03465	19.03465	L	L	L	L
MOCTEZUMA	GALLEGO	43.07	13.9521	16.9521	L	L	L	L

			5	5				
GALLEGO	NUEVO DELICIAS	70.97	20.7876	23.7876	JE	JE	JE	JE
			5	5				
NUEVO DELICIAS	CHIHUAHUA	76.89	22.2380	25.2380	JE	JE	JE	JE
			5	5				
JUAREZ	SN. LORENZO	63.64	18.9918	21.9918	JE	JE	L	L
SN. LORENZO	FRONTERIZO	65.42	19.4279	22.4279	JE	JE	JE	JE
FRONTERIZO	ASCENCION	57.78	17.5561	20.5561	L	L	L	L
ASCENCION	CORRAL	50.27	15.7161	18.7161	L	L	L	L
			5	5				
CORRAL	VALLE	72.01	21.0424	24.0424	JE	JE	JE	JE
			5	5				
VALLE	AGUA PRIETA	74.14	21.5643	24.5643	JE	JE	JE	JE
AGUA PRIETA	ZARAGOZA	65.17	19.3666	22.3666	JE	JE	JE	JE
			5	5				
ZARAGOZA	SAN ANTONIO	58.25	17.6712	20.6712	L	L	L	L
			5	5				
SAN ANTONIO	NOGALES	64.67	19.2441	22.2441	JE	JE	L	L
			5	5				
MONTERREY (REV )	PARAISO	72.96	21.2752	24.2752	JE	JE	JE	JE
PARAISO	LOMA ALTA	67.41	19.9154	22.9154	JE	JE	JE	JE
			5	5				
LOMA ALTA	PROVIDENCIA	69.13	20.3368	23.3368	JE	JE	JE	JE
			5	5				
PROVIDENCIA	REYNOSA	22.33	8.87085	11.8708	L	L	L	L
			5	5				
REYNOSA	RIO BRAVO	26.91	9.99295	12.9929	L	L	L	L
			5	5				
RIO BRAVO	MATAMOROS	72.96	21.2752	24.2752	JE	JE	JE	JE
MATAMOROS	VALLE HERMOSO	50.12	15.6794	18.6794	L	L	L	L
VALLE HERMOSO	STA. TERESA	47.21	14.9664	17.9664	L	L	L	L
			5	5				
STA. TERESA	SN. FERNANDO	59.33	17.9358	20.9358	L	L	L	L
			5	5				
SN. FERNANDO	BENITO JUAREZ	65.34	19.4083	22.4083	JE	JE	L	L
BENITO JUAREZ	NVO. PADILLA	67.61	19.9644	22.9644	JE	JE	JE	JE
			5	5				
NVO. PADILLA	ANAYA	46.92	14.8954	17.8954	L	L	L	L
ANAYA	ANGOSTURA	52	16.14	19.14	L	L	L	L
ANGOSTURA	CENTAURO	62	18.59	21.59	L	L	L	L
CENTAURO	STA. GERTRUDIS	69	20.305	23.305	JE	JE	JE	JE
STA. GERTRUDIS	TAMPICO	63	18.835	21.835	L	L	L	L
TAMPICO	POTRERILLOS	64.83	19.2833	22.2833	JE	JE	L	L
			5	5				
POTRERILLOS	C. DEL BAJIO	70.25	20.6112	23.6112	JE	JE	JE	JE
			5	5				
C. DEL BAJIO	TUXPAN	66.95	19.8027	22.8027	JE	JE	JE	JE
			5	5				

TUXPAN	POZA RICA	61.42	18.4479	21.4479	L	L	L	L
POZA RICA	SAN DIEGO	34.2	11.779	14.779	L	L	L	L
SAN DIEGO	HUAUACHINAGO	77.5	22.3875	25.3875	JE	JE	JE	JE
HUAUACHINAGO	TULANCINGO	52	16.14	19.14	L	L	L	L
HEMOSILLO	EL CHARCO	74.94	21.7603	24.7603	JE	JE	JE	JE
EL CHARCO	BENJAMIN HILL	52.71	16.3139	19.3139	L	L	L	L
			5	5				
BENJAMIN HILL	SANTA ANA	43.1	13.9595	16.9595	L	L	L	L
SANTA ANA	EL QUELITAL	52.62	16.2919	19.2919	L	L	L	L
EL QUELITAL	NOGALES	52.7	16.3115	19.3115	L	L	L	L
CTSJ	CUAUTITLAN	50	15.65	18.65	L	L	L	L
CUAUTITLAN	SAN FRANCISCO	66.4	19.668	22.668	JE	JE	JE	JE
SAN FRANCISCO	SAN JUAN DEL RIO	65	19.325	22.325	JE	JE	L	L
SAN JUAN DEL RIO	QUERETARO	63.7	19.0065	22.0065	JE	JE	L	L
QUERETARO	CELAYA (AZT)	48.5	15.2825	18.2825	L	L	L	L
GUADALAJARA	JOVAL	82.31	23.5659	26.5659	JE	JE	JE	JE
			5	5				
JOVAL		76.61	22.1694	25.1694	JE	JE	JE	JE
			5	5				
VICTOR	TEPIC	80.27	23.0661	26.0661	JE	JE	JE	JE
			5	5				
TEPIC	SANTIAGO	65.92	19.5504	22.5504	JE	JE	JE	JE
SANTIAGO	TIERRA GENEROSA	62.55	18.7247	21.7247	JE	JE	L	L
			5	5				
TIERRA GENEROSA	PALMILLAS	58.62	17.7619	20.7619	L	L	L	L
PALMILLAS	OTATES	65.2	19.374	22.374	JE	JE	JE	JE
OTATES	MAZATLAN	69.86	20.5157	23.5157	JE	JE	JE	JE
MAZATLAN	DIMAS	77.68	22.4316	25.4316	JE	JE	JE	JE
DIMAS	LA CRUZ	35.5	12.0975	15.0975	L	L	L	L
LA CRUZ	TABALA	80.99	23.2425	26.2425	JE	JE	JE	JE
			5	5				
TABALA	CULIACAN	64.04	19.0898	22.0898	JE	JE	L	L
CULIACAN	CAIMANERO	56.87	17.3331	20.3331	L	L	L	L
			5	5				
CAIMANERO	CAPOMO	64.42	19.1829	22.1829	JE	JE	L	L
CAPOMO	GUASAVE	45.5	14.5475	17.5475	L	L	L	L
GUASAVE	LOS MOCHIS	66.08	19.5896	22.5896	JE	JE	JE	JE
LOS MOCHIS	CARRIZO	64.18	19.1241	22.1241	JE	JE	L	L
CARRIZO	EST. DON JUAN	44.39	14.2755	17.2755	L	L	L	L
			5	5				
EST. DON JUAN	NAVOJOA	58.88	17.8256	20.8256	L	L	L	L
NAVOJOA	CD. OBREGON	61.36	18.4332	21.4332	L	L	L	L
CD. OBREGON	VICAM	52.42	16.2429	19.2429	L	L	L	L
VICAM	GUAYMAS	81.73	23.4238	26.4238	JE	JE	JE	JE

			5	5				
GUAYMAS	SAN ISIDRO	68.15	20.0967	23.0967	JE	JE	JE	JE
			5	5				
SAN ISIDRO	HERMOSILLO	67.74	19.9963	22.9963	JE	JE	JE	JE
COATZACOALCOS (Hgo)	ZAYULA	79.693	22.9247	25.9247	JE	JE	JE	JE
			9	9				
ZAYULA	RODRIGUEZ CLARA	52.34	16.2233	19.2233	L	L	L	L
RODRIGUEZ CLARA	LOMABONITA	58.14	17.6443	20.6443	L	L	L	L
LOMABONITA	TIERA BLANCA	75.126	21.8058	24.8058	JE	JE	JE	JE
			7	7				
TIERA BLANCA	TEZONAPA	54.24	16.6888	19.6888	L	L	L	L
TEZONAPA	FORTIN	63.762	19.0216	22.0216	JE	JE	L	L
			9	9				
FORTIN	ESPERANZA	66.5	19.6925	22.6925	JE	JE	JE	JE
ESPERANZA	TECAMACHALCO	46.609	14.8192	17.8192	L	L	L	L
			1	1				
TECAMACHALCO	CTP	64.643	19.2375	22.2375	JE	JE	L	L
			4	4				
CELAYA (AZT)	CELAYA (CORR)	4	4.38	7.38	L	L	L	L
GDL CTG	GDL TLA	4	4.38	7.38	L	L	L	L
GARMENDIA	YAÑEZ	4	4.38	7.38	L	L	L	L
CATEDRAL	CENTAURO	4	4.38	7.38	L	L	L	L
MAYO	REVOLUCION	4	4.38	7.38	L	L	L	L
					L= 59	L= 59	L= 77	L= 77
					JE=80	JE=80	JE=62	JE=62

	ALCA	TELM
	TEL	EX
<b>TOTAL</b>	<b>L =118</b>	<b>L =154</b>
	<b>JE=160</b>	<b>JE=124</b>

## 6.2 SUPERVISIÓN DE EQUIPO DE TRANSPORTE

La red de gestión se encuentra dividida en dos funciones de capa conocidas como:

*Element Management Layer Functions (EML).*  
*Network Management Layer Functions (NML).*

### LAS FUNCIONES EML

Se encuentran dadas por el equipo de 1353 NX y se aplican para la supervisión centralizada del equipo de línea STM-16, dentro de la red nacional (backbone), este sistema permite 2 niveles de supervisión que son :

*Nivel local*, Permite la supervisión local del sistema por medio de una Craft Terminal (PC portátil con software de aplicación propietario del proveedor) conectada localmente al equipo.

*Nivel Nacional*, supervisión del equipo de línea mediante el equipo de gestión 1353 NX el cual se instaló en la Cd. de Qro. en el Centro Nacional de Supervisión.

El 1353 NX esta de acuerdo a la recomendación M 3010 de ITU y provee funciones de gestión de la siguiente manera .

### 6.2.1 ARQUITECTURA GENERAL DE SUPERVISIÓN

La supervisión y gestión de los equipos de línea (1664 SL) se efectúa mediante una comunicación a través de una red de datos entre los elementos de red ("NE" Network Element) y el sistema de gestión, lo cual implica una comunicación entre todos los "NE" y el sistema de gestión, para que esta comunicación exista es necesario el uso de un elemento intermedio que comunique al sistema de gestión con todos los elementos de red y se denomina Gate Network Element "GNE".



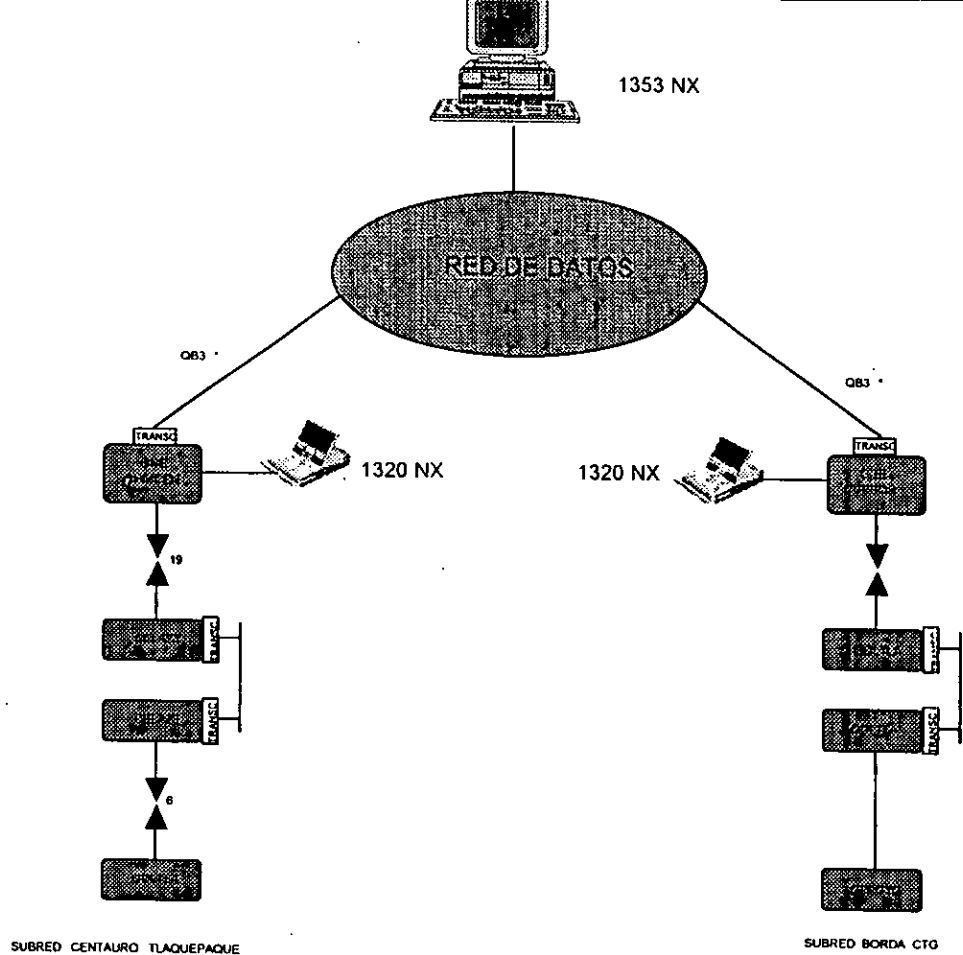


FIG. 6.2 RED DE SUPERVISIÓN DE EQUIPO DE TRANSPORTE

Considerando lo anterior se dividió la gestión en grupos de enlace comandados por un GNE y cada grupo se definió como SUBRED y una subred se encuentra formada de un GNE que puede ser cualquier elemento de red que sea terminal de línea (1664 SL) y hasta 31 elementos de red; el máximo No. de elementos de red es 32 , la fig. 6.2 muestra este concepto.

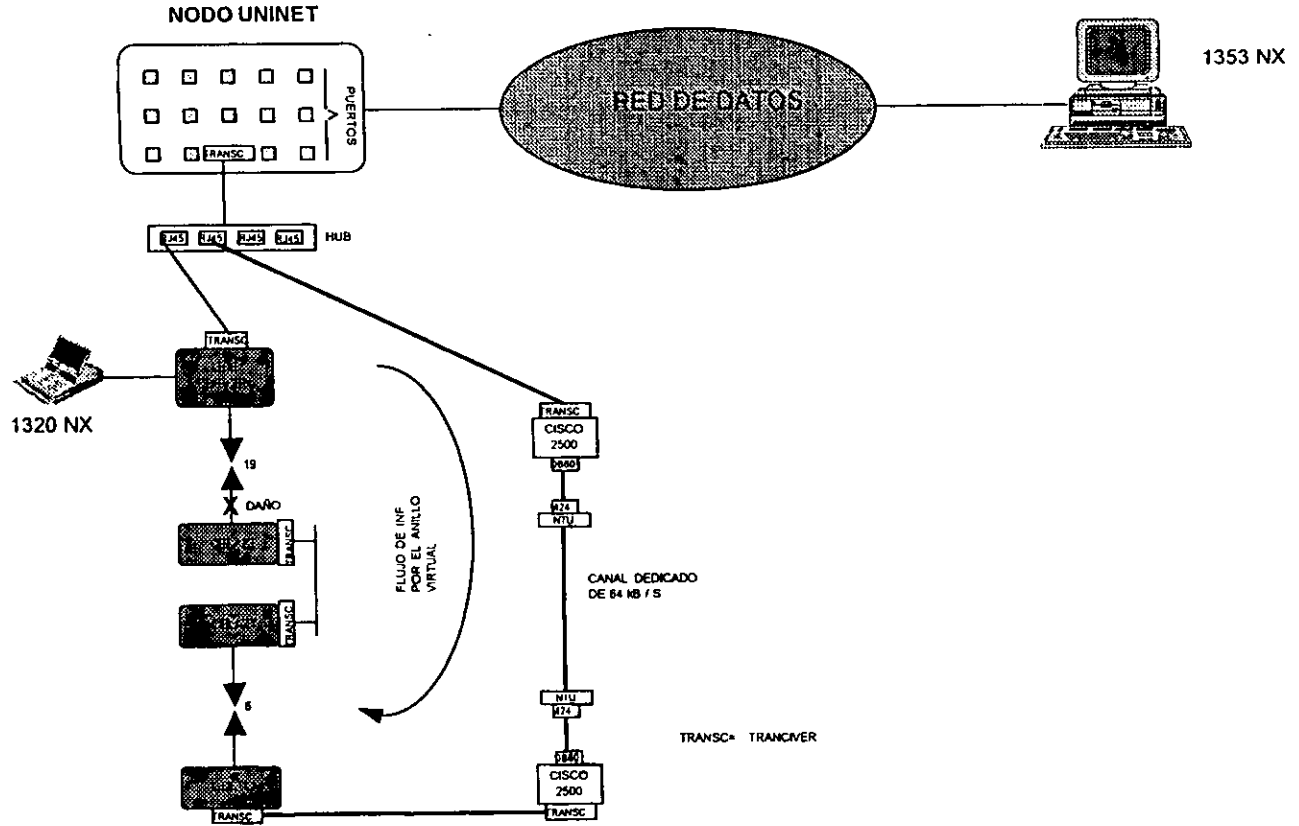
## 6.2.2 PROTECCIÓN DE GESTIÓN

En la fig 6.3 se puede observar que en caso de existir un daño en medio de la subred, (por ejem. un corte de F.O ) entre el GNE y cualquiera de los elementos de la subred del daño al final de la subred, los "NE" quedarían aislados y el sistema de gestión no tendría información del estado de los "NE" a partir de la falla. Por tal motivo, se ideó una protección que se conoce como *Protección de Anillos Virtuales* y que consiste del uso de 2 Bridges CISCO 2501 interconectados por un enlace dedicado.

El funcionamiento del Anillo Virtual es que cuando exista un daño como en el caso de la fig. 6.3, el GNE determina que la ruta normal a través de la cual recibe y envía información a lo. NE de la subred se encuentra dañada y toma la decisión de enviar la información por medio de un concentrador (HUB) y los Bridges por la parte terminal de la subred, conservando así comunicación con todos los NE aún con un corte de fibra.

Para supervisar al NE la red se subdividió en subredes, y como el proyecto contempla 2 fases, la conformación de las subredes, también se realizó en 2 fases, cubriendo 38 enlaces STM-16; 16 enlaces STM-4, con un total de 400 NE; 211 gestionados por el denominado 1353 NX-1 y 189 elementos gestionados por el llamado 1353 NX-2 al término de la segunda fase.

En la fig. 6.4 se puede ver una pantalla en la que se observa como el sistema de supervisión muestra las subredes gestionadas por él; las fig 6.5 a 6.8 muestra 3 diferentes pantallas donde se puede ver el equipamiento de una terminal de línea ( así es como el operador puede ver cada uno los elementos de red. La fig. 6,9 muestra en forma más detallada las unidades y sus interconexiones a fin de poder ver alguna falla en cualquiera de los elementos de red.



SUBRED CENTAURO TLAQEPAQUE

FIG. 6.3 ANILLO VIRTUAL



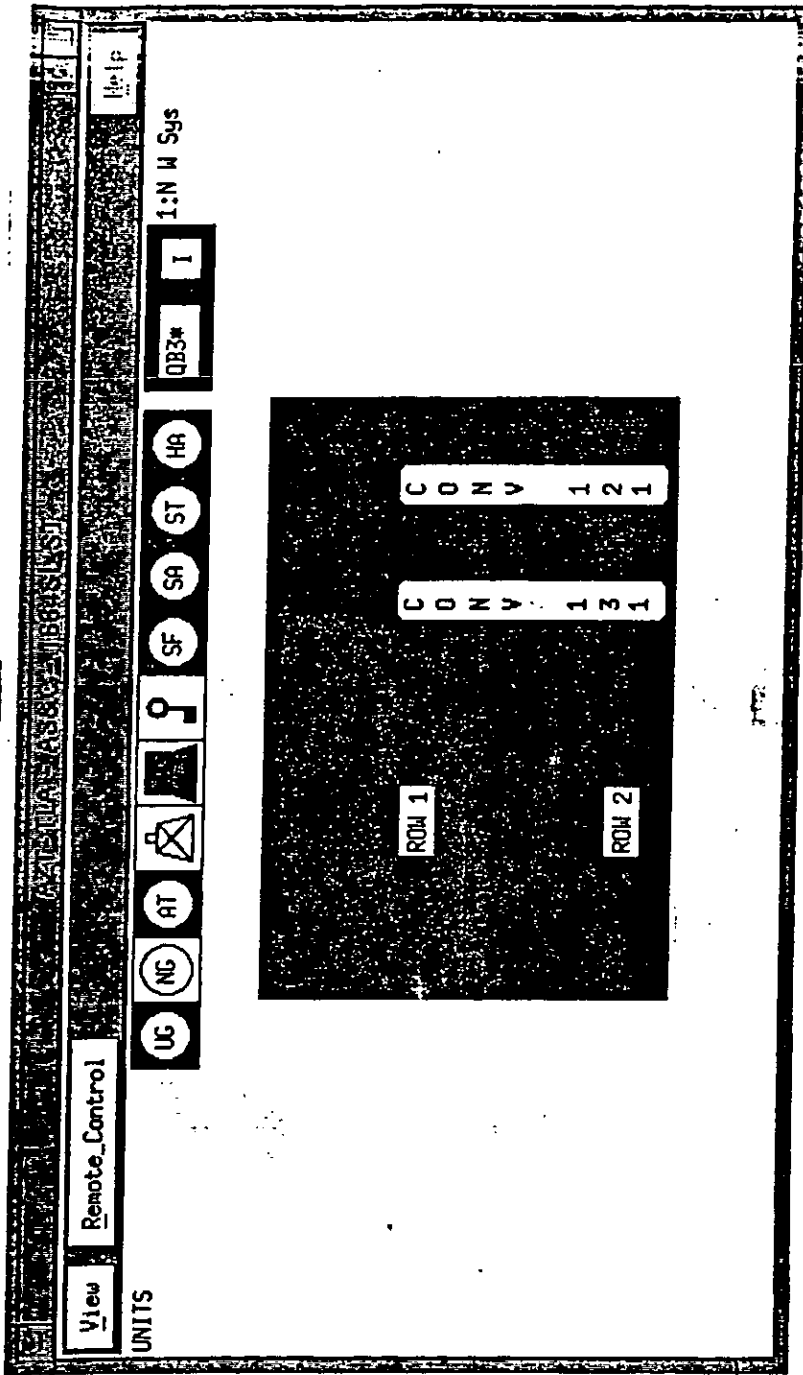


FIG. 6.5 VISTA DE CONVERTIDORES

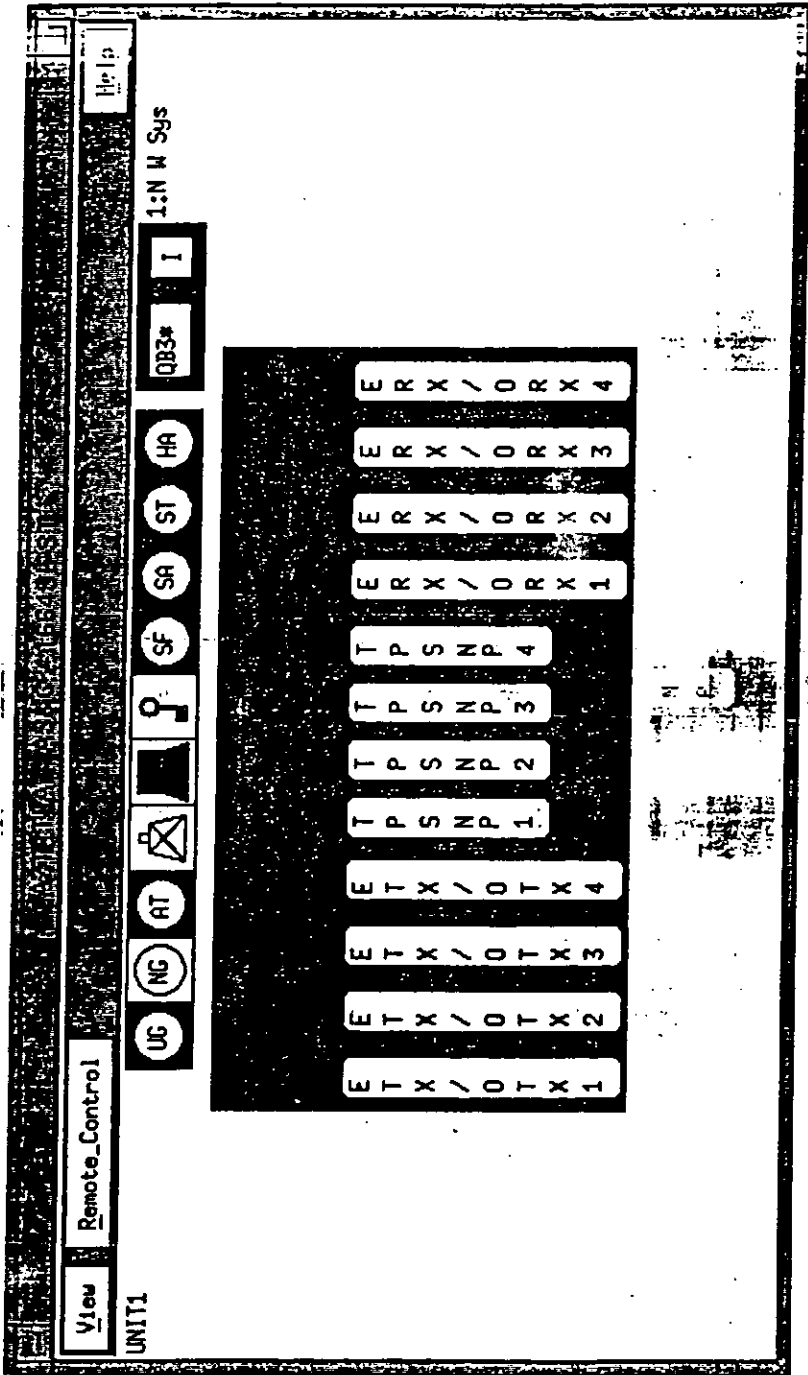


FIG. 6.6 VISTA DE LA REPISA DE TERMINAL

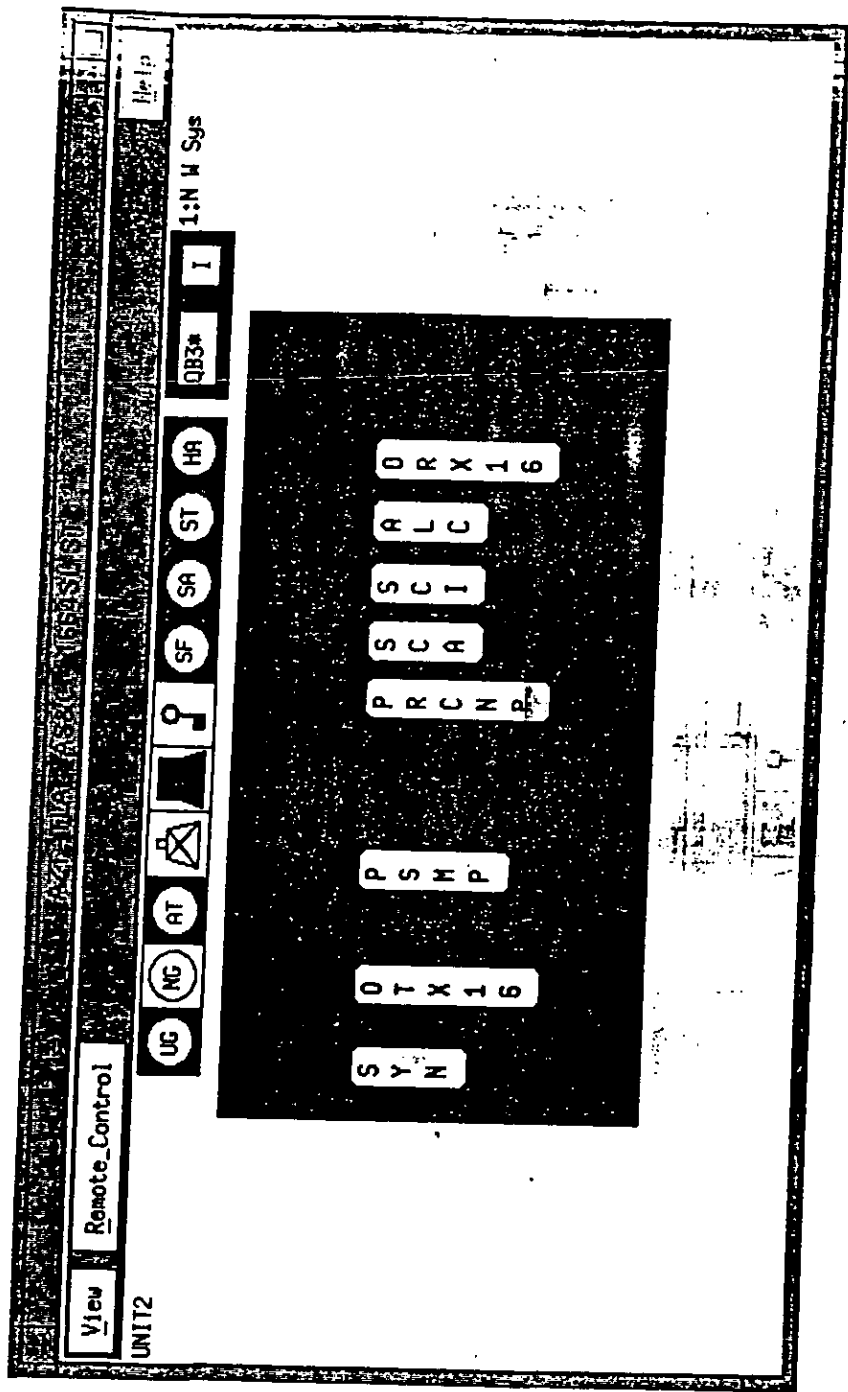


FIG. 6.7 VISTA DE REPISA DE REGENERADOR

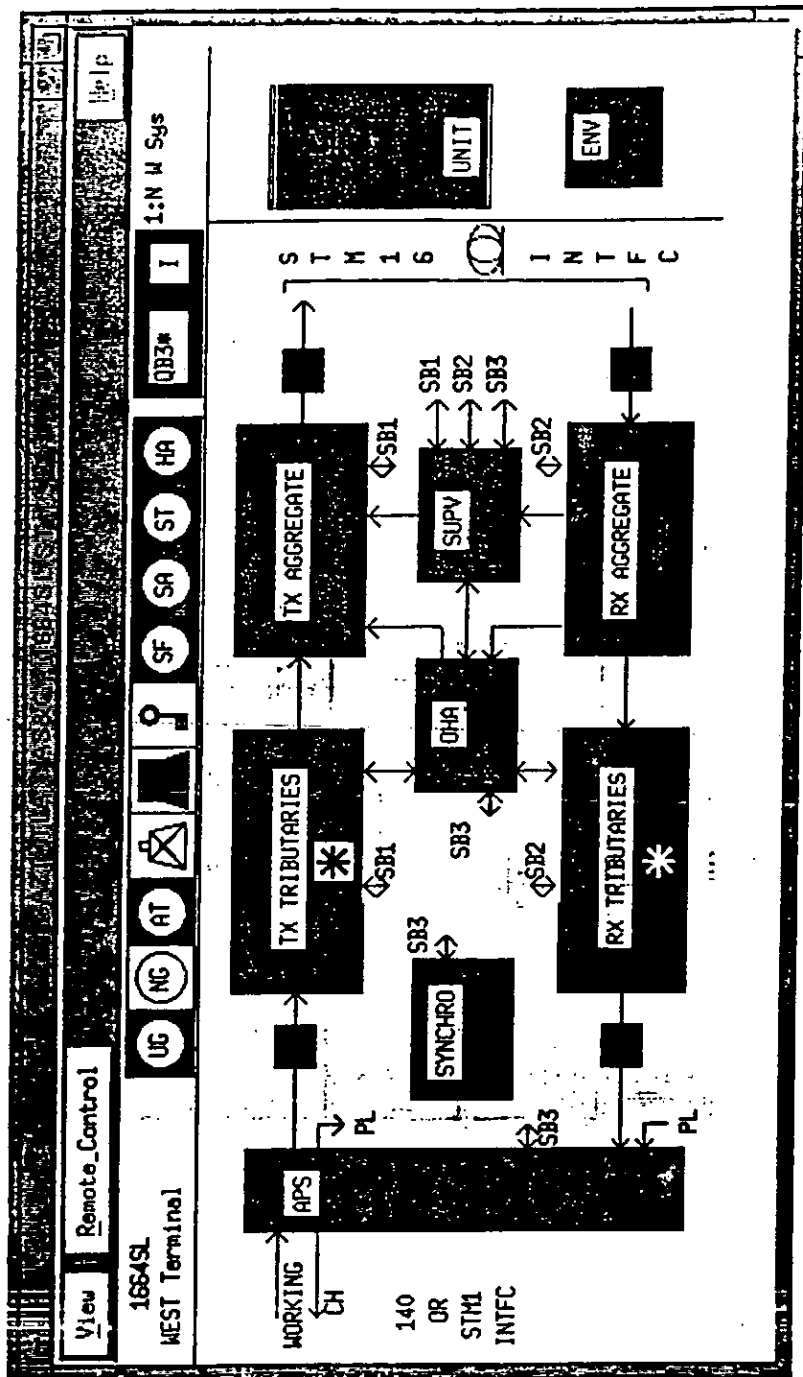


FIG. 6.8 VISTA ESQUEMATICA DE TERMINAL



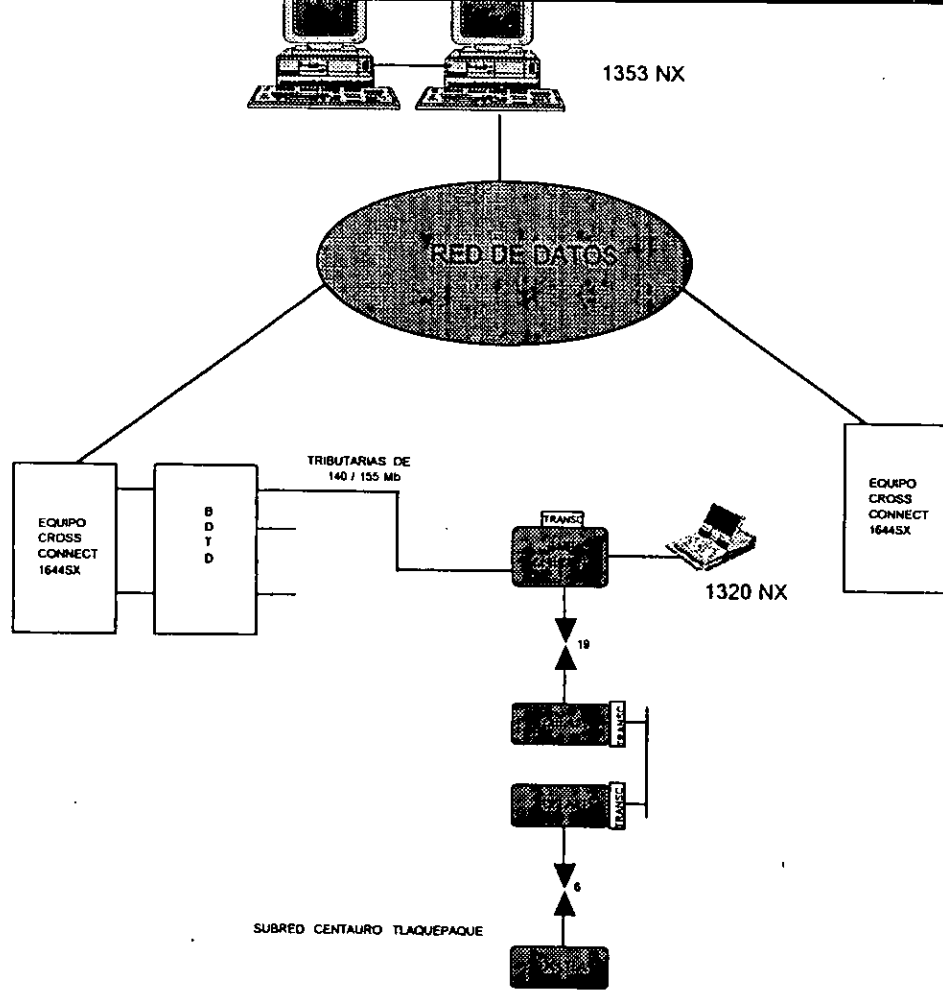


FIG. 6.9 RED DE SUPERVISIÓN EQUIPO LÍNEA

### 6.3 GESTIÓN Y RESTAURACIÓN DE LA RED CON EQUIPOS CROSS-CONNECT Y REASTAURACIÓN 1354 RA

Para lograr una gran confiabilidad en esta red mallada usando enlaces no protegidos, es decir rutas (2+0) y no (2+1 o N+1), y así tener un uso más eficiente del medio de transmisión (fibra óptica), se instalaron 25 equipos cross-connect (en total considerando las dos fases del proyecto) que asociados al equipo de restauración 1354 RA permiten la protección de los circuitos que se consideren convenientes y permiten la restauración automática cuando el daño en el trayecto del circuito ha sido reparado; en la tabla 6.3 indica los sitios y la cantidad de puertos instalados en los equipos crosconexión.

Los puertos son accesos o salidas de señales de 140 Mb o bien de 155 Mb.

La fig. 6.10 muestra un mapa de la República, donde se indican los sitios de instalación de los CC 1644 SX..

Al igual que en la supervisión de los equipos de línea (1353 NX), el equipo de restauración requiere de una red de datos para poder mantener comunicación con todos y cada uno de los elementos (cross-connect 1644 SX) y así poder restaurar y proteger automáticamente los circuitos que estén bajo su control, se entiende por circuito a la señal de 140 Mb o 155 Mb que viaja de un punto (origen) a otro punto (destino). La fig 6.15 muestra un diagrama del sistema de gestión de red.

Para ejemplificar el funcionamiento de la red, se usará el arreglo piloto, realizado en la Cd. de México, con las centrales:

Estrella  
Nextengo  
Vallejo  
Sn. Juan

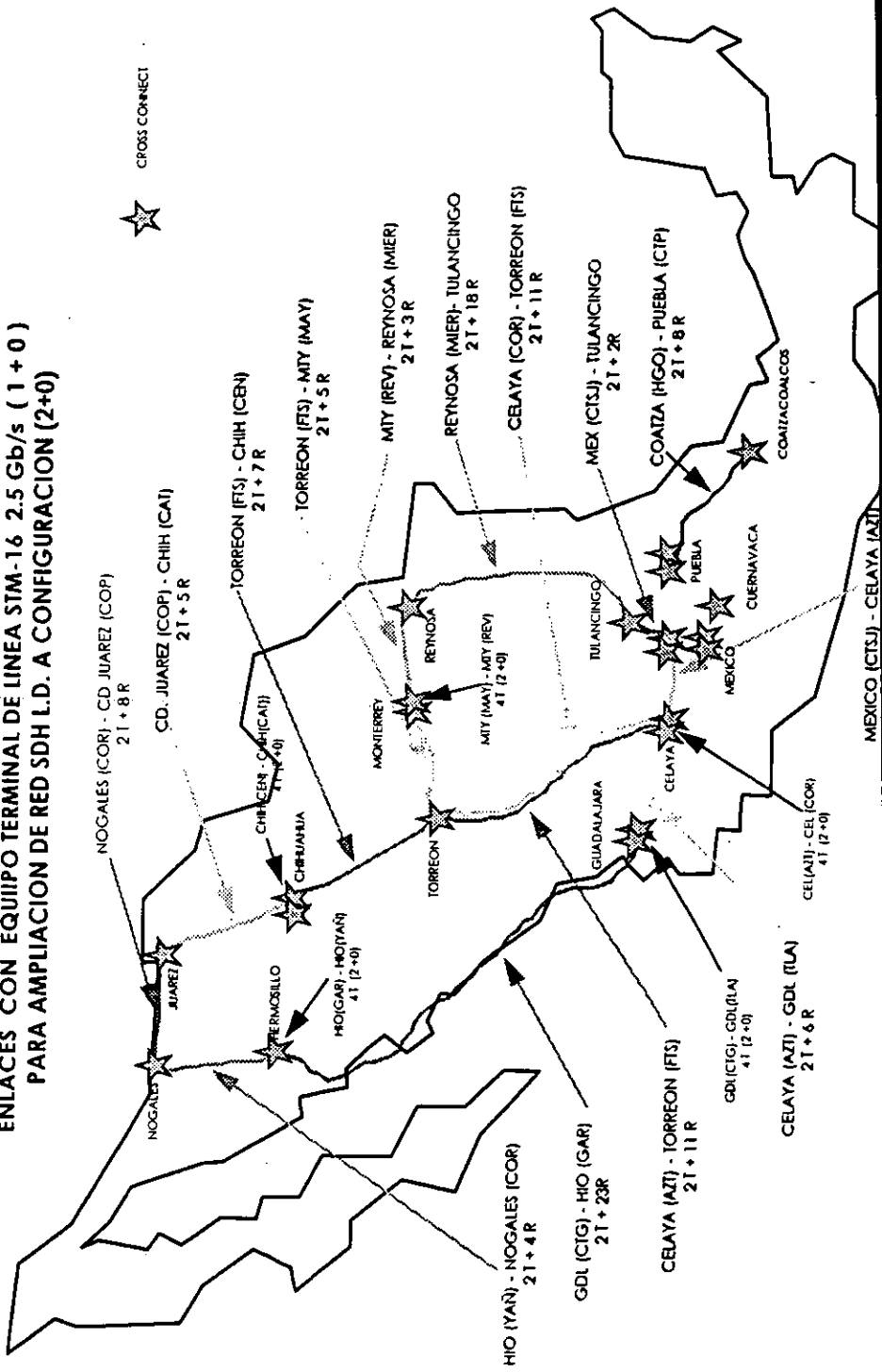
## EQUIPO CROSS CONNECT INSTALADO

TABLACA SITIO	PUERTOS		
	TOTAL	140 Mb	155 mb.
<b>FASE 1</b>			
REYNOSA (MIER)	64	32	32
CD. JUAREZ (COPERNICO)	64	32	32
NOGALEZ (CORTINES)	64	32	32
CELAYA (CORREGIDORA)	128	48	80
MONTERREY (REV.)	64	32	32
TORREON (FTS)	128	48	80
GUADALAJARA (TLAQUE)	64	32	32
HERMOSILLO (YAÑEZ)	64	32	32
CHIHUAHUA (CENTAURO)	64	32	32
CUERNAVACA (MIRADOR)	64	32	32
PUEBLA (CTP)	64	32	32
COATZACOALCOS (HIDALGO)	64	32	32
<b>FASE 2</b>			
CELAYA (AZTECAS)	128	48	80
GUADALAJARA (CTG)	128	48	80
MEXICO (NEXT)	128	48	80
MEXICO (SN JUAN)	128	48	80
TULANCINGO (TUL)	128	48	80
HERMOSILLO (GARM)	128	48	80
COATZA. (I. LLAVE)	64	32	32
CUERNAVACA (BORDA)	64	32	32
CHIHUAHUA (CATEDRAL)	64	32	32
MEXICO (ESTRELLA)	64	32	32
MEXICO (VALLEJO)	64	32	32
MONTERREY (MAYO)	64	32	32
PUEBLA (FUERTES)	64	32	32
	2112	928	1184

**TABLA 6.3. CROS CONNECT Y CANT. DE PUERTOS**

**FIG 6.10 EQUIPO CROSS-CONNECT 1644 SX INSTALADO**

**ENLACES CON EQUIPO TERMINAL DE LINEA STM-16 2.5 Gb/s (1 + 0)  
PARA AMPLIACION DE RED SDH L.D. A CONFIGURACION (2+0)**



### 6.3.1 RED PILOTO

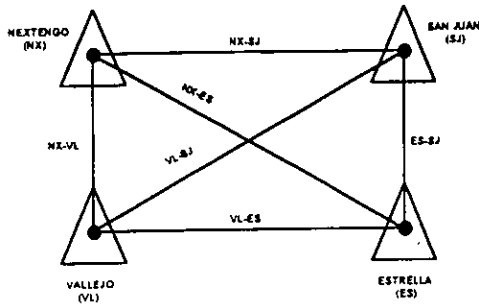
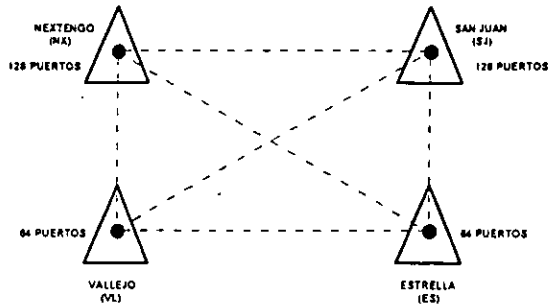


FIG. 611 RED PILOTO EN LA CD.DE MEXICO

#### SIMBOLOGIA:

- *SITIO* : Lugar geográfico, para la creación de cables y elementos de red.
- *CABLE*: Medio de transmisión que sirve para realizar la conexión física entre dos sitios.
- ▲ *ELEMENTO DE RED* : Equipo repartidor digital cross-connect 1644 SX, usado para realizar transconexiones digitales entre diferentes medios de transmisión.



**FIG. 6.12 VISTA LOGICA DE LA RED**

- *Grupo De Enlaces:* Grupo de enlaces individuales entre dos cross-connects.
- *Enlace Individual:* Conexión punto a punto a una velocidad de 140 Mb/s o 155 Mb/s entre dos cross connect

## ENTIDADES

*Puertos:* punto de acceso para entrada o salidas de señales que maneja el cross connect (puede ser la de acceso lado red medio de Tx.).

*Puertos Lado Acceso:* puertos que sirven para interconectar las señales multiplex (tráfico real) al medio de transmisión.

*Puertos Lado Red:* puertos que sirven para interconectar las señales de los medios de transmisión de un punto a otro.

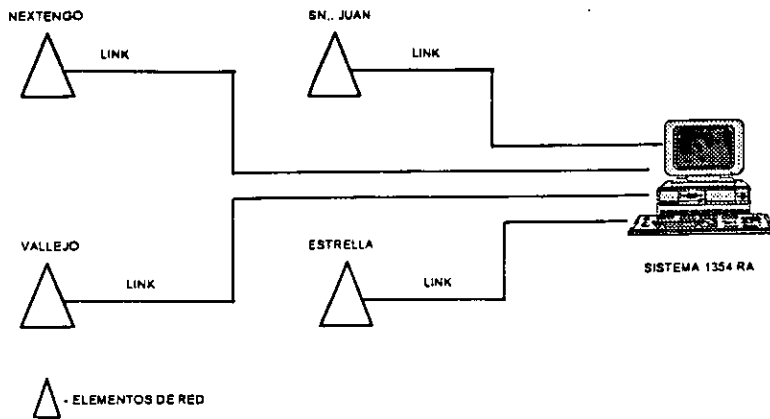
*Ciruito:* interconexión entre uno o más puertos.

*Mapa:* entidad en la cual los circuitos se pueden poner en servicio activo .

*Partición:* conjunto de puertos que se pueden gobernar en el cross-connect tenemos hasta 8 particiones en las cuales podemos distribuir los puertos de

acuerdo a las necesidades, un puerto no puede declararse en diferentes particiones .

La conectividad entre los cross-connect 1644 SX y el equipo de restauración automática 1354 RA es como el que se muestra en la fig. 6.13

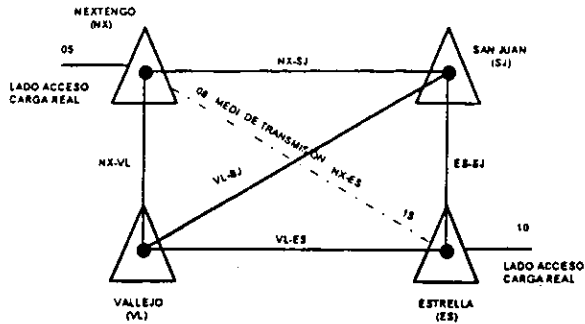


**FIG. 6.13 CONECTIVIDAD ENTRE EQUIPO CROSS-CONNECT Y EL DE RESTAURACIÓN**

El tipo de link (enlace) usado es es del tipo X 25 a través de una red de datos.

A cada elemento de red le asignamos un número de identificación único que sirve de etiqueta para que el equipo de restauración pueda identificarlo de los demás.

A continuación se describe un ejemplo de restauración automática mediante el equipo de restauración automática.



**FIG. 6.14 RESTAURACIÓN AUTOMÁTICA**

Se crea un circuito bidireccional automáticamente entre Nextengo y Estrella .

*Nextengo:* puerto 05 Lado Acceso (Lado Multiplex ).  
08 Lado red ( Medio de atrasmisión)

*Estrella:* Puerto 10 Lado Acceso (Lado Multiplex ).  
08 Lado red ( Medio de atrasmisión).

*Nombre:* NX/ES 19200N001

Para que exista la restauración se necesita que el medio de transmisión que lleva el circuito NX/ES 1920N001, presente alguna alarma, donde esta alarma puede ser ocasionada por:

- 1).- *Rompimiento del medio de transmisión por donde esta el circuito.*
- 2).- *Degradación de la señal en cualquiera de los puertos lado red (puertos: 08 Nextengo 15 Estrella).*

La red creada, tendrá declarados anticipadamente trayectos vacios (sin carga) para la protección de los circuitos con carga real.

Supongamos que el medio de transmisión entre Nextengo y Estrella se ponga en falla por el rompimiento de la fibra óptica.



El sistema de restauración automático 1354 RA al recibir las alarmas remotas de Nextengo y Estrella empezará a buscar una ruta alterna en su base de datos posteriormente enviará los comandos necesarios a los elementos de red que esten involucrados en la construcción automática de la nueva trayectoria que tomará la carga real (tráfico).

El tiempo estimado para la construcción de la nueva trayectoria es de 100 a 500 ms. en condiciones normales; por lo tanto nuestra nueva trayectoria podría ser:

- 1).- *NX/SJ/ES.*
- 2).- *NX/VL/ES.*
- 3).- *NX/VL/SJ/ES.*
- 4).- *NX/SJ/VL/ES.*

La trayectoria a ser tomada dependerá de los recursos disponibles que se tengan en ese momento.

El circuito cambiará de estado a "INS-PRO" (in service active protected).

Para poder normalizar (regresar a su ruta original) se requiere que el medio de transmisión en falla sea reparado. Todos estos eventos son realizados automáticamente.

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se mostraron parte de los diferentes sistemas de comunicación existentes, enfocados a la telefonía, principalmente, se tocaron puntos como la transmisión analógica, el multiplexaje por división de frecuencia, posteriormente se habla sobre la digitalización de señales analógicas mediante el PCM y como, a partir de la digitalización se jerarquizan las señales digitales y nacen los sistemas plesiócronicos, y finalmente, se desarrolla la técnica SDH.

También se mencionan los diferentes medios de transmisión, haciendo énfasis en la transmisión de información mediante la fibra óptica y obviamente se habla de los principales equipos fabricados con la jerarquía digital sincrónica.

Al finalizar el presente trabajo, podemos concluir que la técnica SDH, no es una utopía, sino que en la actualidad es una técnica que permite crear redes de transporte, que pueden interconectarse con redes localizadas en diferentes sitios geográficos y en diferentes países sin la necesidad de cambiar de estándar o protocolo de comunicación, estas redes tienen las facilidades de gestión, es decir la posibilidad de supervisar todos y cada uno de los sistemas así como la restauración automática de circuitos, esta flexibilidad que brindan las redes SDH, las hace altamente confiables y abate los costos de adquisición en gran medida, ya que permite modificar el criterio tradicional en la construcción de sistemas (1+1), debido a que con los equipos de gestión, se pueden priorizar y proteger circuitos a nivel STM-1 creando rutas de trayectoria de restauración usando los recursos de toda la red, lo que permite la construcción de sistemas (1+0) en la construcción de la red; es posible la implementación de redes de alta capacidad (2.5 G/s) en configuración (1+0) gracias a las fibras ópticas que permiten el transporte de caudales de información casi ilimitados y permiten tener distancias entre repetidores regenerativos de hasta 90 Km..

Es importante hacer notar la alta confiabilidad y la gran flexibilidad que ofrecen las redes SDH implementadas con fibras ópticas como medio de

transmisión, pero esta situación no descarta el uso de otros medios de transmisión e incluye equipos PDH en subredes secundarias o enlaces de interconexión entre subredes o bien como sistemas de respaldo a la red principal SDH; ya que existen sistemas con un alto porcentaje de confiabilidad pero aun no existen sistemas inmunes a fallas.

## BIBLIOGRAFIA

PRINCIPLES OF COMMUNICATION SYSTEMS  
HERBERT TAUB AND DONALD L SCHILLING  
MC GRAW HILL

TELECOMUNICATION TRANSMISSION HANDBOOK  
ROGER L FREEMAN  
A WILEY - INTESCIENSE COMMUNICATION

TRANSMISIÒN DE INFORMACIÒN MODULACIÒN Y RUIDO  
MISCHA SCHUARTS  
MC. GRAW HILL

COMUNICACIONES ELÈCTRICAS  
4º TRIMESTRE 93  
ALCATEL-INDETEL

INTRODUCTION TO SYNCHRONOUS SYSTEM  
DOC. 14035/3  
ALCATEL INDETEL

MANUAL DE EQUIPO DE GESTION 1354 RA  
ALCATEL-INDETEL

MANUAL EQUIPO DE LINEA 1664 SL 2.5 Gb  
ALCATEL INDETEL

MANUAL TÉCNICO CROSS CONNECT 1644SX  
ALCATEL INDETEL

MANUAL ADM 622SM 1651 SM  
ALCATEL INDETEL

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA  
HEBERTO JORDAN AGUILAR  
ROBERTO LINARES MIRANDA  
ALFA OMEGA

TODO SOBRE LAS FIBRAS ÓPTICAS  
JUAN TUR  
MA. ROSARIO MARTINEZ  
MARCOMBO

APUNTES DE FIBRA ÓPTICA  
U.N.A.M 1991