



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO

CAMPUS ARAGÓN



**Diseño de una red redundante de fibra óptica
para la comunicación de audio y video con calidad
broadcast**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
EN EL ÁREA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
P R E S E N T A
JORGE ALFREDO VILLEGAS MANCILLA

ASESOR: ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ

MÉXICO

2001

293104



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.



**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN.**

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

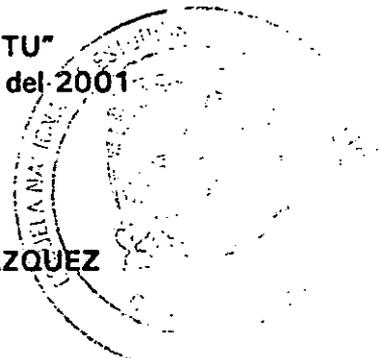
**JORGE ALFREDO VILLEGAS MANCILLA
P R E S E N T E.**

En contestación a la solicitud de fecha 23 de febrero del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado "DISEÑO DE UNA RED REDUNDANTE DE FIBRA ÓPTICA PARA LA COMUNICACIÓN DE AUDIO Y VIDEO CON CALIDAD BROADCAST", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 6 de marzo del 2001
EL DIRECTOR

M en R.I. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ



C p Secretaría Académica.
C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
C p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/vr



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CAMPUS ARAGÓN

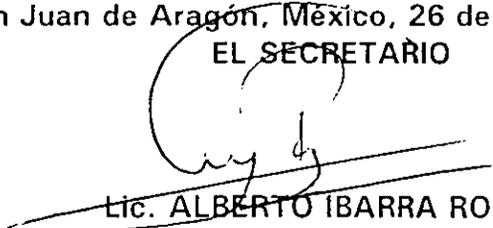
SECRETARÍA ACADÉMICA

Ing. IVÁN MUÑOZ SOLÍS
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 26 de abril del año en curso, por la que se comunica que el alumno JORGE ALFREDO VILLEGAS MANCILLA, de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "DISEÑO DE UNA RED REDUNDANTE DE FIBRA ÓPTICA PARA LA COMUNICACIÓN DE AUDIO Y VIDEO CON CALIDAD BROADCAST", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 26 de abril del 2001
EL SECRETARIO



Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

C.p. ASESOR DE TESIS.
C.p. INTERESADO.

AIR/vr



"No basta con enseñar a un hombre una especialidad. Aunque esto pueda convertirlo en una especie de máquina útil, no tendrá una personalidad armoniosamente desarrollada... La insistencia exagerada en el sistema competitivo y la especialización prematura con base en la utilidad inmediata, matan el espíritu en que se fundamenta toda vida cultural, incluido el conocimiento especializado."

Albert Einstein

Agradecimientos

A Dios.

Porque con tus bendiciones permitiste que hiciera realidad un sueño; por darme la fuerza para seguir adelante. ¡Gracias!

A mi Padre, Alfredo.

Porque con tu ejemplo supiste forjar un hombre de provecho; porque me has enseñado que en la vida se obtiene por lo que se lucha; porque me has enseñado el camino del bien. Gracias por todos los sacrificios que has hecho por mi, ¡no te defraude! parte de este triunfo te pertenece. Le doy gracias a Dios por tenerte. ¡Gracias Papá! ¡Te quiero mucho!

A mi Madre Catarina.

Por traerme al mundo, por dedicar los mejores años de tu vida para mi formación, por ser un ejemplo de rectitud y nobleza; por enseñarme a ser un hombre de provecho; parte de este triunfo te pertenece. Le doy gracias a Dios por tenerte. ¡Gracias! ¡Te quiero mucho Mamá!

A mi hermana Blanca y mi sobrina Stephanie.

Por su apoyo y comprensión; por su cariño; por todos los momentos de felicidad que hemos compartido. Gracias por ser parte de mi vida. ¡Las quiero mucho!

A mis abuelos Silvano (QED) y Loreto (QED).
*Por haber sido un ejemplo de trabajo y esfuerzo;
por enseñarme que la dignidad y la honradez son
virtudes de las cuales hay que sentirse orgulloso
por ayudarme a formar mi carácter. ¡Gracias!*

A mi abuela Dionisia.
Por tu amor y comprensión. ¡Gracias!

A mis tíos Raymundo y José.
*Por ser ejemplo de dignidad y honradez; por
motivarme para ser un profesionalista de
excelencia. ¡Gracias!*

A Verónica.
*Por ser parte importante de mi vida;
por tu cariño y comprensión; por el amor y
la ternura que me has dado; por tu apoyo
incondicional; por creer en mi. ¡Gracias!*

A los Sres. Gonzalo y Ana Maria.
*Por sus valiosos consejos y su apoyo
incondicional. ¡Gracias!*

Al Ing. Eleazar M. Pineda.
*Por compartir sus conocimientos
conmigo; por su paciencia y ayuda para
la realización de mi tesis; por su amistad.
¡Gracias!*

A todos mis profesores.
Por el legado de conocimientos. ¡Gracias!

Al Ing. Feliz San Lorenzo.

Por tu amistad; por toda tu ayuda y apoyo incondicional durante mi carrera; por tu motivación para seguir siempre adelante. ¡Gracias!

A Elizabeth Herrera.

Por tu amistad; por tu apoyo incondicional y tu motivación para buscar la excelencia. ¡Gracias!

***Al Ing. Eskary Espinosa, Ing. Israel García
Ing. Gerardo Mendosa, Ing. Manuel Reyes,
Lic. Rodolfo Alcaraz, Marco Jiménez y
Christopher Carrillo.***

Porque la amistad es el más noble y sencillo de los sentimientos; por su apoyo incondicional, y su motivación para que Yo alcanzará la meta.

A todos mis compañeros y amigos.

Gracias por esos cinco años de estudio, fiestas, convivencia, compañerismo y amistad.



Índice

*Diseño de una red redundante de fibra óptica
para la comunicación de audio y video con
calidad broadcast.*



<i>Índice.</i>	1
<i>Introducción.</i>	6
<i>Objetivo.</i>	8
<i>Justificación.</i>	8
<u>Capítulo I.</u>	
<i>Antecedentes.</i>	9
1.1 Sistema de comunicación.	10
1.2 Transmisión.	11
1.3 Ancho de banda.	11
1.4 Señal de banda base.	12
1.5 Topologías.	13
1.6 Propiedades del color.	14
1.7 Modulación / Demodulación.	15
1.8 Formatos analógicos y digitales.	16
1.9 Transmisión de señales digitales.	17
1.10 Muestreo.	18
1.11 Cuantización.	19



Capítulo II.

<i>Señales de audio y video para televisión.</i>	20
2.1 Televisión.	21
2.2 Generación de una señal de televisión.	21
2.3 Estándar de televisión para difusión.	22
2.4 Señal de video compuesta monocromática.	23
2.4.1 Señal de luminancia.	23
2.4.2 Pulsos de sincronía.	26
2.4.3 Pulsos de blanqueo.	27
2.5 Señal compuesta de color.	27
2.6 Tiempo de blanqueo horizontal.	29
2.7 Tiempo de blanqueo vertical.	29
2.8 Codificación de color.	30
2.8.1 Señal de luminancia.	31
2.8.2 Señal de crominancia.	31
2.8.3 Ráfaga de color.	32
2.9 Audio.	33
2.10 Sistema HDTV.	35

Capítulo III.

<i>Fibra óptica.</i>	37
3.1 Antecedentes históricos.	38
3.2 Ventajas de las comunicaciones por medio de la fibra óptica.	39
3.3 Ventajas de las fibras ópticas sobre los cables convencionales.	40
3.4 Desventajas de las fibras ópticas.	41
3.5 Sistemas de comunicación de fibra óptica.	41
3.6 Tipos de fibra óptica.	42
3.7 Propagación de la luz.	43
3.7.1 La física de la luz.	43
3.7.2 Velocidad de propagación.	44
3.7.3 Refracción.	44
3.7.4 Índice de refracción.	46
3.7.5 Ángulo crítico.	48



3.8 Propagación de la luz en la fibra óptica.	50
3.8.1 Modos de propagación.	50
3.8.2 Perfil de índice.	50
3.9 Configuraciones de la fibra óptica.	51
3.9.1 Fibra óptica de índice escalonado monomodo.	51
3.9.2 Fibra óptica de índice escalonado multimodo.	53
3.9.3 Fibra óptica de índice gradual multimodo.	53
3.10 Ángulo y cono de aceptación.	54
3.11 Apertura numérica.	56
3.12 Pérdidas en los cables de fibra óptica.	56
3.12.1 Pérdidas por absorción.	57
3.12.2 Pérdidas por dispersión de Rayleigh o materiales.	58
3.12.3 Dispersión cromática o de longitud de onda.	59
3.12.4 Pérdidas de radiación.	59
3.12.5 Dispersión modal.	60
3.12.6 Pérdidas de acoplamiento.	61
3.13 Fuentes de luz.	63
3.13.1 Diodos emisores de luz.	63
3.13.2 Diodo de inyección láser (ILD).	63
3.14 Detectores de luz.	65
3.14.1 Diodos PIN.	65
3.14.2 Diodos APD.	67
3.15 Láser.	67
3.16 Instalación de cables ópticos.	68
3.16.1 Instalación en ductos.	68
3.16.2 Instalación directa en piso (enterrado).	74
3.16.3 Instalación aérea.	75
3.16.4 Instalación submarina.	76
3.16.5 Instalación en interiores.	76
3.17 Empalmes.	76
3.17.1 Empalmes mecánicos.	77
3.17.2 Empalmes por fusión.	78
3.17.3 Máquinas para empalmar fibras ópticas.	80
3.17.4 Cajas de empalme.	81
3.18 Componentes pasivos.	83



Capítulo IV.

<i>Diseño de la red de fibra óptica.</i>	84
4.1 Introducción.	85
4.2 Necesidades de la red.	87
4.3 Tipo de red.	88
4.4 Distancia entre los nodos.	89
4.5 Necesidades técnicas de los nodos.	90
4.6 Secuencia para la implementación de la red de fibra óptica.	90
4.6.1 Propuestas para las trayectorias de las fibras ópticas.	91
4.6.2 Análisis de las trayectorias propuestas.	91
4.6.3 Revisión física de las trayectorias.	91
4.6.4 Reporte de la creación de una red de fibra óptica.	91
4.6.5 Solicitud de los permisos de excavación.	91
4.6.6 Solicitud de arrendamiento para el uso de postes.	92
4.6.7 Colocación de tubería.	92
4.6.8 Adecuación de los nodos en cada sitio.	92
4.6.9 Selección del equipo de fibra óptica.	93
4.6.9.1 Descripción general del equipo.	93
4.6.9.2 Modo de operación del sistema DV600.	95
4.6.9.3 Descripción de los componentes del sistema.	97
4.6.10 Instalación de la fibra óptica.	104
4.6.11 Empalmes.	104
4.7 Distribución de las señales dentro de los anillos.	105
4.8 Características generales de las señales de audio y video.	107
4.9 Diseño del nodo central.	108
4.10 Flujo de la señal de audio.	112
4.11 Flujo de la señal de video.	114
4.12 Equipo de la red.	116
4.13 Ajuste y prueba del equipo.	118
<i>Conclusiones.</i>	121
<i>Bibliografía.</i>	124



Introducción

Debido al crecimiento y alto desarrollo de la tecnología, así como a la diversidad de información en tiempo real que se maneja en una empresa dedicada a la producción y transmisión de programas y eventos especiales para televisión. A la facilidad de tener intercomunicados los diferentes centros de producción y postproducción, los que se encuentran en diferentes zonas geográficas del área metropolitana se crea la necesidad de seleccionar un medio óptimo de transmisión, es decir, enviar la mayor cantidad de información posible por un solo medio de transmisión de mayor calidad y confiabilidad.

Aunado todo esto la digitalización de señales marca un acelerado crecimiento en los sistemas de manejo de información, los cuales procesan flujos digitales provenientes de los diferentes centros de producción. Este movimiento dinámico en la transmisión de información debe combinarse dentro de un flujo de mayor velocidad. Al aumentar la velocidad de transmisión se tiene como límite el ancho de banda del medio de transmisión, que se piensa superar con el empleo de terminales ópticas. Las terminales ópticas tienen como función convertir el tren digital de pulsos eléctricos en una serie de pulsos luminosos. Para que viajen por el medio de transmisión, y éste debe de ser capaz de operar en un amplio ancho de banda a grandes distancias con mínimas atenuaciones y distorsiones, el medio que reúne estas características es la fibra óptica.

El principio de la propagación de la energía lumínica a través de la fibra óptica se conoce desde hace mucho tiempo, aunque sus aplicaciones tenían como límite la experimentación, el campo de la medicina, y en el peor de los casos para usos ornamentales. Los diferentes mercados y la evolución de las fibras ópticas nos indican que el mercado de las telecomunicaciones aparece como el más importante para el desarrollo de los sistemas que utilicen a la fibra óptica, esto es como medio de transmisión. Por lo que los grandes laboratorios a nivel mundial han centrado sus esfuerzos en el desarrollo de los sistemas de la transmisión por fibras ópticas.



La metodología que se sigue para la elaboración de la tesis es la siguiente:

Capítulo I. En este capítulo se da una introducción a lo que es un sistema de comunicación, el medio de transmisión y los modos de transmisión, el concepto de una señal de banda base y el ancho de banda, se analizan también las diferentes configuraciones que se pueden emplear para realizar un sistema de comunicación, se dan a conocer las partes más importantes del color, el significado de modular y demodular, la diferencia entre formatos, como se realiza una transmisión digital.

Capítulo II. Aquí se da una explicación de lo que es una señal de televisión, como se genera la señal de televisión, cual es el estándar para la transmisión de la señal de televisión; las partes que componen la señal de video para la transmisión de televisión; la señal compuesta para televisión y los tiempos que la forman; como se forma una señal de color para televisión; la señal de audio y una breve explicación del nuevo sistema de televisión de alta definición HDTV por sus siglas en ingles (High Definition Television).

Capítulo III. Se presentan los antecedentes históricos de la transmisión de señales a través de la fibra óptica; las ventajas y desventajas que se tiene al utilizar fibra óptica como medio de transmisión; los tipos de fibra óptica; la forma de propagación de la luz a través de la fibra óptica las configuraciones en fibra óptica; la forma de aceptación del as de luz en la fibra óptica; las pérdidas que se pueden dar en los cables de fibra óptica y el porque de estas pérdidas; las fuentes generadoras de luz para las fibras ópticas; los detectores o receptores ópticos; los sistemas con generación láser; los tipos de instalación de cables ópticos; tipos de empalmes en fibra ópticas y los componentes para realizar un enlace óptico.

Capítulo IV. Se analiza la forma de cómo se planea y se implementa una red en la que el medio de transmisión es la fibra óptica, las necesidades de un sistema para la transmisión de una señal de audio y video a través de fibra óptica, el hacer un planteamiento para garantizar que no haya perdida de señal en caso de alguna ruptura en el medio de transmisión, el diseño del flujo de señales dentro de un nodo central y a través del anillo de fibra óptica.



Objetivo

Dar solución a la problemática que se tiene hoy en día para la transmisión de señales de audio y video con calidad broadcast dentro del área metropolitana, con el objeto de tener enlaces permanentes con los diferentes centros de producción y postproducción de una misma empresa, el poder transmitir varias señales de audio y video con normas NTSC y calidad broadcast simultáneamente con el mínimo de equipo y personal que se pueda utilizar, el poder manejar diferentes formatos (analógico y digital) por un solo medio (fibra óptica) de transmisión que cuente con un amplio ancho de banda.

Justificación

Se necesita diseñar una red de comunicación, para mantener permanentemente comunicada a una empresa que se dedica a la transmisión y producción de programas y eventos especiales para televisión, con sus centros de producción y postproducción que se encuentran distribuidos dentro de diferentes zonas geográficas del área metropolitana, cuyo medio de transmisión sea óptimo para poder transportar al mismo tiempo varias señales de audio y video con normas NTSC y calidad broadcast, el cual debe ser capaz de operar en un amplio ancho de banda a grandes distancias con mínimas atenuaciones y distorsiones. Para lograr cumplir con los requisitos antes mencionados se aplican los conocimientos adquiridos en el área de comunicaciones dentro de la ingeniería.

El medio que reúne estas características es la fibra óptica. Por lo tanto se propone el diseño de una red de fibra óptica con redundancia que la hace lo suficientemente segura para no perder la información en caso de ruptura en algún punto de la red.



Capítulo I

Antecedentes.



1.1 Sistema de comunicación.

En la figura 1.1 podemos observar un diagrama a bloques simplificado de un sistema de comunicación. Un sistema de comunicación esta compuesto de cuatro elementos básicos, (transmisor, receptor, medio de transmisión, y protocolo) El transmisor es la fuente donde se genera la señal, el medio de transmisión se entiende como el conducto por donde viaja la información de un punto a otro, el receptor es el punto al que va dirigida la señal generada desde la fuente, protocolo o lenguaje que es en esencia un conjunto de reglas para el comportamiento formal y ordenado en el intercambio de datos o señales entre el transmisor y el receptor, este elemento anteriormente no era considerado dentro de un sistema de comunicación, aun siendo éste de gran importancia ya que si el transmisor y el receptor no cuentan con el mismo protocolo o lenguaje el objetivo de la comunicación no se cumple.

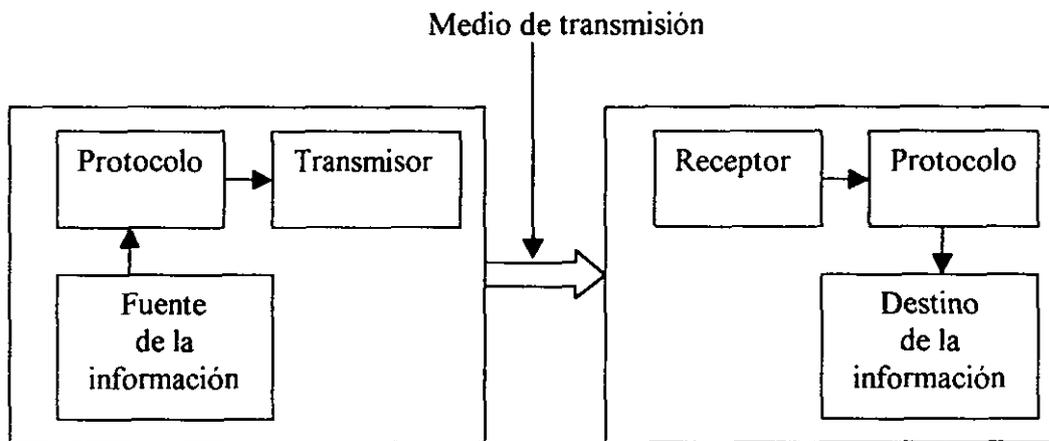


Figura 1.1 Diagrama a bloques de un sistema de comunicación.

Para la comunicación a grandes distancias es necesario que se efectúen algunas alteraciones u otras operaciones en el manejo de la señal eléctrica en la cual se conducirá la información. Una vez que se recibe la señal, se aplican las operaciones inversas para restaurar la información.

En la transmisión de información, las portadoras se contaminan con ruido, éste es generado por numerosos hechos naturales y artificiales, lo que provoca errores en la transmisión de la información. Por tanto el criterio utilizado por la ingeniería es de mantener la señal tan libre de errores como sea posible. Los sistemas de comunicación se encuentran en cualquier sitio que se requiera transmitir información desde un punto a otro. El teléfono, la radio, la televisión, radio-localizadores, e internet son sólo algunos ejemplos de los sistemas de comunicación que utilizamos cotidianamente.



1.2 Transmisión.

La necesidad de estar comunicados hace necesario que los sistemas de comunicación sean más eficientes, confiables y económicos. En los sistemas de comunicaciones electrónicas se puede manejar la transmisión solamente en una dirección, en ambas direcciones pero sólo uno a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo. Estos se conocen como modos de transmisión, y son:

Modo de transmisión simplex (SX)

Las transmisiones sólo ocurren en una sola dirección, a estos sistemas también se les conoce como sistemas de un sentido, donde sólo sirven para recibir o transmitir. La radio comercial o la televisión son ejemplos de este modo de transmisión; en donde el auditorio siempre recibe y la estación siempre transmite.

Modo de transmisión half-duplex (HDX)

Las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo. A estos sistemas se les conoce también como sistemas de alternativa de dos sentidos, pueden ser transmisores o receptores pero no al mismo tiempo, esto es tienen alternancia en su funcionamiento cambian de transmisor a receptor o viceversa. Los radios de banda civil, los walkie-talkie son sólo algunos ejemplos de éste modo de transmisión.

Modo de transmisión full-duplex (FDX)

Las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones al mismo tiempo. A estos sistemas también se les conoce como línea simultánea de doble sentido, puede transmitir y recibir la señal de información simultáneamente. Un ejemplo de estos es el sistema de telefonía.

1.3 Ancho de banda.

El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es el rango de frecuencias mínimo requerido para la propagación de la información a través del sistema, éste debe ser lo suficientemente grande (ancho) para pasar todas las frecuencias significativas de la información.

La capacidad de información en un sistema de comunicación es una medida de cuanta información se puede trasladar desde un punto a otro por un sólo medio de transmisión en un periodo determinado de tiempo. La cantidad de información que se pueda propagar a



través de este medio de transmisión está en función del ancho de banda del sistema y el tiempo de transmisión.

La relación entre el ancho de banda, el tiempo de transmisión y la capacidad de información fue desarrollada por R. Hartley en 1920, en los laboratorios Bell. Donde la ecuación de la ley de Hartley es:

$$I \propto B \times t$$

Donde:

- α = Relación (Directamente proporcional)
- I = Capacidad de información (Adimensional)
- B = Ancho de banda (hertz o $\frac{1}{\text{segundos}}$)
- t = Tiempo de transmisión (segundos)

En la ecuación se muestra que la capacidad de información es una función lineal y directamente proporcional al ancho de banda del sistema al igual que al tiempo de transmisión. Por ejemplo para un canal de telefonía se requiere un ancho de banda de 4Khz, para transmisión de FM comercial de música de alta fidelidad se requiere de un ancho de banda de más de 200 KHz. Y para señales de televisión con calidad de difusión se requiere de un ancho de banda de 6 MHz. Esto es cuanto mayor sea la cantidad de información por unidad de tiempo, mayor será el ancho de banda requerido. En la figura 1.2 se muestra el espectro de frecuencias electromagnéticas.

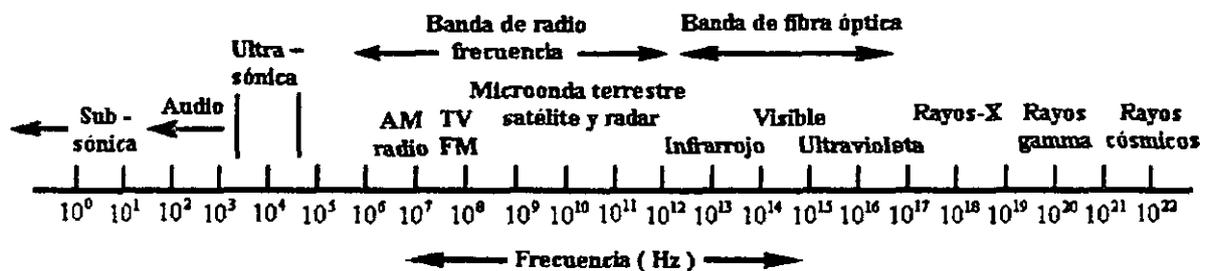


Figura 1.2 Espectro de frecuencias.

1.4 Señal de banda base.

La señal de información que modula la portadora principal se puede llamar señal de banda base o simplemente banda base. Las señales de banda base se convierten a partir de su banda de frecuencia original a una banda más adecuada para la transmisión a través del sistema de comunicaciones. Esto es, las señales de banda base se convierten en frecuencia alta en el transmisor y en frecuencia baja en el receptor para que la señal recupere el valor de la frecuencia original.



1.5 Topologías.

La topología o arquitectura de un circuito de comunicación identifica cómo se encuentran interconectadas las distintas ubicaciones (nodos) dentro de la red. Las topologías más comúnmente usadas son las de: punto a punto (a), estrella (b), bus (c), anillo (d), malla (e). En la figura 1.3 se muestran varias de las configuraciones y topologías usadas para las redes de comunicación, y a continuación se mencionan las características más importantes de cada una de ellas.

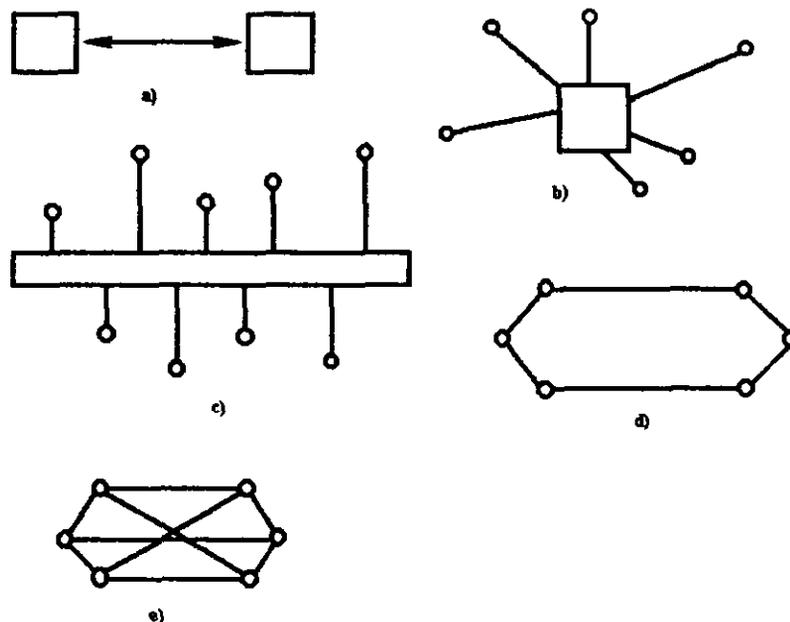


Figura 1.3 Topologías de sistemas de comunicación.

- a) **Punto a punto** es cuando la comunicación se establece sólo entre dos nodos.
- b) **Estrella** éste se da cuando la comunicación se establece entre diferentes nodos de la red, pero todos van conectados hacia un solo nodo central que es el que comunica a todos los nodos, los enlaces entre el nodo central y cada uno de los nodos de la red es punto a punto, la desventaja de esta topología es que si falla el nodo central se pierde toda la comunicación entre nodos, y la ventaja es que si se pierde un sólo nodo que no sea el nodo central no afecta la comunicación entre los demás nodos de la red.
- c) **Bus** éste se realiza cuando se interconectan diferentes nodos a través de un medio de comunicación común entre ellos, con la desventaja de que si uno de los nodos



tienen algún problema todos los nodos subsecuentes a él perderán la comunicación con los demás nodos y viceversa la ventaja es que sólo ocupan un medio de comunicación común.

- d) **Anillo** éste se da cuando se conectan todos los nodos de la red uno seguido del otro, hasta que el último nodo se una con el primer nodo, este modo tiene la desventaja de que tienen una comunicación con un sentido, esto es, el nodo central es el comienzo y pasa la información al nodo inmediato posterior y éste a su vez lo transmite al nodo inmediato posterior a él y así sucesivamente por lo que si el nodo inmediato posterior al central manda información al nodo central esta información tiene que viajar a través de todo el anillo para llegar al nodo central, éste también tiene la desventaja de que si se falla el medio de comunicación en cualquier punto de la red se pierde toda la comunicación entre los nodos a menos que se utilice un sistema de redundancia. La ventaja que se tiene con éste modo de comunicación, es que, se utiliza sólo un medio de comunicación para enlazar a toda la red al igual que el de bus, con la diferencia que se puede utilizar un sistema de redundancia en caso de que uno de los nodos falle, por lo que la comunicación entre los demás nodos no se pierde.
- e) **Malla** éste se da cuando la comunicación se establece entre diferentes nodos de la red con enlaces punto a punto; como la topología de estrella; sin el inconveniente de tener que centralizar la información ya que cada nodo tiene más de un enlace. Este tipo de topología es el más seguro, porque se pueden encontrar diferentes caminos para conectar un nodo con respecto a otro, por lo que es casi imposible perder la conexión entre la mayoría de los nodos de la red ya que siempre se encontrara un camino para habilitar los enlaces entre nodos. La desventaja de utilizar este tipo de red es el alto costo de implementarla, ya que se requiere de mucha infraestructura.

1.6 Propiedades del color.

El término color, de la manera que se usa en la televisión, tiene un doble significado; por un lado es la propiedad física de la luz visible, y por otro lado es la percepción de la visión humana.

Cómo propiedad física, puede ser definido y medido en términos objetivos y precisos. Cómo percepción resulta un término subjetivo, ya que cada individuo puede tener distintas sensaciones con cada color, y esto depende básicamente del medio ambiente que nos rodea.

Al igual que otros aspectos de la calidad de imagen, una importante tarea de la ingeniería de televisión es el establecimiento y definición de un criterio para medir las imágenes de color, el cual debe coincidir con la percepción de la mayoría de la gente. Cada elemento de la imagen a color tiene tres propiedades básicas.



Todo color tiene tres características que especifican la información visual: luminancia, matiz y saturación.

a) Luminancia:

Es la intensidad de la luz, el brillo de la imagen, o el sombreado de gris que tendría en una imagen de blanco y negro. En una imagen en blanco y negro las partes más claras tienen más luminancia que las partes oscuras, sin embargo, diferentes colores tienen también sombras de luminancia ya que algunos colores son más brillantes que otros.

b) Matiz:

Matiz o tinte es a lo que llamamos color y es a lo que nos referimos cuando decimos que algo es amarillo, rojo, azul, verde, y así sucesivamente. Existen colores con menos matiz, llamados acromáticos, como son el blanco, negro y gris. Dentro del espectro visible existen infinitud de matices, pero solo los colores primarios y complementarios pueden clasificarse en términos de sí mismos, sin ambigüedades.

c) Saturación:

Es la pureza del color, es decir la intensidad cromática del color esto es que tan concentrado, intenso o vívido es el color. Los colores saturados son intensos profundos o fuertes, los colores pálidos o débiles tienen poca saturación. La saturación indica cómo está diluido el color por el blanco, por ejemplo el rojo intenso está completamente saturado, pero cuando el rojo es diluido por el blanco nos da como resultado el rosa, se entiende que un rojo completamente saturado no tiene blanco.

1.7 Modulación / demodulación.

En los sistemas de comunicaciones analógicas, se tiene una señal de información con una frecuencia relativamente baja y se necesita de una señal con una frecuencia relativamente alta para poderla transmitir. La información de la fuente actúa sobre, o modula una señal senoidal. Por lo tanto, modular simplemente significa variar o cambiar. Si la información de la alta, sobre la cual actúa, se llama portadora, la señal resultante se llama la señal fuente de frecuencia relativamente baja se llama modulación, la señal de frecuencia relativamente modulada. Esto es la información se transporta a través del sistema sobre la portadora.

En el sistema de comunicación, la modulación es el proceso de variar o cambiar alguna propiedad de una portadora de acuerdo con la información original de la fuente. Recíprocamente, la demodulación es el proceso de convertir los cambios en la portadora a la información original de la fuente. La modulación se realiza en el transmisor, en un circuito llamado modulador, y la demodulación se realiza en el receptor, en un circuito llamado demodulador.



En los sistemas de comunicaciones existen tres propiedades que pueden ser variadas para la modulación: la amplitud (v), la frecuencia (f), y la fase (θ), o cualquier combinación de dos o más de estas propiedades. Si la amplitud de la portadora es variada proporcionalmente a la información de la fuente obtenemos la amplitud modulada (AM). Si variamos la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la información de la fuente obtenemos la frecuencia modulada (FM), si ahora variamos la fase de la portadora proporcionalmente a la información de la fuente obtenemos la fase modulada (PM).

1.8 Formatos analógicos y digitales.

Existen dos tipos básicos de sistemas de comunicación electrónicas: analógico y digital.

Un sistema de comunicación analógico es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma analógica (una señal variando continuamente en el tiempo tal como una onda senoidal). Los sistemas de radio comerciales emiten señales analógicas.

Un sistema de comunicación digital es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma digital (niveles discretos tal como +5V y tierra). Los sistemas binarios utilizan señales digitales que sólo tiene dos niveles discretos (1's y 0's). Frecuentemente la información de la fuente original está en una forma que no es adecuada para la transmisión y debe convertirse en una forma más adecuada antes de la transmisión.

Los sistemas de comunicación analógicas fueron los primeros en desarrollarse; sin embargo, en los últimos años los sistemas de comunicación digitales se han hecho más comunes.

La señal convencional de video está compuesta por escenas analógicas de brillo. Estas señales varían continuamente, y en la recepción (monitor), el ojo responde a estas variaciones que se producen de manera ordenada en la pantalla.

La señal de video es analógica, tanto en la generación como en la regeneración. Es en estos puntos que se tiene la opción de convertir la señal a un formato digital. Esta conversión es posible hacerla con los procesos de conversión utilizados actualmente.

La señal analógica es muestreada en el dominio del tiempo y los puntos muestreados están separados uniformemente. Las amplitudes de las muestras están definidas por niveles preestablecidos de cuantificación, los cuales están identificados para cada punto de muestreo.

Cada nivel descrito, entonces, por una "palabra codificada" o byte, la cual es una serie de pulsos (encendido – apagado) o bit, y que pueden ser procesados, grabados y transmitidos. A esto se le conoce como sistema binario, ya que el sistema sólo puede tomar dos valores 1 y 0.

El número de cuantización en los niveles puede ser descrito como 2^n , donde n es el número de bits por palabra. La elección del número de bits por palabra y el número de niveles que pueden ser identificados, involucra un importante criterio en el diseño del



sistema digital, ya que si hay muy pocos, la imagen tendrá una apariencia deficiente. Por otro lado, si existen demasiados bits por palabra y niveles de identificación, esto lleva al incremento innecesario en el ancho de banda requerido. Una opción común para los sistemas de transmisión y grabación de televisión son ocho bits por palabra, estos pueden ser identificados por 2^8 o 256 niveles distintos de señal. En la práctica, el número de niveles que son identificados es un poco menor, típicamente 235, ya que el excedente se utiliza en sobrecargas temporales.

En el formato digital existen funciones de conversión y procesos en la señal que resultarían difíciles o en algunos casos imposibles de realizar en el formato analógico. Después de la conversión analógica / digital, la señal está formada solamente por series de números, los cuales sólo tienen dos valores, y pueden ser manipulados casi sin pérdida en la calidad de la imagen. Esta característica se puede aunar a la facilidad con que los bits pueden ser almacenados en las memorias, y accedidos rápidamente, gracias al gran impacto que ha tenido la industria de la computación. Mucha de esta tecnología es aplicable a la señal de audio y video.

1.9 Transmisión de señales digitales.

Las señales codificadas en forma digital pueden ser transmitidas en serie o en paralelo. En paralelo, un circuito es provisto para cada uno de los ocho bits. En serie los ocho bits de cada palabra son producidos simultáneamente, estos son guardados en un registro (shift register), para después leerlos secuencialmente en un sólo circuito.

El ancho de banda mínimo requerido en los canales seriales es nominalmente la mitad del rango de los bits requeridos. Un sistema paralelo de ocho canales requerirá entonces ocho canales separados, cada modo de transmisión tiene ventajas y desventajas.

El flujo de bits en el video se produce en formato paralelo, el costo y la complejidad del equipo serial se evita con la transmisión en paralelo. Los sistemas paralelos son más baratos y simples para señales de distribución local. Por otro lado, un cable multiconductor es más caro y voluminoso, sin contar que resulta más costosa la transmisión en paralelo para distancias largas. Igualando los tiempos de retraso en los sistemas paralelos, se tiene la posibilidad de un cruce de información entre vías. El equipo para procesar la señal de forma paralela es más costoso y complejo, que el de forma serial. Por lo tanto la transmisión en forma serial es utilizada para grandes distancias y para el manejo de señales más complejas.

Si no hay compresión de ancho de banda, los requerimientos para cualquier tipo de transmisión (54 MHz o más para señales luminosas compuestas de ocho bits), son un serio problema para usar de modo digital en la transmisión de grandes distancias. Para una señal de ocho bits, el ancho de banda requerido no entra en el estándar de 1.54 Mbits/s.

Para señales que no han sido comprimidas, resulta impráctico usar cable coaxial, a menos que se trate de distancias cortas ó para señales con el ancho de banda de un satélite de banda C o canales de microondas con 36 MHz. Es por lo tanto, que la fibra óptica representa la mejor solución para la transmisión de video sin compresión.

Los sistemas de fibra óptica que se emplean en transmisión digital son capaces de manejar capacidades de información del rango de THz. Es por lo que el ancho de banda recibe el



mayor énfasis en el diseño de sistemas digitales. Además de que los sistemas digitales son más tolerantes al ruido que los sistemas analógicos.

1.10 Muestreo.

El periodo de muestreo y el intervalo de muestreo es una especificación fundamental. Es uno de los temas que más concierne a los organismos internacionales de estandarización.

El muestreo es el primer paso en el proceso de convertir una señal analógica a digital y el periodo de muestreo debe cumplir con ciertas condiciones:

- a) Debe ser igual o exceder el límite de Nyquist para evitar la degradación de la resolución horizontal y para minimizar el aliasing. Esto requiere que sea por lo menos el doble del límite superior de los componentes de la frecuencia en la señal analógica, por ejemplo para una señal de 8.5 MHz ($2 * 4.25$ MHz) para el sistema NTSC. En la práctica se utilizan filtros con la frecuencia de corte variable, lo que permite utilizar un sobremuestreo con periodos mayores al del Teorema de Nyquist.
- b) Debe ser un múltiplo integral de la línea del periodo. Con esta relación, los puntos de muestreo en las líneas de barrido adyacentes, están directamente unas encima de otras.
- c) Para las señales compuestas que emplean una subportadora, se debe emplear un múltiplo integral de la frecuencia de la subportadora. Esto no es un requerimiento obligatorio, pero la señal procesada y decodificada puede simplificarse con periodos de muestreo que cumplan este criterio.
- d) Las señales compuestas deben ser las mismas para 525 líneas y 30 cuadros (NTSC) que para 625 líneas y 25 cuadros (PAL).

Se escogió 13.5 MHz. para la componente de la señal de video, en el periodo de muestreo, ya que este valor es un múltiplo tanto del sistema NTSC como en PAL.

Aliasing: Es un defecto o distorsión en la imagen de televisión. En el video analógico el aliasing es típicamente causado por interferencia entre dos frecuencias tales como la frecuencia de la luminancia y la frecuencia de la crominancia o entre la frecuencia de la crominancia y la frecuencia del campo explorado, esto se manifiesta como moire o líneas rectas que convierten en líneas onduladas o la imagen se vuelve multicolor como el arco iris.

En el video digital el aliasing es causado por insuficientes muestras así como también por un pobre o mal filtrado del video digital y este defecto típicamente se ve como, líneas diagonales con orillas dentadas y centellantes o aclaración en los detalles de la imagen.



Moire: En el video es una forma ondulada que aparece como un elemento indeseable o defecto en la imagen. Y es causada por dos señales de alta frecuencia. En la imagen se mezclan y juntas crean una forma ondulada visible de baja frecuencia.

1.11 Cuantización.

Este es el siguiente paso en una conversión analógico a digital.

El rango de la amplitud de la señal se divide entre los intervalos discretos, y se establecen unos niveles de cuantificación para cada intervalo. Este nivel es asignado a las muestras, teniendo cada una un valor analógico que cae dentro del intervalo. La diferencia entre el nivel de cuantificación y la señal analógica es el punto muestreado llamado error de cuantificación.

Los sistemas de cuantificación, para televisión digital están basados en palabras de 8 bits con 2^8 o 256 valores discretos. Generalmente son identificados menos de 256 niveles, ya que existe la necesidad de usar algunos de estos para audio, datos (close caption), y señales de control.

La señal compuesta, incluyendo el pulso de sincronía, se transmite en el rango de cuantificación de los niveles 4 a 200.



Capítulo II

Señales de audio y video para televisión.



2.1 Televisión.

El significado de la palabra televisión es "ver a distancia". Para un sistema de difusión de televisión, la información visual de alguna escena captada por una cámara será convertida en una señal eléctrica de video para su transmisión a través de un medio de comunicación hacia el receptor. Las variaciones eléctricas ocurridas de la información visual corresponden a los cambios de valores de la intensidad de luz en la escena captada por la cámara, a los valores de estos cambios se les conoce como señal de video. Del lado del receptor, estas variaciones (señal de video) se utilizan para poder reconstruir la escena tomada por la cámara, y poder ser visualizadas en la pantalla fluorescente del tubo de imagen (tubo de rayos catódicos). Para la señal de video monocromática la imagen reproducida será en blanco y negro así como también en diferentes tonos de grns. Para la señal de video en color la imagen será reproducida en todos los colores de cuantas combinaciones se obtengan de los colores base para televisión que son rojo, verde y azul. La palabra video proviene del latín y su significado es "yo veo", del mismo modo la palabra audio también proviene del latín y su significado es "yo oigo". Ambos términos corresponden respectivamente, el video a la luz y el audio al sonido.

2.2 Generación de una señal de televisión.

La emisión de televisión monocromática involucra la transmisión de dos señales separadas; una de audio y una de video. Y la emisión de estas son totalmente separadas. La transmisión de audio utiliza la modulación de frecuencia y la transmisión de video utiliza la modulación de amplitud. En la figura 2.1 se muestra un diagrama a bloques para un transmisor de televisión monocromática. En donde podemos observar a los dos transmisores que son totalmente independientes: uno de FM (Frecuencia Modulada) para la información de audio y uno de AM (Amplitud Modulada) para la información del video y cuyas salidas se combinan en un puente diplexor y alimentan una sola antena. Un puente diplexor es una red que se utiliza para combinar las salidas de dos transmisores que operan a diferentes frecuencias y utilizan el mismo sistema de antena. La información de video se limita a las frecuencias menores a 4 MHz y puede generarse mediante una cámara, un video cassette, un disco duro de computadora, un disco compacto de video. El interruptor (switcher) de video se utiliza para seleccionar la fuente de información de video que se desea emitir. La información de audio se limita a frecuencias menores a 15 KHz y puede generarse en un micrófono, un audio cassette, un disco duro de computadora, un disco compacto de audio. La consola de audio se utiliza para seleccionar la fuente de audio apropiada para la emisión. En la misma figura también podemos observar las señales de sincronía horizontal y vertical, las cuales se combinan con la información del video antes de la modulación.

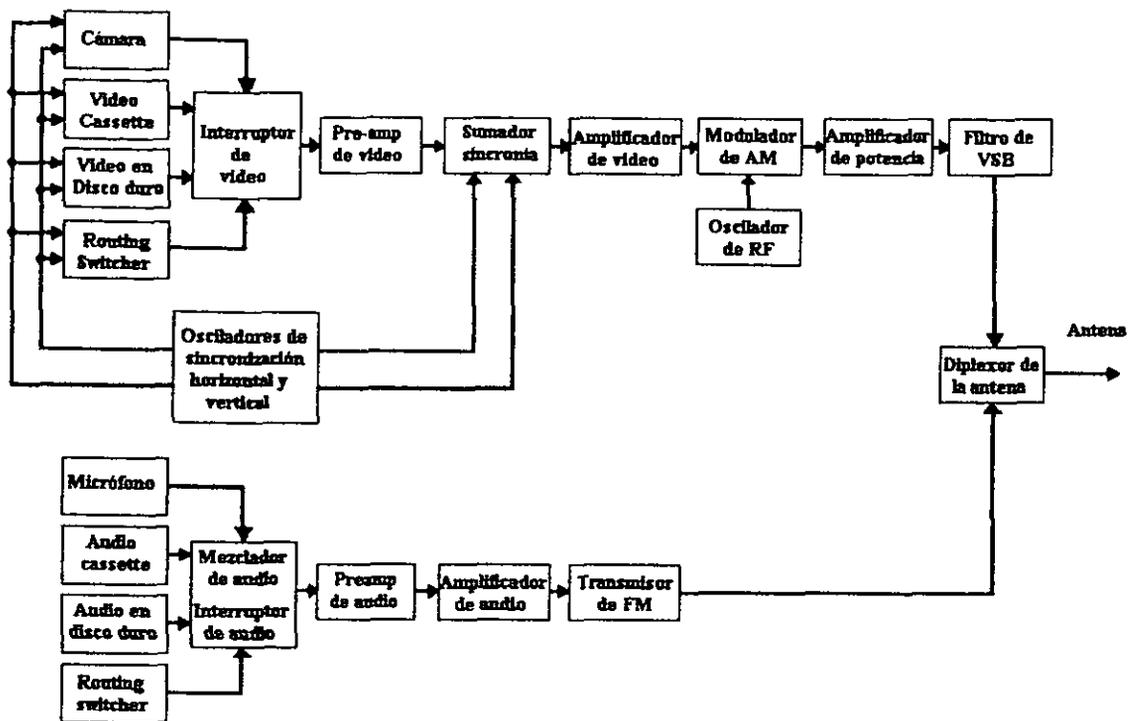


Figura 2.1 Diagrama a bloques del transmisor de TV monocromático

2.3 Estándar de televisión para difusión.

En la figura 2.2 observamos el espectro de frecuencia para un canal de difusión de televisión estándar. En donde su ancho de banda total es de 6 MHz. La portadora de video está separada a 1.25 MHz sobre el límite inferior del canal, y la portadora de audio está separada 0.25 MHz. Por debajo de límite superior del canal. Por lo que las portadoras de video y audio tienen siempre una separación de 4.5 MHz. La subportadora de color está ubicada a 3.58 MHz arriba de la portadora de video. La difusión de televisión comercial utiliza una transmisión de banda lateral vestigial para la información de video. La banda lateral inferior es de 0.75 MHz de ancho de banda y la banda lateral superior de 4 MHz. En consecuencia, las frecuencias bajas de video (perfil general del video) se enfatizan en relación a las frecuencias altas de video (detalles más exactos del video). La portadora de audio de FM (frecuencia modulada) tiene un ancho de banda de 75 KHz aproximadamente (± 25 KHz desviación para la modulación al 100%). La modulación de amplitud y fase se usa para codificar la información de color en la subportadora de color de 3,58 MHz.

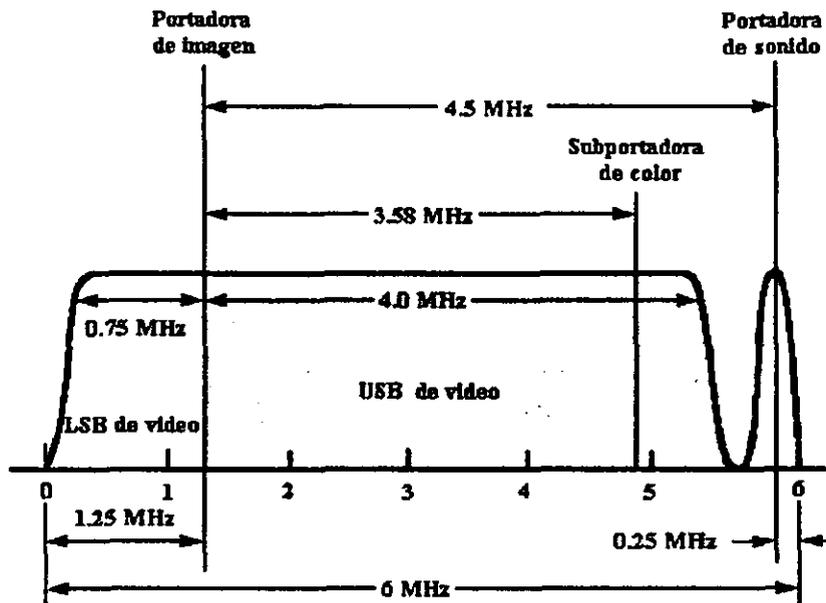


Figura 2.2 Espectro de frecuencia para televisión

2.4 Señal de video compuesta monocromática.

La señal de video compuesta significa que se origina desigualmente o en diferentes partes. La señal de video compuesta consta de tres partes separadas: 1) la señal de luminancia, 2) los pulsos de sincronía, 3) los pulsos de blanqueo. Estas tres señales se combinan de tal manera que forman la señal de video compuesta.

2.4.1 La señal de luminancia.

La señal de luminancia es la información de la imagen o señal de video. La señal se origina en la cámara y varía en amplitud proporcional a la intensidad (brillantez) de la imagen.

La señal de video puede tener dos formas de polarización, positiva y negativa: una polaridad positiva presenta a los pulsos de sincronía en la posición superior a la línea de referencia que es el nivel de blanqueo o 0 unidades IRE. IRE significa "Institute of Radio Engineers" que ahora se conoce como "Institute of Electrical and Electronic Engineers" (IEEE) y representa la unidad de medida que divide el área desde la parte baja de la sincronía hasta nivel pico del blanco en 140 unidades iguales, donde las 140 unidades IRE representan a 1 Vpp y el rango de video activo es de 100 IRE's. Una polaridad negativa presenta a los pulsos de sincronía en posición inferior a la línea de referencia. Para



cualquiera de las polaridades las partes blancas de la señal de video son opuestas a los pulsos de sincronía.

*** Polarización negativa.**

Con la polarización negativa, las señales de menor amplitud corresponden a las partes más blancas de la imagen y las de mayor amplitud corresponden a las más oscuras.

*** Polarización positiva.**

Con la polarización positiva, las señales de menor amplitud corresponden a las partes más oscuras y las de mayor amplitud corresponden a las más blancas.

La polarización negativa es el estándar de la FCC para la modulación de la portadora final de imagen.

En la figura 2.3 se representan los cambios en amplitud de la señal de luminancia para una exploración horizontal sencilla a la salida de un cámara de blanco y negro para una imagen con intensidades de luz variables 2.3 (a) representa los cambios en amplitud para una señal de polarización negativa conforme la imagen cambia de negro, en una escala de grises, a blanco. 2.3 (b) se representa la misma señal con la diferencia que ahora se toma la polarización positiva. 2.3 (c) se representa una señal de luminancia de polarización positiva para un patrón cuadrilado blanco / negro, alternado. Y donde se puede observar que la amplitud de la señal de luminancia sólo se alterna de mínima a máxima amplitud.

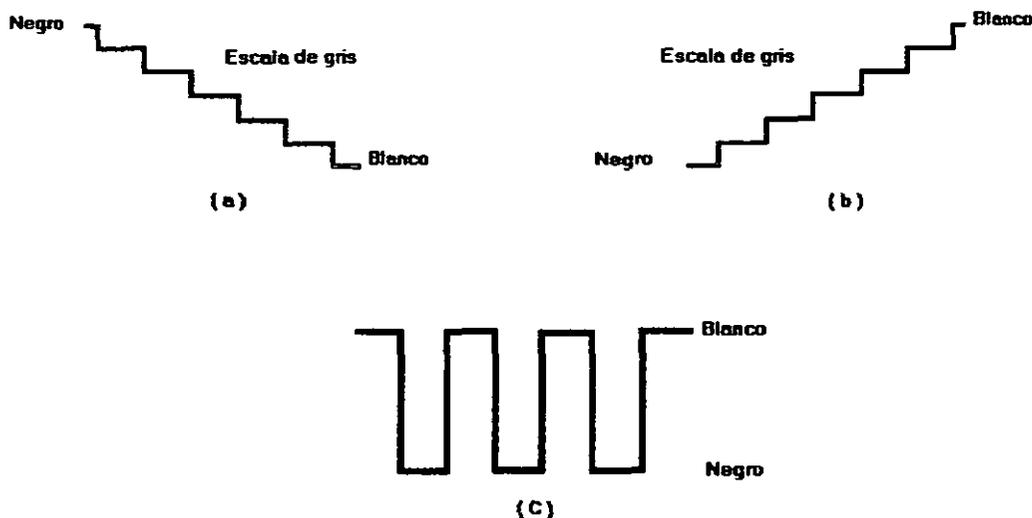


Figura 2.3 Cambios de amplitud en la señal de luminancia.



* Exploración.

Para generar una imagen, debe explorarse toda la superficie del tubo de la cámara. En esencia, la exploración se realiza de la misma manera que se lee una página de un libro. Y se le conoce exploración horizontal secuencial. Toda imagen se explora en una serie de líneas horizontales siguiendo una secuencia, una debajo de otra. Cuando el haz de electrones incide contra un elemento de imagen, se genera una señal cuya amplitud es proporcional a la intensidad de la luz que incide contra ella. La figura 2.4 muestra el haz de exploración que origina la porción activa de la exploración a partir de la esquina izquierda superior y se mueve diagonalmente hacia el extremo derecho (línea A-B) Esto se denomina porción activa de la línea de exploración por que este es el momento en el cual la imagen se convierte en señales eléctricas.

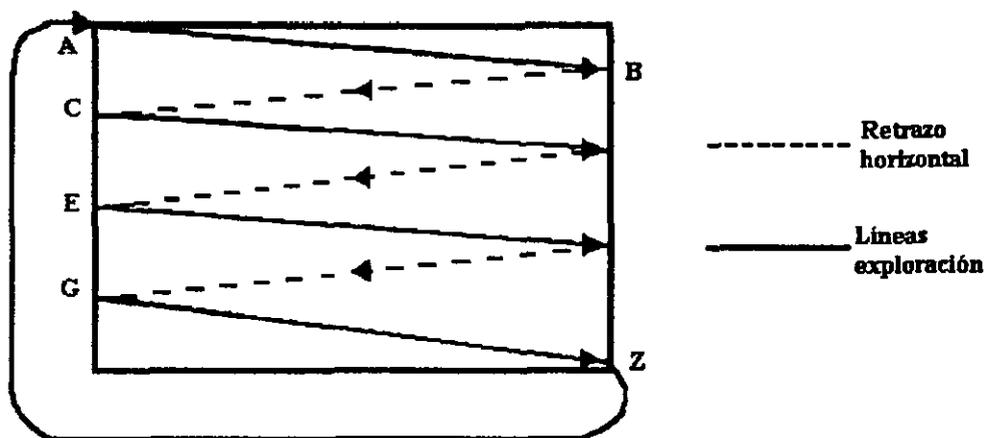


Figura 2.4 Trazo del haz de exploración.

Una vez que el haz ha alcanzado el extremo derecho de la superficie fotosensible, se regresa o se retrasa de inmediato al lado izquierdo (punto C) El tiempo de regreso se llama retraso horizontal (fly back) Cuando el haz de electrones de exploración alcanza la porción derecha inferior de la superficie fotosensible (punto Z), el haz regresa a la izquierda superior (punto A) y la secuencia se repite. El tiempo de retorno se llama retraso vertical. Mientras que el haz se está retrasando del lado izquierdo al derecho de la imagen y de abajo a arriba, se apaga o pone en blanco. Así no se genera, ninguna señal de video durante los tiempos de retraso horizontal y vertical. Las porciones activas y en blanco de una exploración horizontal sencilla constituyen una línea de exploración horizontal completa. El detalle de la imagen depende en gran medida del número de líneas de exploración horizontal. En los Estados Unidos, Canadá, Japón, y América Latina con excepción de Brasil. Se utiliza un total de 525 líneas de exploración horizontal.

Las 525 líneas de exploración horizontal constituyen un cuadro de imagen, el cual se divide en dos campos de 262.5 líneas horizontales cada uno. A esta técnica de exploración se le conoce como exploración entrelazada, y se muestra en la figura 2.5 La exploración horizontal produce un movimiento de izquierda a derecha del haz de electrones y la



exploración vertical produce un movimiento hacia abajo. La razón de exploración vertical es de 60 Hz. Por tanto se generan 30 cuadros por segundo. Debido a que el ojo humano apenas es capaz de percibir un parpadeo de 30 Hz, el cuadro se divide en dos campos. 262.5 líneas de exploración horizontal, que comienzan en la parte superior izquierda (punto A) y terminan en el centro inferior (punto L) constituyen un campo de imagen (campo impar). El segundo (campo par) comprende las 262.5 líneas de exploración horizontal que permanecen entrelazadas entre las líneas de exploración y el primer campo. El segundo campo se inicia en el centro superior (punto M) y termina en la derecha inferior (punto Z). Entre los campos, el haz de electrones se retrasa de la parte inferior de la imagen de nuevo hacia arriba describiendo una trayectoria en zig-zag. Esto se le conoce como tiempo de retraso vertical. Cada campo se explora verticalmente a una tasa de 60 Hz. Por tanto, si bien toda la imagen cambia cada $\frac{1}{30} s$ sólo la mitad de la imagen cambia cada $\frac{1}{60} s$. Esta técnica de exploración permite explorar 525 líneas a una tasa de 30 Hz, sin generar un parpadeo notable en la imagen. Para explorar 525 líneas de exploración horizontal en $\frac{1}{30} s$, se requiere una frecuencia de exploración de 15750 Hz. ($30 * 525 = 15750$).

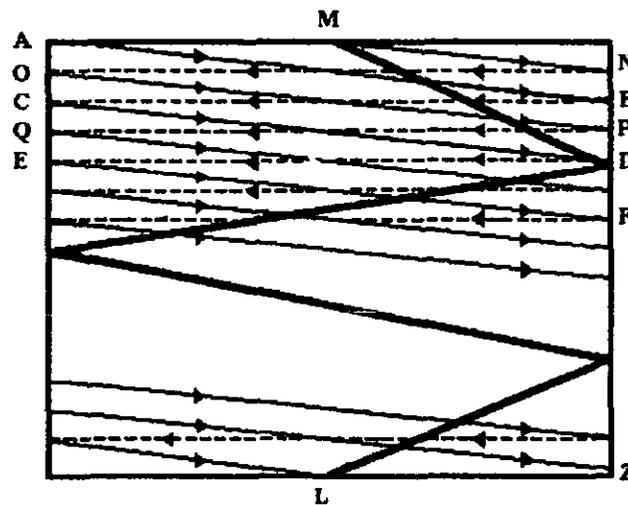


Figura 2.5 Exploración entrelazada.

2.4.2 Pulsos de sincronía.

Para reproducir la imagen original, las razones de exploración horizontal y vertical en el receptor deben ser iguales a las de la cámara. Además, las líneas de exploración en la cámara y el receptor deben iniciarse y terminar en una sincronización de tiempo exacta. En consecuencia, un pulso de sincronización horizontal de 15750 Hz y un pulso de sincronización vertical de 60 Hz se agregan a la señal de luminancia en el transmisor. Los pulsos de sincronización se originan en el receptor y se usan para sincronizar sus circuitos de exploración.



La figura 2.6 muestra los pulsos sincronizados horizontal y vertical para los campos pares e impares. Un campo nuevo se explora una vez cada $\frac{1}{60} s$. Por tanto, el tiempo entre los pulsos de sincronización vertical es $1V$, donde $V = \frac{1}{60} s$ o $16.7 ms$. El tiempo entre los pulsos sincronizados horizontales es $1H$, donde $H = 63.5 \mu s$. $1V$ es tiempo suficiente para explorar 262.5 líneas horizontales ($\frac{1}{15750} = 63.5 \mu s$ y $\frac{16.7 ms}{63.5 \mu s} = 262.5$). Cada pulso sincronizado horizontal genera una forma de onda de exploración horizontal y cada pulso sincronizado vertical produce una forma de onda de exploración vertical.

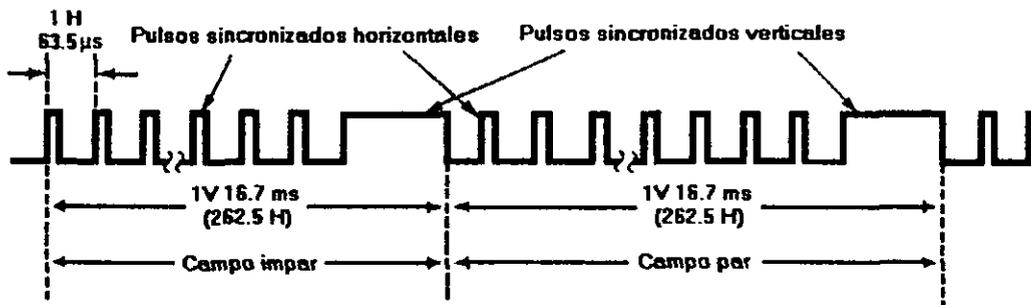


Figura 2.6 Pulsos de sincronía horizontal y vertical.

2.4.3 Pulsos de blanqueo.

Los pulsos de blanqueo (blanking), son señales de video que se agregan a la luminancia y a los pulsos de sincronización con la amplitud correcta para asegurar que el receptor sea blanqueado durante los tiempos de retraso verticales y horizontales. La imagen no se explorará por la cámara durante el retraso y por consiguiente ninguna información de luminancia será transmitida para esos tiempos. Por lo tanto los pulsos de blanqueo son señales de video con amplitudes que no producen ninguna luminancia (brillantez).

2.5 Señal compuesta de color.

La señal de video compuesta incluye señales de luminancia (brillantez), pulsos sincronizados horizontal y vertical y pulsos de blanqueo. En la figura 2.7 se representa la señal de video compuesta para una línea de exploración horizontal sencilla, $1H$ ($63.5 \mu s$).

El rango de brillantez para televisión estándar es de 160 unidades IRE's de pico a pico. Las 160 unidades IRE's son por lo regular normalizadas a $1 V_{p-p}$. El valor exacto de 1 IRE no es importante; sin embargo, el valor relativo de una señal de video en unidades IRE determina su brillantez. Por ejemplo, la máxima brillantez (blanco puro) es 120 unidades IRE's y para las señales menores al nivel de negro de referencia no se genera brillantez alguna (7.5 unidades IRE's). El nivel de negro de referencia también se conoce como pedestal o nivel de instalación negro (setup). El nivel de blanqueo es 0 unidades IRE, lo



cual esta debajo del nivel negro, o, en otras palabras, más negro que el negro (súper negro). Los pulsos sincronizados son pulsos negativos que ocupan 25% del rango total de la escala IRE. Un pulso sincronizado tiene un nivel máximo de 0 unidades IRE y un nivel mínimo de -40 unidades IRE. En consecuencia, todo el pulso sincronizado está abajo del negro y por tanto no genera brillantez. El rango de brillantez ocupa 75% del total de la escala IRE y se extiende de 0 a 120 IRE's , con 120 unidades corresponden a 100% de la modulación de AM.

Sin embargo, para asegurar que no se genere sobremodulación, la FCC ha establecido el nivel máximo de brillantez (blanco puro) en 87.5% o 100 unidades IRE's ($0.875 * 160 = 140$ unidades, $-40 + 140 = 100$ unidades). Por lo que solo se hará mención de 140 unidades IRE para las mediciones de la señal de video.

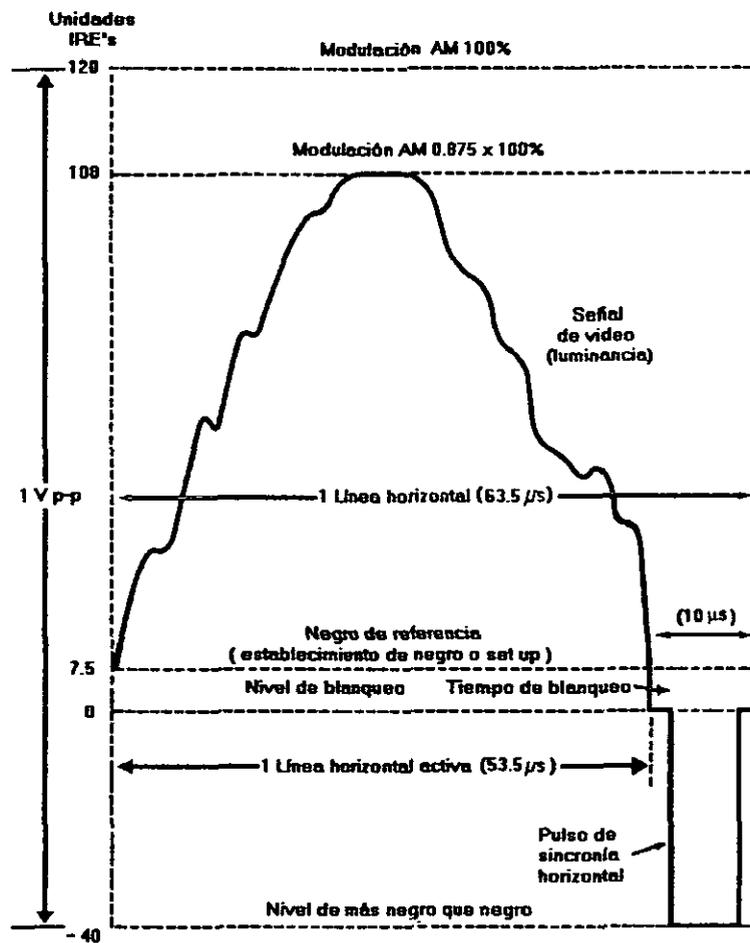


Figura 2.7 Señal de video compuesta.



2.6 Tiempo de blanqueo horizontal.

En la figura 2.8 se presenta el tiempo de blanqueo para una línea de exploración horizontal sencilla. El tiempo total de blanqueo es aproximadamente de $0.16H$ o 9.5 a $11.5 \mu s$. En consecuencia, el tiempo activo (visible) para una línea horizontal es de $0.84H$ o de 4.25 a $5.25 \mu s$. El tiempo entre el comienzo del tiempo de blanqueo y el borde delantero del pulso sincronizado recibe el nombre de entrada frontal (front porch) y es aproximadamente $0.02H$ con un tiempo mínimo de $12.7 \mu s$. El tiempo entre el borde atrasado del pulso sincronizado y el final del tiempo de blanqueo se denomina entrada trasera (back porch) y es de $0.06H$ aproximadamente con un tiempo mínimo de $3.81 \mu s$.

Periodo	Tiempo
Línea horizontal	$1 H$ $63.5 \mu s$
Blanqueo horizontal	$0.16 H$ $9.5-11.5 \mu s$
Pulso de sincronía	$0.08 H$ $4.75 \pm 0.5 \mu s$
Entrada frontal	$0.02 H$ $1.27 \mu s$ mínimo
Entrada trasera	$0.06 H$ $3.81 \mu s$ mínimo

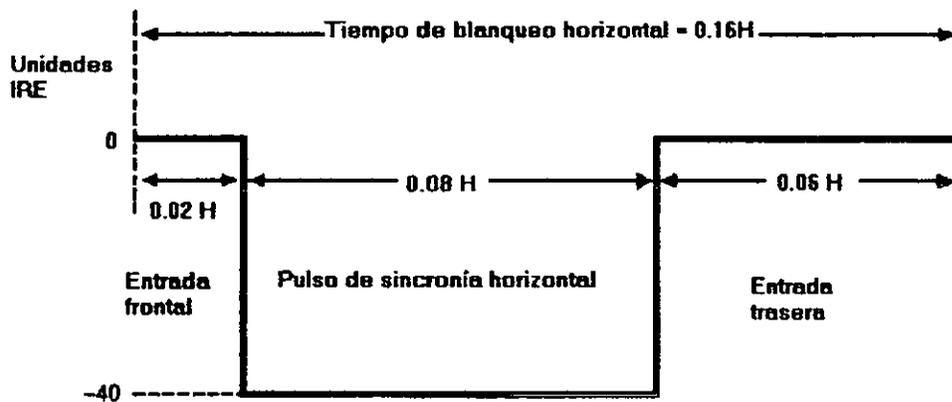


Figura 2.8 Tiempo de blanqueo horizontal.

2.7 Tiempo de blanqueo vertical.

En la figura 2.9 se presentan los primeros $10H$ del pulso de blanqueo vertical para una forma de onda de transmisión negativa. En la figura se muestra que todo el pulso de blanqueo está abajo del nivel del negro de referencia (debajo de 7.5 unidades IRE's). Cada pulso de blanqueo vertical comienza con seis pulsos ecualizadores, un pulso de sincronización vertical y seis pulsos más ecualizadores. Los pulsos ecualizadores aseguran una transición suave y más sincronizada entre los campos pares e impares. El rango del pulso ecualizador es de $31.5 KHz$, lo que es el doble del rango de la exploración



horizontal. Por lo tanto, cada pulso para ecualizar ocupa $\frac{1}{2}H$ y los 12 pulsos ocupan un tiempo de $6H$. El pulso sincronizado vertical ocupa el tiempo de $3H$. Se necesita un total de 9 líneas de exploración horizontal ($9H$) para transmitir los 12 pulsos sincronizados ecualizadores y el pulso vertical.

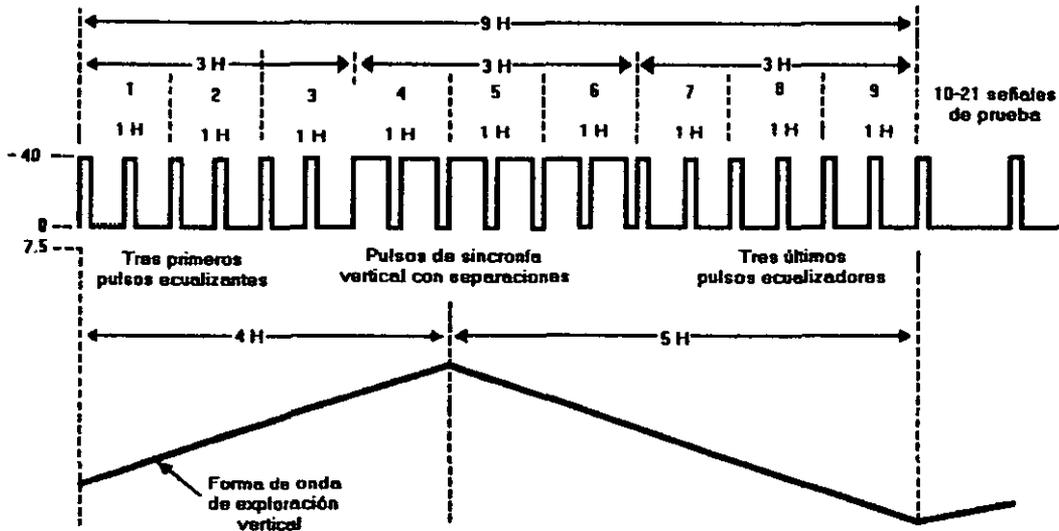


Figura 2.9 Tiempo de blanqueo vertical.

2.8 Codificación de color.

En la figura 2.10 se muestra un diagrama a bloques para generar una señal de video a color. Las señales de video R,G,B por sus siglas de las palabras en ingles rojo (RED), verde (GREEN), azul (BLUE), se combinan en proporciones específicas en la matriz de color a fin de generar la brillantez (luminancia) y señal de video Y, y las señales de video cromáticas (color) I y Q. La señal de luminancia corresponde a una señal de video monocromática. Las señales de color I y Q modulan en amplitud una subportadora de color de 3.58 MHz para producir la señal de color total, C. La señal I modula la subportadora directamente en el modulador balanceado I, mientras que la señal Q modula una subportadora de cuadratura (90° fuera de fase) en el modulador balanceado Q. Las señales moduladas I y Q se combinan en forma lineal para producir una señal de modulación en amplitud de cuadratura (QAM), C, la cual se combina con la señal Y para producir la señal de video compuesta total (T).

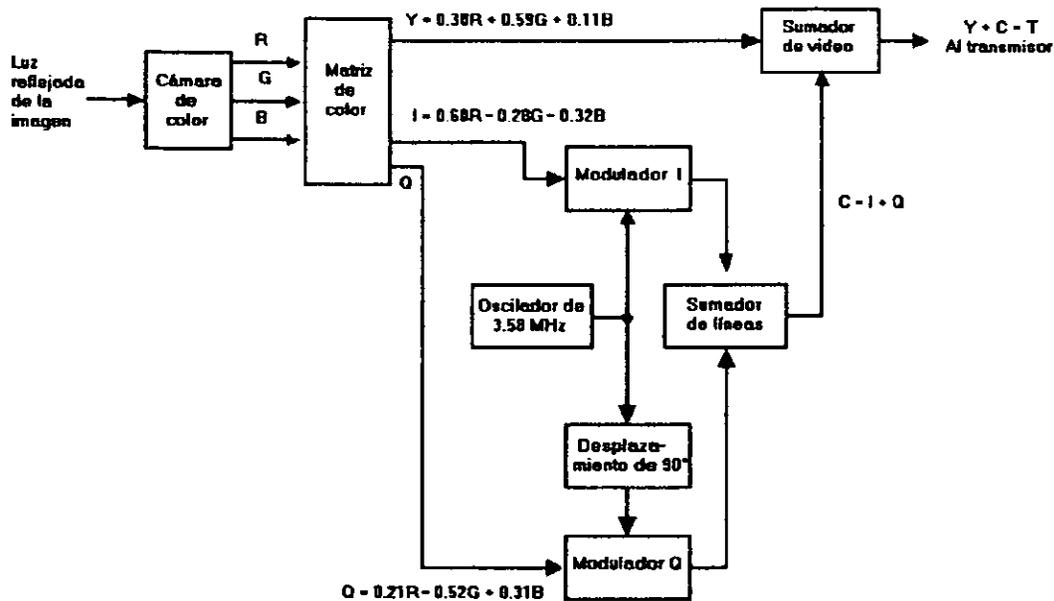


Figura 2.10 Diagrama a bloques para generar video a color.

2.8.1 Señal de luminancia.

La señal de luminancia o “Y” se forma combinando 30% de la señal de video rojo “R”, 59% de la señal de video verde “G”, y 11% de la señal de video azul “B”. En términos matemáticos “Y” se expresa como:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

Los porcentajes que se muestran corresponden a la brillantez relativa de los tres colores primarios. En consecuencia, una escena reproducida en blanco y negro por la señal “Y” tiene exactamente la misma brillantez que la imagen original.

2.8.2 Señal de crominancia.

Este término se utiliza para hacer la combinación entre el matiz y la saturación, la crominancia incluye toda la información del color sin el brillo. Juntos la crominancia y el brillo contienen toda la información de la imagen a color. La crominancia también es conocida como “croma”.

La señal de crominancia o “C” es una combinación de las señales de color “I” y “Q”. La señal “I” o señal de color en fase se genera combinando 60% de la señal de video rojo “R”, 28% de la señal de video verde “G” invertida y 32% de la señal de video azul “B” invertida. En términos matemáticos, “I” se expresa como

$$I = 0.60R - 0.28G - 0.32B$$



La señal "Q" o señal de color en cuadratura se genera combinando 21% de la señal de video rojo "R", 52% de la señal de la señal de video verde "G" invertida y 31% de la señal de video azul "B". En términos matemáticos, "Q" se expresa como

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$$

Las señales "I" y "Q" se combinan para producir la señal "C" y debido a que las señales "I" y "Q" están en cuadratura, la señal "C" es la suma del generador de fases de las dos. Es decir que la magnitud de $c = \sqrt{I^2 + Q^2}$ y la fase es la $\tan^{-1} \left[\frac{Q}{I} \right]$. Las amplitudes de las señales "I" y "Q" son, en cambio, proporcionales a las señales de video R, G, B. La figura 2.11 muestra la rueda de colores para la señal de video. Las señales R-Y y B-Y se utilizan para demodular las señales de video R, G, B. La señal "C" reproduce colores en proporción a las amplitudes de las señales "I" y "Q". El matiz (tono de color) se determina por la fase de la señal "C" y la profundidad o saturación es proporcional a la magnitud de la señal "C". La parte exterior del círculo corresponde al valor relativo de la unidad.

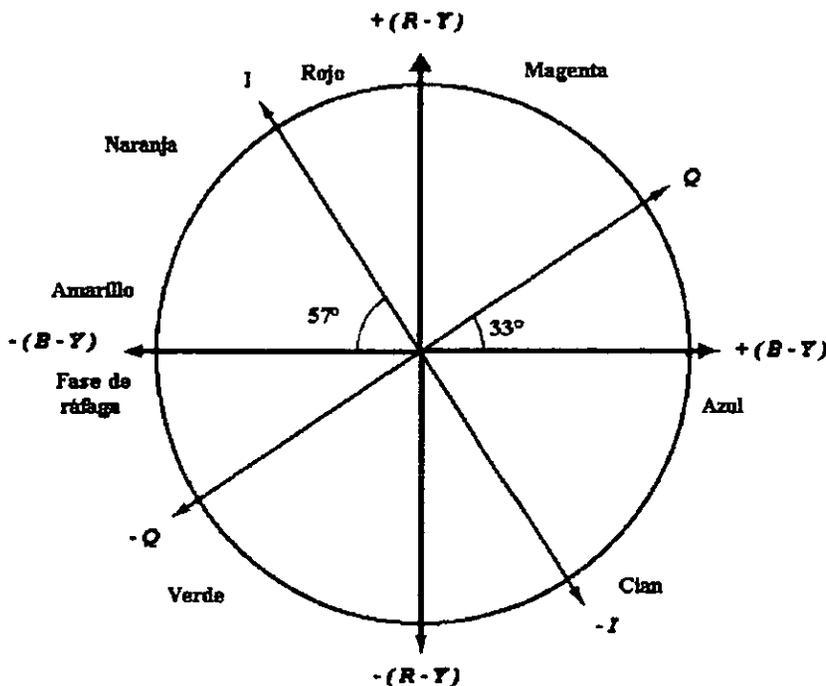


Figura 2.11 Rueda de colores para la señal de video.

2.8.3 Ráfaga de color.

La fase de la subportadora de color de 3.58 MHz es la fase de referencia para la demodulación de color. Por lo tanto, la subportadora debe transmitirse junto con la de video compuesta para que un receptor pueda reconstruir la subportadora con la frecuencia y fase



de referencia adecuada y por tanto determine la fase (color) de la señal que describe. De ocho a diez ciclos de la subportadora de 3.58 MHz se insertan en la entrada trasera de cada pulso de blanqueo horizontal. A esto se le conoce como ráfaga de color. En la figura 2.12 se muestra la ráfaga de color.

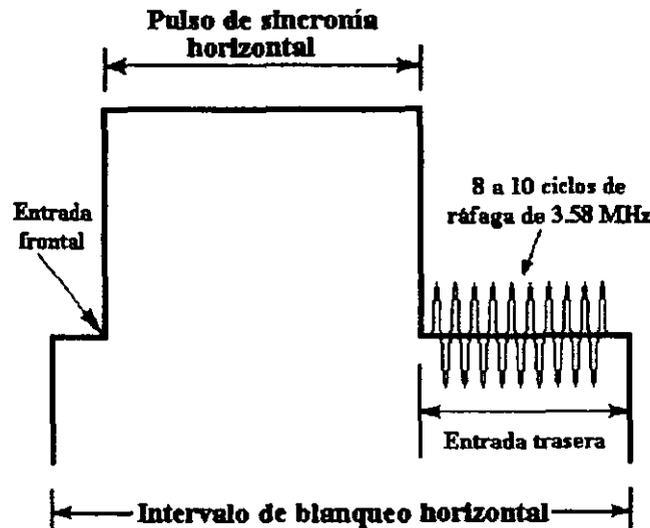


Figura 2.12 Ráfaga de color (Burts de color)

2.9 Audio.

El realismo de una imagen de video, depende en gran medida del realismo de los sonidos que la acompañan. Es por lo tanto, de gran importancia la calidad de audio que se asocie a las imágenes. El oído humano es sensible a frecuencias de 20 Hz a 20 KHz, a pesar de esto el término sonido también se aplica a frecuencias que estén fuera del intervalo de la sensibilidad del oído. Los tres elementos fundamentales del audio son la intensidad, el timbre y el tono.

- **Intensidad** en pocas palabras intensidad es la potencia transportada por unidad de superficie ($W \cdot m^{-2}$). Debido al gran intervalo de intensidades a las que es sensible el oído, es conveniente utilizar una escala logarítmica, en lugar de una escala aritmética, donde el nivel de intensidad se define por la ecuación:



$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Donde:

β = Nivel de intensidad (Decibeles)

I_0 = Intensidad de referencia y se considera como ($10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$)
corresponde al sonido más débil que puede escucharse.

I = Intensidad del equipo ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Si la intensidad del sonido es igual a I_0 ó $10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ el nivel de intensidad es igual a 0 decibels (dB). La intensidad máxima que puede soportar el oído es de aproximadamente de $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ que corresponde a un nivel de intensidad de 120 dB.

Dentro del intervalo de audibilidad del oído, la sensibilidad del oído varía con la frecuencia. El umbral de audibilidad a cualquier frecuencia es la intensidad mínima de sonido que se puede percibir a esa frecuencia. Para un adulto joven con audición normal, a una frecuencia de 1000 Hz es de aproximadamente 0 dB; a las frecuencias de 200 Hz y 15000 Hz es de aproximadamente de 20 dB; y a frecuencias de 50 Hz y 18000 Hz es de aproximadamente 50 dB. Por lo que, la sensibilidad del oído decae en los extremos alto y bajo de la escala de frecuencias.

- **Timbre** los calificativos utilizados para describir el timbre de un sonido son de carácter puramente subjetivo, tales como agudo, brillante, redondo, melodioso, etc. El timbre de un tono está determinado por el número de sobretonos presentes y por su respuesta en intensidad con respecto al tiempo. Otro factor importante para determinar el timbre de un sonido es el principio y el final del sonido, por ejemplo el sonido de un piano comienza con una percusión y a continuación se desvanece gradualmente; el de un clavicordio, además de tener diferente contenido armónico, comienza mucho más rápido e incisivo con un golpe seco, iniciándose antes los armónicos altos que los bajos. El cese de un sonido al soltar la tecla es también mucho más exacto en el clavicordio que en el piano.
- **Tono** ésta expresión se refiere a las características de una sensación sonora que permite clasificar al sonido como alto o bajo, grave o agudo. Es una cantidad subjetiva y no puede medirse con instrumentos. El tono tiene relación con la frecuencia. En un sonido puro de intensidad constante, el tono sube a medida que sube la frecuencia, pero el tono de un sonido puro de frecuencia constante se hace menor con el aumento del nivel de intensidad.

El estándar de calidad aceptado para una señal de alta fidelidad ha sido el disco compacto (compact disc). Donde se cubre una gama de frecuencias por debajo de los 30 Hz hasta frecuencias por encima de los 20 KHz, con un rango dinámico mayor o igual 90 dB.



2.10 Sistema HDTV.

Con el desarrollo de despliegues de alta resolución de video en color, en la actualidad el interés se ha centrado en el desarrollo de sistemas de televisión con una resolución de video mejorada. Dichos sistemas se denominan televisión de alta definición.

A favor de la HDTV (por sus siglas en inglés High Definition Television), puede decirse que se ofrece una definición de imagen mejorada del orden de 1200 líneas de barrido con 60 campos por segundo, o lo que es lo mismo, ofrece más del doble de lo que actualmente maneja el estándar de NTSC. Otro punto a favor es que ofrece un despliegue de “pantalla ancha”, que requiere una razón de aspecto cercana a 5:3 o 16:9 en comparación con la razón 4:3 de uso actual. Esto supone un aumento en el ancho de banda del video. Como el video utiliza ya gran parte de los 6 MHz. Del canal asignado, esta magnitud de aumento en el ancho de banda de RF está claramente fuera de los límites.

Los métodos de procesamiento de señal para tratar de evitar estas limitaciones incluyen:

- a) Aprovechar la redundancia en el sistema presente.
- b) Utilizar transmisión en serie en el tiempo y posible almacenamiento de datos en el receptor.
- c) Utilizar un mayor multiplexaje en cuadratura.

Algunos sistemas propuestos utilizan una combinación de estos métodos; otra forma de agrupar los sistemas propuestos es si son compatibles con el receptor, parcialmente compatibles o incompatibles con los estándares de NTSC existentes.

Los sistemas que son compatibles deben mostrar una imagen convencional al recibirse con un receptor estándar (NTSC), y no requieren ancho de banda adicional más allá de los 6 MHz ya asignados para TV convencional. Deben ofrecer una definición de imagen mejorada, calidad de color superior y audio estereofónico de alta calidad al recibir transmisiones HDTV. Los mismos requisitos son válidos para sistema parcialmente compatibles, excepto por la necesidad de ancho de banda adicional. Los sistemas que no son compatibles requerirán estándares de transmisión y recepción completamente diferentes.

Un sistema propuesto para HDTV, y que sea compatible con el NTSC, se ha desarrollado por RCA (Radio Corporation of America) y el centro de investigación David Sarnoff (The David Sarnoff Research Center). El sistema transmite video NTSC estándar, más las componentes de baja frecuencia de un panel lateral comprimido en tiempo en cada extremo de la traza horizontal. Las componentes de alta frecuencia del panel lateral se expanden en tiempo y se limitan en banda cerca de 1 MHz.

Este breve análisis es una muestra de un sistema de procesamiento propuesto. El siguiente paso es la evaluación y prueba bajo condiciones específicas. Los costos relativos, tanto económicos como de ancho de banda y de compatibilidad, deberán confrontarse contra el desempeño y los beneficios proporcionados. La difusión de espectro es una de las mayores tareas que se tendrá en este sistema. Es posible que evolucionen muchos estándares



diferentes, dependiendo del uso de sistemas de radiodifusión terrestre (fibra óptica o cable) y vía satélite.

Es preciso mencionar que el ancho de banda que se pretende manejar en los sistemas de HDTV, está en el rango de los 12 MHz, ya que el objetivo de este tipo de televisión es manejar los 4 MHz característicos a cada color primario (rojo, verde, azul) RGB, lo cual hace virtualmente imposible un sistema de transmisión compatible con el existente hasta la fecha. En la actualidad se está usando el sistema de 6 MHz para cada canal.

No solamente el ancho de banda es uno de los límites a vencer en la transmisión de la alta definición, también hay que considerar otros factores que cambian radicalmente a los tradicionalmente usados en televisión. Uno de estos factores son el número de elementos en la imagen, ya que para televisión actual se utilizan alrededor de 144000 elementos o píxeles, contrastando con el millón de elementos que se pretende implementar en la HDTV, con lo cual se estaría alcanzando una calidad de imagen comparable con un film de 35 mm.

Otro factor importante es el rastreo manejado en cada sistema, ya que actualmente se tiene una frecuencia de 15734.264 líneas por segundo, y en los sistemas de HDTV, se pretende aumentar el número de líneas, con lo cual el tiempo de exploración sería más corto y las frecuencias de video serían más altas, lo que plantea otro problema en la transmisión de la señal de alta definición.

Por último, cabe considerar la relación de aspecto, ya que en la actualidad se utiliza una relación de 4 a 3 (rectangular), lo que impide una visión distorsionada de la imagen. Al cambiar el barrido y el rastreo en la alta definición, cambia la relación de aspecto, razón importantísima para frenar la transmisión convencional de la señal de TV.

Con base a lo anterior, resulta bastante costoso el tratar de cambiar un sistema convencional de transmisión a uno de alta definición, ya que todo el equipo existente no puede acoplarse a los parámetros necesarios, lo cual implica una inversión económica bastante considerable, y más aún, el cambio de todos los estándares establecidos desde los inicios de la televisión.

Sin embargo, las expectativas de desarrollo y expansión que se pretende para la televisión de alta definición, son muy ambiciosas y el reducido núcleo de usuarios que tienen a su alcance este sistema han definido como espectacular la calidad de imagen y sonido que tiene, razón de más para llevar a cabo el total desarrollo de este sistema y la comercialización del mismo a corto plazo, ya que económicamente hablando es un mercado nuevo.



Capitulo III

Fibras ópticas.



3.1 Antecedentes históricos.

La utilización de la luz como medio de transporte de información en sistemas de comunicación no es reciente, ya que fue estudiada hace más de cien años por Alejandro Graham Bell. Bell utilizó un espejo, un detector de selenio y luz solar para demostrar que la voz humana podía ser transmitida a través de la luz misma. Su sistema, conocido como fotó-fono, consistía en hacer llegar la voz humana hasta el detector que estaba en un espejo; cuando las ondas llegan al espejo, producen una vibración que es inmediatamente capturada por el detector de luz como una variación de energía luminosa, en la figura 3.1 se puede observar el sistema de Bell.

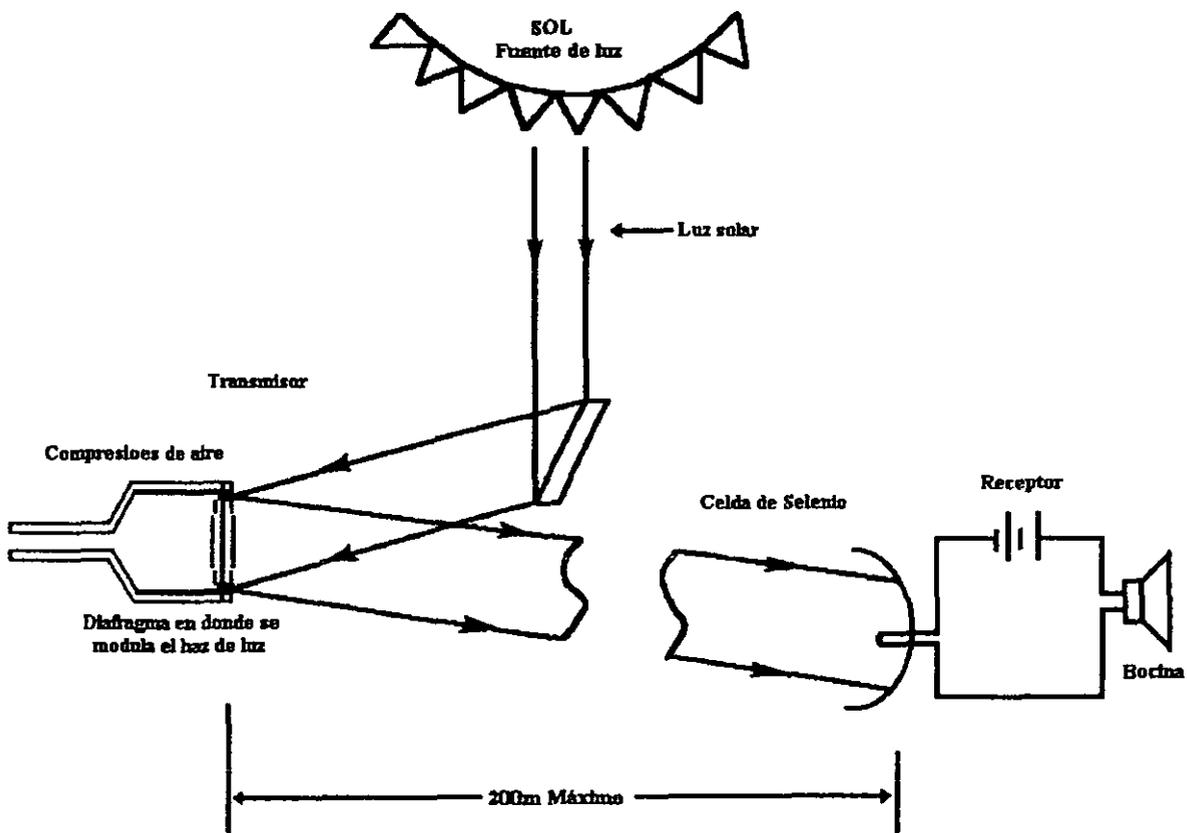


Figura 3.1 Fotó-fono de Bell.

En su sistema opto-electrónico, Bell se enfrentó con dos problemas; el primero de ellos fue debido a la luz que estaba utilizando, ya que la luz blanca, por su alta variación de frecuencias, no era la adecuada para lograr nitidez del sonido; el segundo problema que enfrentó fue que el aire no parecía ser el medio más adecuado para lograr la transmisión, dado que las partículas que lo constituyen absorben la luz originando pérdidas de información.

El principio de operación de los sistemas de telecomunicación de hoy en día, es prácticamente el mismo. A partir de la primera demostración del Láser de rubí en 1960 y la



evolución igualmente paralela de la tecnología de las fibras ópticas en la década de los sesenta, se volvió al principio de Bell, utilizando luz para modernos sistemas de comunicación.

Ante la creciente demanda y la necesidad de hacer más eficiente la comunicación, las compañías telefónicas fueron las pioneras en experimentar utilizando cables de fibras ópticas para la transmisión de señales. Los resultados al principio no fueron alentadores; pese a ello, la esperanza de lograr una telecomunicación casi perfecta no fue abandonada.

Las fibras existentes hasta 1966 tenían pérdidas superiores a los 1000 dB/Km, y para entonces los laboratorios Standar Telecommunications, de Inglaterra especulaban que si se lograban pérdidas menores a los 20 dB/Km, entonces dichas fibras podrían ser utilizadas en telecomunicaciones. Esto se logró en 1970 tres físicos de la Corning Glass Works, removiendo impurezas en los materiales de las fibras. Actualmente, se ha logrado obtener fibras con pérdidas del orden de 0.15 dB/Km, a una longitud de onda de 1550 nano-metros.

3.2 Ventajas de las comunicaciones por medio de fibra óptica.

En comparación de los cables de cobre, las fibras ópticas ofrecen múltiples ventajas en los sistemas de comunicación, como son entre otros:

Su alta capacidad de transmisión de información; Peso, tiempo de instalación y su Atenuación.

Alta capacidad de transmisión de información.

Las fibras ópticas pueden transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la comunicación simultánea a gran número de usuarios. Un ejemplo se muestra en la tabla 3.1.

Tipo de cable	Capacidad de transmisión
Par de cobre	100 MHz / Km
Coaxial	1 GHz / Km
Fibra óptica	THz / Km **
** Depende de la capacidad del equipo	

Tabla 3.1 Capacidad de transmisión.

Peso y tiempo de instalación.

Un cable de cobre multipar de 3.5 Km de largo pesa aproximadamente 20650 Kg y requiere de 800 horas hombre para instalarlo; un cable coaxial para la misma capacidad y longitud pesa aproximadamente 18620 Kg y requiere de 400 horas- hombre, y en cambio,



un cable de fibra óptica pesa 350 Kg y se necesitan tan solo 88 horas-hombre para instalarlo.

Atenuación.

Conforme se desarrolla la técnica de fabricación de las fibras ópticas se obtienen atenuaciones cada vez más bajas, actualmente del orden de 0.1 dB/Km para fibras monomodo de sílica, y se espera que con la fibra óptica a base de fluoruros se logren atenuaciones aún menores, en comparación con los cables coaxiales, en los cuales la atenuación es del orden de 33 dB/Km.

3.3 Ventajas de las fibras ópticas sobre los cables convencionales.

Las comunicaciones, a través de cable de fibra de vidrio o plástico, tiene varias ventajas abrumadoras sobre el cable metálico o coaxial convencional, y éstas son:

- a) Los sistemas de fibra tienen una mayor capacidad debido a los anchos de banda inherentemente más grandes y disponibles con las frecuencias ópticas. Los cables metálicos exhiben en el medio capacitancia e inductancia a lo largo de sus conductores. Estas propiedades causan que actúen como filtros paso-bajas que limitan sus frecuencias de transmisión y los anchos de banda.
- b) Los sistemas de fibra son inmunes a transmisiones cruzadas, entre cables, causadas por una inducción magnética. Las fibras de vidrio o plástico no son conductores de electricidad y, por lo tanto, no tienen un campo magnético asociado con ellos. En los cables metálicos, la causa principal de transmisiones cruzadas es la inducción magnética entre los conductores situados cerca uno del otro.
- c) Los cables de fibra óptica son inmunes a la interferencia estática causada por relámpagos, motores eléctricos, luces fluorescentes y otras fuentes de ruido eléctrico. Esta inmunidad, también se atribuye al hecho de que las fibras ópticas no son portadoras de electricidad. Además, los cables de fibra no radian energía de RF y, por lo tanto, no pueden causar interferencia con otros sistemas de comunicación. Esta característica hace que los sistemas de fibra óptica estén idealmente equipados para aplicaciones militares, en donde los efectos de las armas nucleares (EMP – interferencia de pulsos electromagnéticos) tienen efectos devastadores sobre los sistemas de comunicación convencionales.
- d) Los cables de fibra óptica son más resistentes a los extremos ambientales. Funcionan sobre una variación más grande de temperatura que sus contrapartes metálicas, los cables de fibra óptica son menos afectados por líquidos corrosivos y gases.
- e) Los cables de fibra óptica son más seguros y fáciles de instalar y mantener. Debido a que las fibras de vidrio y plástico no son conductores, no hay corrientes eléctricas o voltajes asociados con ellas. Las fibras ópticas se pueden usar cerca de líquidos y gases volátiles, sin preocupaciones de que ocurra alguna explosión o fuego. Las



- fibras ópticas son más pequeñas y más ligeras que sus contrapartes metálicas. En consecuencia, es más fácil trabajar con ellas. Además, los cables de fibra óptica requieren menos espacio de almacenamiento y son más baratos de transportar.
- f) Los cables de fibra óptica son más seguros que sus contrapartes de cobre. Es casi imposible interceptar un cable de fibra óptica, sin que el usuario se entere de esto. Ésta es otra cualidad atractiva para las aplicaciones militares.
 - g) El costo a largo plazo de un sistema de fibra óptica se proyecta que será menor que el de su contraparte metálico.

3.4 Desventajas de las fibras ópticas.

Actualmente, hay muy pocas desventajas de los sistemas de fibras ópticas. Una desventaja importante es el alto costo inicial de instalar un sistema de fibra óptica, aunque en el futuro se espera que el costo de instalar un sistema de fibra óptica se reducirá. Por lo que sus desventajas son realmente pocas y se refieren a su manejo, al tipo de conectores y cajas de empalme utilizados en su instalación, porque requieren de equipo y personal especializado que hacen costoso el sistema.

3.5 Sistema de comunicación de fibra óptica.

En la figura 3.2 se muestra un diagrama simplificado de un enlace de comunicación de fibra óptica. Los tres bloques principales del enlace son: El transmisor, el receptor, y la guía de fibra óptica. El transmisor consiste de una interfaz analógica o digital, un convertidor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de la fuente de luz a fibra óptica. La guía de fibra óptica es un vidrio ultra puro o un cable de plástico. El receptor incluye una interfaz para conectar la fibra óptica a el receptor de luz, un foto detector, un convertidor de corriente a voltaje, un amplificador y una interfaz analógica o digital.

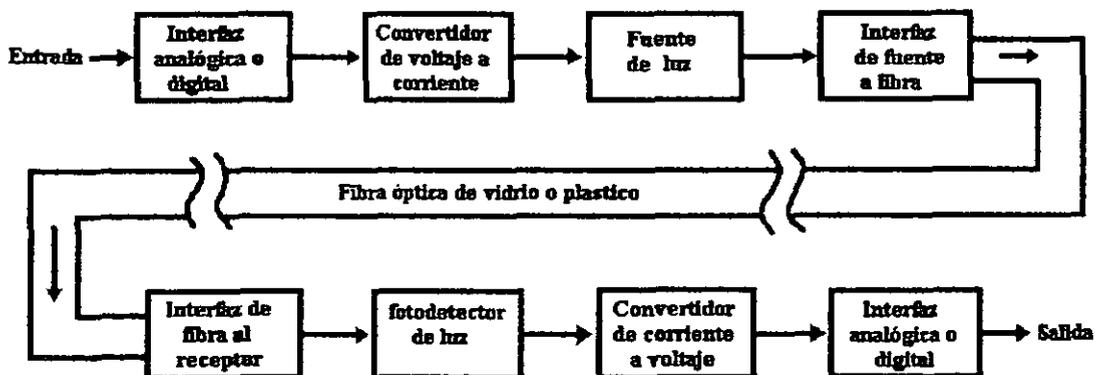


Figura 3.2 Diagrama a bloques de un sistema de comunicación de fibra óptica.



En un transmisor de fibra óptica, la fuente de luz se puede modular por una señal digital o analógica. Para la modulación analógica, la interfaz de entrada acopla las impedancias y limita la amplitud de la señal de entrada. Para la modulación digital, la fuente original puede ya estar en forma digital o, si está en la forma analógica, se debe convertir a un flujo de pulsos digitales. Para el último de los casos, un convertidor analógico a digital se debe incluir en la interfaz.

El convertidor de voltaje a corriente sirve como una interfaz eléctrica, entre los circuitos de entrada y la fuente de luz. La fuente de luz es o un diodo emisor de luz (LED) o un diodo de inyección de láser (ILD). La cantidad de luz emitida por un LED o un ILD es proporcional a la cantidad de la corriente de excitación. Por lo tanto, el convertidor de voltaje a corriente convierte un voltaje de señal de entrada a una corriente que se usa para dirigir la fuente de luz.

La conexión de fuente a fibra (tal como una lente) es una interfaz mecánica. Su función es acoplar la luz emitida por la fuente al cable de fibra óptica. La fibra óptica consiste de un núcleo de fibra de vidrio o plástico, una cubierta, y una capa protectora. El dispositivo de acoplamiento al detector de fibra a luz, también es un acoplador mecánico. Su función es acoplar la mayor cantidad de luz posible del cable de fibra óptica en el detector de luz.

El detector de luz frecuentemente es un diodo PIN (material intrínseco tipo P y N) o un APD (fotodiodo de avalancha). Ambos, el diodo APD y PIN, convierten la energía de luz a corriente. En consecuencia, se requiere un convertidor de corriente a voltaje. El convertidor de corriente a voltaje transforma los cambios en la corriente del detector a cambios en el voltaje de la señal de salida.

La interfaz analógica o digital a la salida del receptor, también es una interfaz eléctrica. Si se usa la modulación analógica, la interfaz acopla las impedancias y niveles de la señal al circuito de salida. Si se usa la modulación digital, la interfaz debe incluir un convertidor digital a analógico.

3.6 Tipos de fibra óptica.

Esencialmente, hay tres tipos de fibra óptica disponibles para comunicación. Las tres variedades están construidas de vidrio, plástico o una combinación de vidrio y plástico. Las tres variedades son:

- a) El núcleo de plástico y cubierta de plástico.
- b) El núcleo de vidrio con cubierta de plástico, mejor conocida como fibra PCS. (Silice-cubierta-de plástico)
- c) El núcleo de vidrio y cubierta de vidrio, mejor conocida como fibra SCS. (Silice-cubierta-de silice)

Las fibras ópticas de plástico tienen varias ventajas sobre las fibras ópticas de vidrio. En primer lugar, las fibras ópticas son más flexibles y, como consecuencia, más fuertes que el vidrio. Son fáciles de instalar, pueden resistir mejor la presión, son menos costosas y pesan aproximadamente 60% menos que el vidrio. La desventaja de las fibras ópticas de plástico



es su característica de atenuación alta, por lo que no propaga la luz tan eficientemente como el vidrio.

Como consecuencia, las fibras ópticas de plástico se limitan a longitudes de cable relativamente cortas, como puede ser dentro de un solo edificio o complejo de edificios.

Las fibras ópticas con núcleos de vidrio tienen características de atenuación baja. Además, las fibras ópticas PCS son menos afectadas por la radiación y, por tanto, más atractivas a las aplicaciones militares. Las fibras ópticas SCS tienen las mejores características de propagación y son más fáciles de terminar que las fibras ópticas PCS. Desgraciadamente, los cables SCS son menos fuertes, y más sensibles al aumento en atenuación cuando son expuestas a la radiación.

La selección de una fibra para una aplicación específica está en función de requerimientos de un sistema específico. Siempre hay negociaciones basadas en la economía y logística de una aplicación en particular (costo beneficio).

3.7 Propagación de la luz.

3.7.1 La física de la luz.

Aunque la operación de la fibra óptica puede analizarse completamente con las ecuaciones de Maxwell, esto resulta complejo. Para la mayoría de las aplicaciones prácticas, el trazo de una onda geométrica puede usarse, en vez de las ecuaciones de Maxwell; trazar rayos proporcionará resultados bastante exactos.

Un átomo tiene varios niveles o estados de energía, el más bajo es el estado de tierra. Cualquier nivel de energía arriba de el estado tierra se llama un estado excitado. Si un átomo en un nivel de energía cae a un nivel más bajo, la pérdida de energía (electrón-volt) será emitido como un fotón la energía del fotón es igual a la diferencia entre la energía de los dos niveles de energía. El proceso del decaimiento de un nivel de energía a otro nivel se llama decaimiento espontáneo o emisión espontánea.

Los átomos pueden irradiarse por una fuente de luz cuya energía sea igual a la diferencia entre el nivel de tierra y un nivel de energía. Esto puede causar que un electrón cambie, de un nivel de energía a otro, absorbiendo la energía de la luz. En el proceso de moverse de un nivel de energía a otro, el átomo absorbe un paquete de energía llamado fotón; este proceso es semejante a la emisión.

La energía absorbida o emitida (fotón) es igual a la diferencia entre los dos niveles de energía, por lo que matemáticamente se puede escribir como:

$$E_2 - E_1 = E_p \quad (\text{Joules})$$

en donde E_p es la energía del fotón que se puede determinar con la siguiente relación.

$$E_p = hf \quad (\text{Joules})$$



en donde:

h = Constante de Planck.

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ (Joules * seg)}$$

$$f = \frac{1}{\text{seg}} \text{ Frecuencia de la luz emitida en herz.}$$

La energía del fotón también puede expresarse en términos de longitud de onda porque, la longitud de onda de la radiación es:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad \text{por lo tanto} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

Sustituyendo en E_p , nos queda:

$$E_p = \frac{hf}{c}, \quad \text{donde es } c: \quad c = \lambda f$$

$$\text{quedando,} \quad E_p = \frac{h}{\lambda}$$

3.7.2 Velocidad de propagación.

La energía electromagnética, tal como la luz, viaja aproximadamente a $300000000 \frac{m}{s}$ (186000 millas por segundo) en el espacio libre. Además, la velocidad de propagación es igual para todas las frecuencias de luz, en el espacio libre. Sin embargo, se ha demostrado que en materiales más densos que el espacio libre, la velocidad se reduce. Cuando la velocidad de una onda electromagnética se reduce, conforme pasa de un medio a otro medio de material más denso, el haz de luz se refracta (dobla) hacia la normal. Además en materiales más densos que el espacio libre, todas las frecuencias de luz no se propagan a la misma velocidad.

3.7.3 Refracción.

La figura 3.3 muestra, cómo un haz de luz se refracta conforme pasa de un material de una densidad específica, a un material menos denso, en realidad, el haz de luz no es doblado, mejor dicho, cambia de dirección en la interfaz.

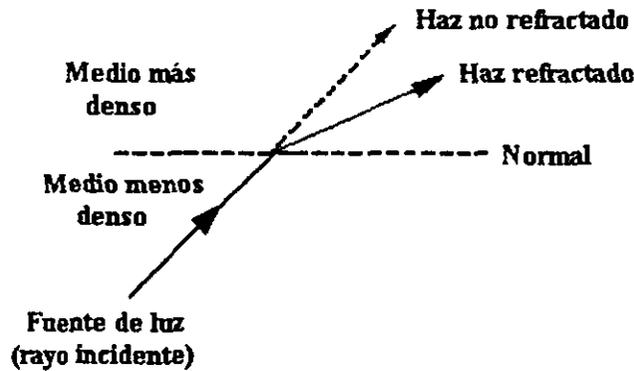


Figura 3.3 Haz refractado.

En la figura 3.4 se muestra cómo la luz del Sol, que contiene todas las frecuencias de luz, es afectada cuando pasa por un material más denso que el espacio libre. La refracción ocurre en la interfaz de viento/vidrio. Las longitudes de onda violeta son las más refractadas, y las longitudes de onda rojas son las menos refractadas. La separación espectral de la luz blanca en sus varias longitudes de onda se llama refracción prismática. Este es el fenómeno que causa los arcoiris; las gotitas de agua en la atmósfera actúan como prismas pequeños que dividen la luz blanca del Sol en varias longitudes de onda, creando un espectro de color visible.

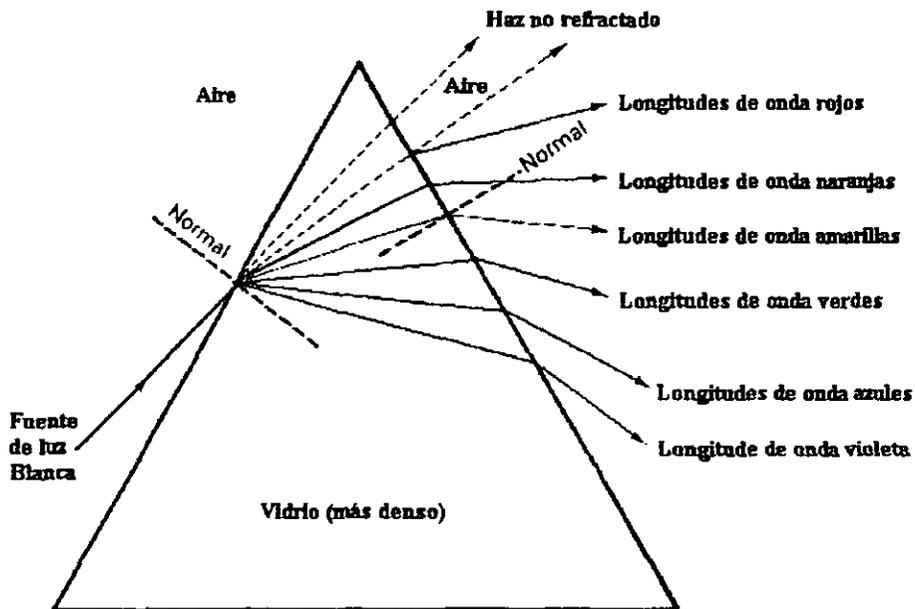


Figura 3.4 Refracción de la luz solar.



3.7.4 Índice de refracción.

La cantidad de doblaje o refracción que ocurre en la interfaz de dos materiales, de densidades diferentes, es bastante predecible y depende de el índice refracción de los dos materiales. El índice de refracción simplemente es la relación de la velocidad de propagación del haz de luz en el espacio libre con la velocidad de la propagación de un haz de luz en un material específico. Matemáticamente, el índice refractivo es

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{Adimensional})$$

en donde

c = velocidad de la luz en el espacio libre (300000000 m/s)

v = velocidad de la luz en un material específico m/s

Aunque el índice de refracción también es una función de la frecuencia, la variación en la mayoría de las aplicaciones, es insignificante y, por lo tanto, se omite de esta discusión. Los índices de refracción de varios materiales comunes son proporcionados en la tabla 3.2

Medio	Índice de refracción
Vacío	1
Aire	1.0003
Agua	1.33
Alcohol etílico	1.36
Cuarzo fundido	1.46
Fibra de vidrio	1.5 - 1.9
Diamante	2.0 - 2.42
Silicio	3.4
Galio - arsenuro	3.6

El índice de refracción está basado en una longitud de onda emitida
Por una flama de sodio (5890 Armstrong)

Tabla 3.2 Índices de refracción de varios materiales.

Cómo reaccionará un haz de luz, cuando se encuentra con la interfaz de dos materiales transmisibles que tienen diferentes índices de refracción, esto se explica con la ley de Snell, que establece lo siguiente:

$$n_1 \text{sen}\theta_1 = n_2 \text{sen}\theta_2$$



en donde:

n_1 = índice refractivo del material 1 (sin unidades)

n_2 = índice refractivo del material 2 (sin unidades)

θ_1 = ángulo de incidencia (grados)

θ_2 = ángulo de refracción (grados)

Un modelo de índice de refracción para la ley de Snell se muestra en la figura 3.5. en donde en la interfaz, el haz incidente debe refractarse hacia la normal o lejos de ella, dependiendo si n_1 es menor o mayor que n_2 .

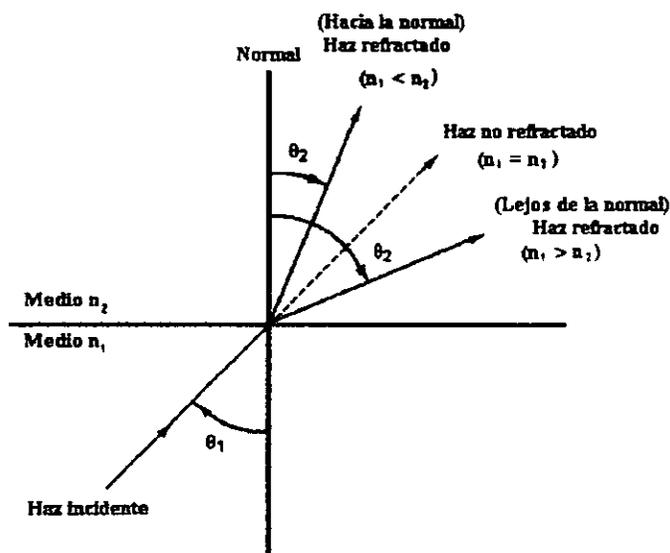


Figura 3.5 Índice de refracción de la ley de Snell.

La figura 3.6 muestra como un haz se refracta conforme viaja de un material más denso (índice de refracción más alto) a un material menos denso (índice de refracción más bajo). Puede observarse que el haz de luz cambia de dirección en la interfaz y el ángulo de refracción es mayor que el ángulo de incidencia. En consecuencia, cuando un haz de luz entra en un material menos denso, el haz se dobla para separarse de la normal. La normal es simplemente una línea dibujada perpendicularmente a la interfaz en el punto en donde el haz de incidencia cruza la interfaz. De manera semejante, cuando un haz de luz entra en un material más denso, el haz se dobla hacia la normal.

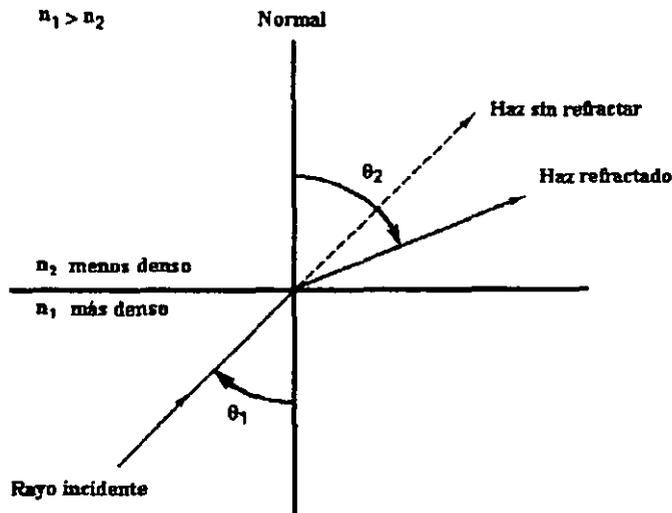


Figura 3.6 Haz refractado a través del material.

3.7.5 Ángulo crítico.

La figura 3.7 muestra una condición en la cual un haz incidente está en un ángulo, de tal manera, que el ángulo de refracción es 90° y el haz refractado está a lo largo de la interfaz.

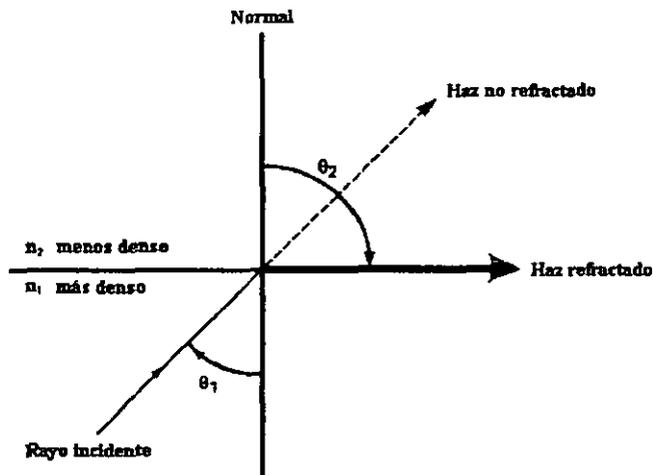


Figura 3.7 Haz incidente a 90° .

Es importante observar que el haz de luz está viajando desde un medio de índice refractivo más alto a un medio con un índice refractivo más bajo. Despejando de la ley de Snell a $\text{sen } \theta_1$, se tiene:



$$\text{sen}\theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \text{sen}\theta_2$$

Con $\theta_2 = 90^\circ$

$$\text{sen}\theta_1 = \frac{n_2}{n_1} (1) \text{ o simplemente } \text{sen}\theta_1 = \frac{n_2}{n_1}$$

y por lo tanto

$$\text{sen}^{-1} \frac{n_2}{n_1} = \theta_1 \text{ donde } \theta_1 = \theta_c$$

en donde θ_c es el ángulo crítico.

El ángulo crítico se define, como el ángulo de incidencia mínimo en el cual un haz de luz puede tocar a la interfaz de los medios y resulta en un ángulo de refracción de 90° o más. Esta definición es válida sólo cuando un haz de luz está viajando desde un medio más denso a un medio menos denso. Si el ángulo de refracción es de 90° o más, al rayo de luz no se le permite penetrar al material menos denso. En consecuencia, una reflexión total se realiza en la interfaz, y el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. La figura 3.8 muestra una comparación del ángulo de refracción y el ángulo de reflexión, cuando el ángulo de incidencia es menor o mayor que el ángulo crítico.

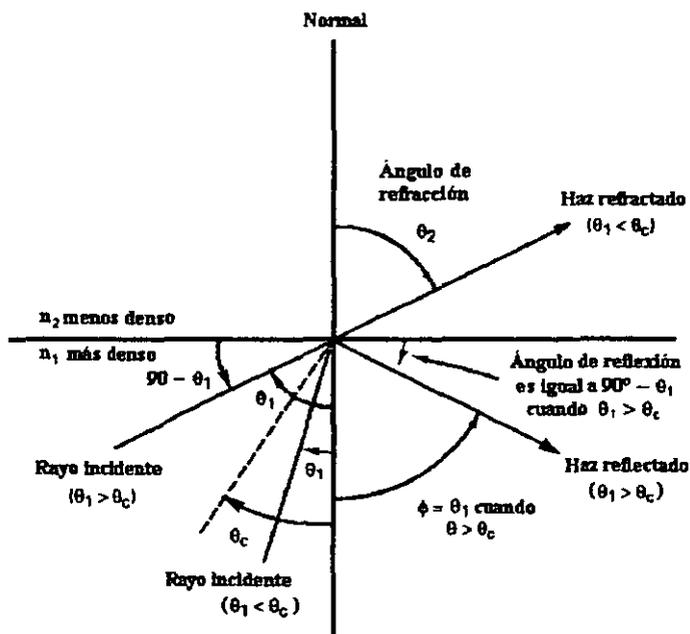


Figura 3.8 Ángulo de refracción y ángulo de reflexión.



3.8 Propagación de luz en la fibra óptica.

La propagación de la luz en un cable de fibra óptica es por reflexión o refracción, donde el modo en que se propaga la luz depende del modo de propagación y el perfil del índice del cable de fibra óptica.

3.8.1 Modos de propagación.

Cuando hablamos de fibra óptica, decir modo significa trayectoria, por lo que si existe sólo una trayectoria que puede tomar la luz, se le conoce como monomodo, y en caso de que exista más de una trayectoria, se le conoce como multimodo. La figura 3.9 muestra la propagación de luz a través de una fibra óptica, en sus dos formas modales.

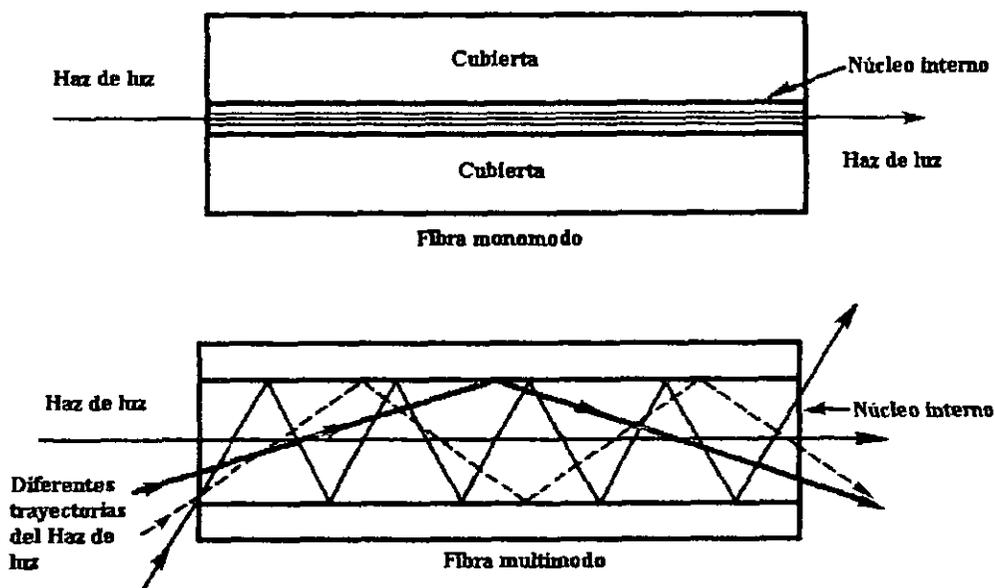


Figura 3.9 Propagación a través de la fibra óptica.

3.8.2 Perfil de índice.

En una fibra óptica se conoce como perfil de índice a la representación gráfica del valor que tiene el índice de refracción, a través de la fibra óptica. El índice de refracción está indicado en el eje horizontal y la distancia radial del eje del núcleo se gráfica en el eje vertical. En la figura 3.10 se muestran los perfiles del índice del núcleo de tres diferentes tipos de cables de fibra óptica.

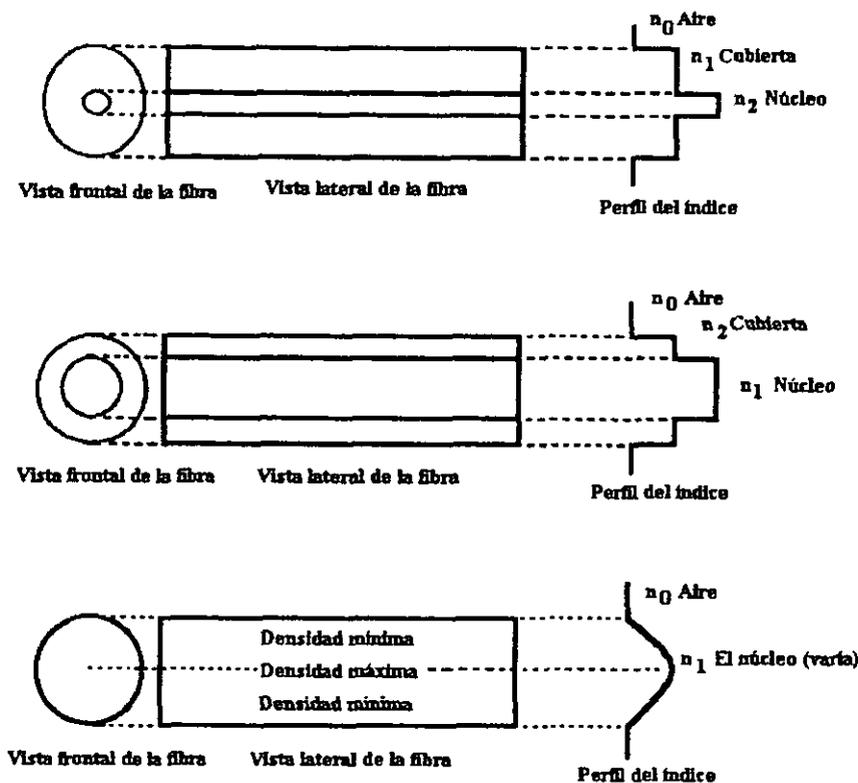


Figura 3.10 Perfiles del índice del núcleo de la fibra óptica.

Existen dos tipos básicos de perfil de índice para fibra óptica, los cuales son:

- Fibra óptica de índice escalonado, tiene un núcleo central con un índice refractivo uniforme. El núcleo está rodeado por una cubierta exterior con un índice refractivo uniforme, menor al del núcleo central.
- Fibra óptica de índice graduado no tiene cubierta, y el índice refractivo del núcleo no es uniforme; el índice es más alto en el centro y disminuye gradualmente con la distancia hacia el borde externo de la fibra óptica.

3.9 Configuraciones de la fibra óptica.

3.9.1 Fibra óptica de índice de escalonado monomodo.

Este tipo de fibra óptica tiene un núcleo central, que es lo suficientemente pequeño para que exista esencialmente sólo una trayectoria que la luz pueda tomar, conforme se propaga por el cable. En la figura 3.11 se puede observar este tipo de fibra óptica.

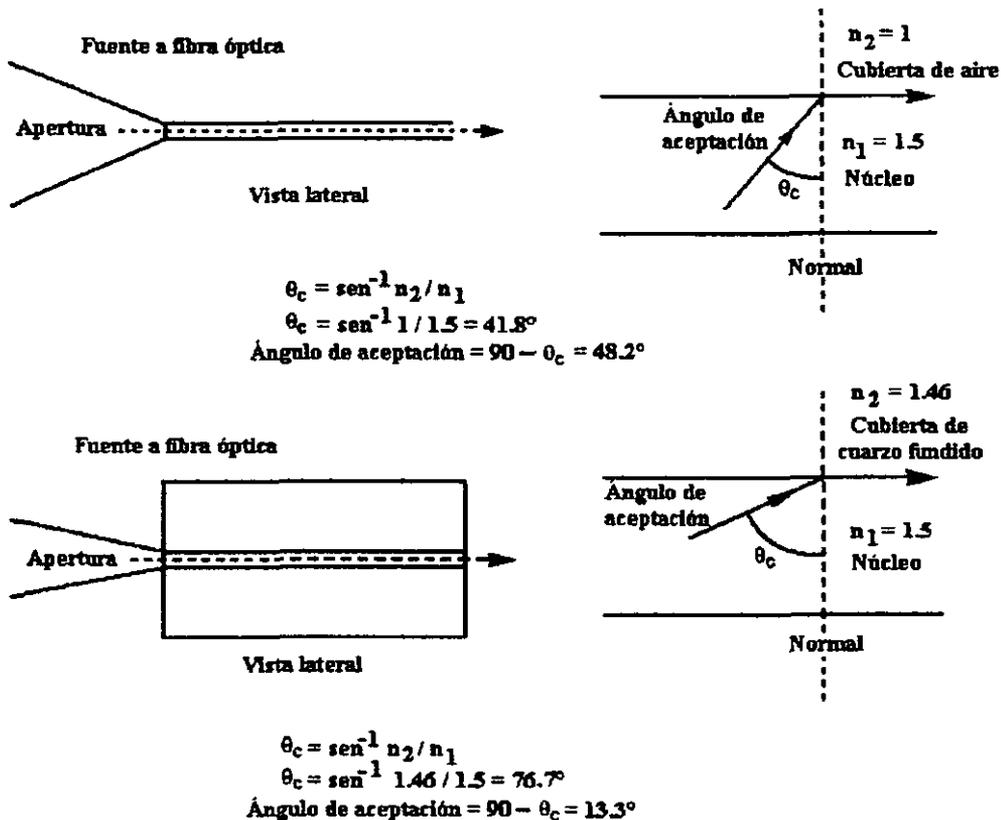


Figura 3.11 Fibra óptica monomodo.

En su forma más sencilla, de fibra óptica de índice escalonado monomodo, la cubierta exterior es simplemente aire. El índice refractivo del núcleo de vidrio (n_1) es aproximadamente 1.5, y el índice refractivo de la cubierta de aire (n_0) es 1. La gran diferencia, en los índices refractivos, resulta un ángulo crítico pequeño (aproximadamente de 42°), en la interfaz de vidrio/aire. En consecuencia, la fibra óptica aceptará luz de una apertura ancha. Esto hace que sea relativamente sencillo acoplar luz desde una fuente en el cable. Sin embargo, este tipo de fibra óptica normalmente es muy débil y su uso es muy limitado.

Un tipo de fibra óptica más usada de índice escalonado monomodo es una que tiene una cubierta que no sea aire. El índice refractivo de la cubierta (n_2) es un poco menos que el del núcleo central (n_1) y es uniforme en toda la cubierta. Este tipo de cable es físicamente más fuerte que la fibra óptica con cubierta de aire, pero el ángulo crítico, también es más alto (aproximadamente 77°). Esto resulta en un ángulo pequeño de aceptación y una apertura de fuente a fibra óptica angosta, haciendo mucho más difícil acoplar la luz a la fibra óptica desde una fuente de luz.

Para Ambos casos de índice escalonado monomodo, la luz se propaga en la fibra óptica por medio de la reflexión. Los rayos de luz que entran a la fibra óptica se propagan directamente por el núcleo o tal vez son reflejados una vez. En consecuencia, todos los rayos siguen aproximadamente la misma trayectoria por el cable y requieren de



aproximadamente la misma cantidad de tiempo para viajar por toda la longitud de la fibra óptica.

3.9.2 Fibra óptica de índice escalonado multimodo.

Esta fibra óptica es muy semejante a la configuración monomodo, excepto que el núcleo central, es mucho más grande. Este tipo de fibra óptica tiene una gran apertura de luz, en consecuencia, permite que la luz entre sin ningún problema. Los rayos de luz que alcanzan la interfaz de núcleo/cubierta en un ángulo mayor que el ángulo crítico, son propagados por el núcleo en una manera zig-zageante, reflejándose continuamente en el límite de la interfaz. Los rayos de luz que alcanzan a la interfaz de núcleo/cubierta, en un ángulo menor que el ángulo crítico, entran a la cubierta y se pierden. Puede observarse que hay muchas trayectorias que un rayo de luz puede seguir conforme se vaya propagando por la fibra óptica.

3.9.3 Fibra óptica de índice gradual multimodo.

Una fibra óptica de índice gradual multimodo se puede apreciar en la figura 3.12, la cual se caracteriza por tener un núcleo central con un índice refractivo que no es uniforme; el índice se encuentra al máximo en el centro de la fibra óptica y va disminuyendo gradualmente hasta la orilla exterior de la fibra óptica. La luz se propagará por este tipo de fibra óptica por medio de la refracción. Conforme un rayo de luz se propaga diagonalmente a través del centro es continuamente interceptando a una interfaz de menos densidad a más densidad. En consecuencia, los rayos de luz constantemente están refractándose, lo cual resulta en un doblamiento continuo de los rayos de luz. La luz entra a la fibra óptica en muchos ángulos diferentes. Conforme se propagan por la fibra óptica, los rayos de luz que viajan en el área más externa de la fibra óptica viajan a una distancia más grande que los rayos que viajan cerca del centro. Debido a que el índice refractivo disminuye con la distancia, desde el centro, y la velocidad es inversamente proporcional al índice refractivo, los rayos de luz que viajan lo más lejos del centro se propagan a una velocidad mayor. En consecuencia, requieren de casi la misma cantidad de tiempo para viajar por toda la longitud de la fibra óptica.

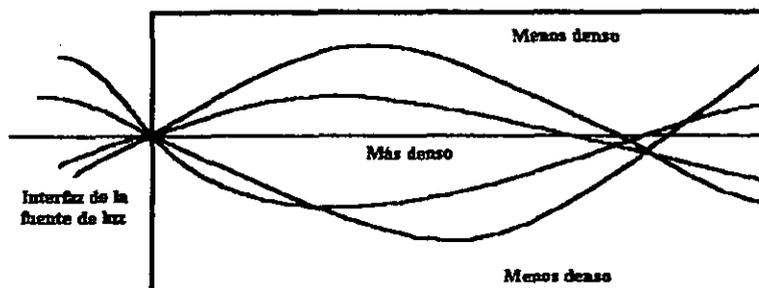


Figura 3.12 Fibra óptica multimodo.



3.10 Ángulo y cono de aceptación.

Como se había mencionado la apertura entre la fuente y la fibra óptica, forman los ángulos críticos y de aceptación en el punto en donde un rayo de luz toca a la interfaz de núcleo/cubierta. La figura 3.13 trata sobre la capacidad de reunir luz de la fibra óptica, la habilidad de acoplar la luz de la fuente en el cable de fibra óptica y se observa el lado de la fuente de un cable de fibra óptica. Cuando los rayos de luz entran a la fibra óptica, tocan a la interfaz de aire/vidrio y se propagan de un medio menos denso a un medio más denso. Bajo estas condiciones y de acuerdo a la ley de Snell, los rayos de luz se refractarán hacia la normal. Esto causa que los rayos de luz cambien de dirección y se propagan diagonalmente por el núcleo a un ángulo (θ_c) que es diferente que el ángulo de incidencia externo en la interfaz de aire / vidrio ($\theta_{entrada}$). Para que un rayo pueda propagarse por un cable de fibra óptica, debe tocar la interfaz de núcleo/cubierta interno en un ángulo que sea mayor que el ángulo crítico (θ_c).

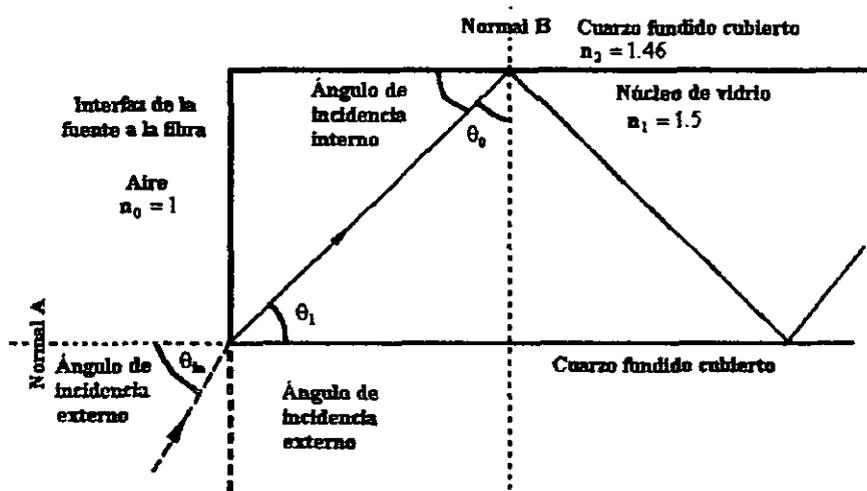


Figura 3.13 Interfaz fuente – fibra.

Conforme la ley de Snell el ángulo de incidencia externo resulta:

$$n_0 \text{sen} \theta_{entrada} = n_1 \text{sen} \theta_1$$

Si:

$$\theta_1 = 90 - \theta_c$$

Por lo tanto:

$$\text{sen} \theta_1 = (90 - \theta_c) = \cos \theta_c$$



Si se sustituye:

$$n_0 \cdot \text{sen} \theta_{\text{entrada}} = n_1 \cos \theta_c$$

Resolviendo y re-arreglando para $\text{sen} \theta_{\text{entrada}}$

$$\text{sen} \theta_{\text{entrada}} \frac{n_1}{n_0} = \cos \theta_c$$

De la figura 3.13 y utilizando el teorema de Pitágoras:

$$\cos \theta_c = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1}$$

Sustituyendo

$$\text{sen} \theta_{\text{entrada}} = \frac{n_1 \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0 n_1}$$

Reduciendo la ecuación:

$$\text{sen} \theta_{\text{entrada}} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$$

Como:

$$\theta_{\text{entrada}} = \text{sen}^{-1} \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$$

Y debido a que los rayos de luz generalmente entran a la fibra óptica por un medio de aire, n_0 es igual a 1, por lo tanto la ecuación se simplifica, quedando:

$$\theta_{\text{entrada(máxima)}} = \text{sen}^{-1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

θ_{entrada} se llama ángulo de aceptación o cono de aceptación de medio ángulo y se refiere al máximo ángulo en el cual los rayos de luz externos pueden tocar la interfaz de aire / fibra y aún propagarse por la fibra, con una respuesta que no es mayor a 10 dB del máximo valor. Si se hace girar el ángulo de aceptación alrededor del eje de la fibra óptica hasta formar un círculo creando la figura de un cono, el cual describe al cono de aceptación para el rayo de luz en la entrada de la fibra óptica, y esto se aprecia en la figura 3.14.

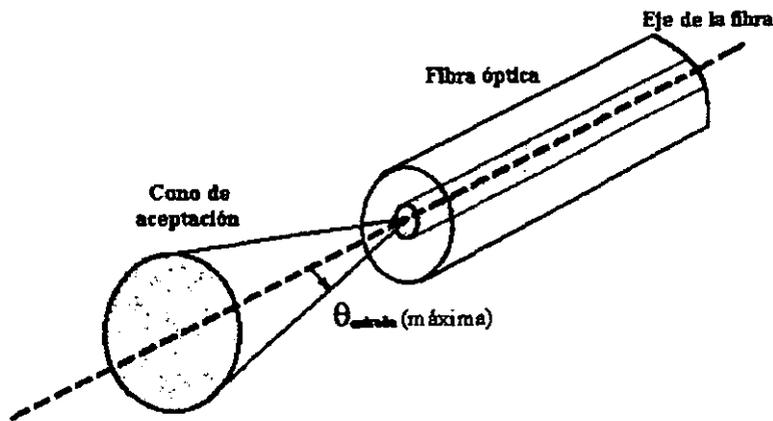


Figura 3.14 Cono de aceptación.

3.11 Apertura numérica.

La apertura numérica (NA), es una figura de mérito que se usa para describir la unión de la luz o habilidad de recoger la luz de una fibra óptica. Entre más grande sea la magnitud de una NA, mayor es la cantidad de luz aceptada por la fibra óptica de la fuente de luz externa. Para una fibra óptica de índice escalonado, una apertura numérica se define matemáticamente como el seno del medio ángulo de aceptación. Por lo tanto.

$$NA = \text{sen}\theta_{\text{entrada}}$$

Y

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Además,

$$\text{sen}^{-1} NA = \theta_{\text{entrada}}$$

Para un índice graduado, NA es simplemente el seno del ángulo crítico:

$$NA = \text{sen}\theta_c$$

3.12 Pérdidas en los cables de fibra óptica.

Las pérdidas de transmisión en los cables de fibra óptica son una de las características más importantes de la fibra óptica. Las pérdidas en la fibra óptica resultan en una reducción de potencia en el haz de luz, por lo tanto, reducen el ancho de banda del sistema, la velocidad



de transmisión de información, eficiencia y capacidad del sistema. Las pérdidas de fibra óptica predominantes son las siguientes:

- a) Pérdidas por absorción.
- b) Pérdidas por dispersión de Rayleigh o materiales.
- c) Dispersión cromática o de longitud de onda.
- d) Pérdidas de radiación.
- e) Dispersión modal.
- f) Pérdidas por acoplamiento.

3.12.1 Pérdidas por absorción.

La pérdida por absorción en las fibras ópticas es análoga a la disipación de potencia en los cables de cobre las impurezas en la fibra óptica absorben la luz y la convierten en calor. El vidrio ultra puro usado para fabricar las fibras ópticas es aproximadamente 99.9999% puro. Aun así, las pérdidas por absorción entre 1 y 1000dB/Km son típicas. Esencialmente, hay tres factores que contribuyen a las pérdidas por absorción en las fibras ópticas: absorción ultravioleta, absorción infrarroja y absorción de resonancia del ion.

La absorción ultravioleta es provocada por electrones de valencia en el material de silicio del cual se fabrican las fibras ópticas. La luz ioniza a los electrones de valencia en conducción. La ionización es equivalente a la pérdida total del campo de luz y, en consecuencia, contribuye a las pérdidas de transmisión.

La absorción infrarroja es un resultado de fotones de luz que son absorbidos por los átomos de las moléculas, en el núcleo de vidrio. Los fotones absorbidos se convierten a vibraciones mecánicas aleatorias típicas de calentamiento.

La absorción de resonancia de ion es causada por los iones OH^{-1} en el material. La fuente de los iones OH^{-1} son las moléculas de agua que han sido atrapadas en el vidrio, durante el proceso de fabricación. La absorción del ion también será causada por las moléculas de hierro, cobre y cromo.

En la figura 3.15 se muestra una grafica con las pérdidas típicas en los cables de fibra óptica debidas a la absorción ultravioleta, infrarroja y de resonancia de ion.

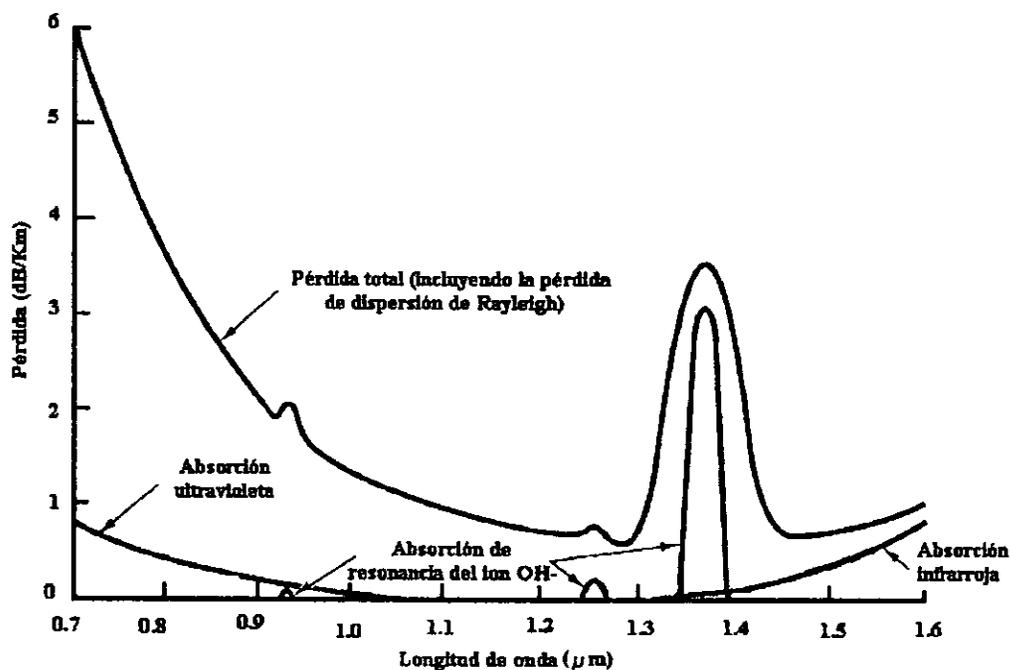


Figura 3.15 Pérdidas en cables de fibra óptica.

3.12.2 Pérdidas por dispersión de Rayleigh o materiales.

Durante el proceso de fabricación, el vidrio es producido en fibras de gran longitud y de un diámetro muy pequeño. Durante este proceso, el vidrio está en un estado plástico (no es líquido y no es sólido). La tensión aplicada al vidrio durante este proceso, causa que el vidrio se enfríe y desarrollen irregularidades submicroscópicas que se forman de manera permanente en la fibra óptica. Cuando los rayos de luz que se están propagando por una fibra óptica chocan contra una de estas impurezas, se difractan. La difracción causa que la luz se disperse o se reparta en muchas direcciones. Una parte de la luz difractada continua por la fibra óptica y parte de ésta se escapa por la cubierta. Los rayos de luz que se escapan representan una pérdida en la potencia de la luz. Esto se llama pérdida por dispersión de Rayleigh. La figura 3.16 muestra la gráfica en relación con la longitud de onda y las pérdidas por dispersión de Rayleigh.

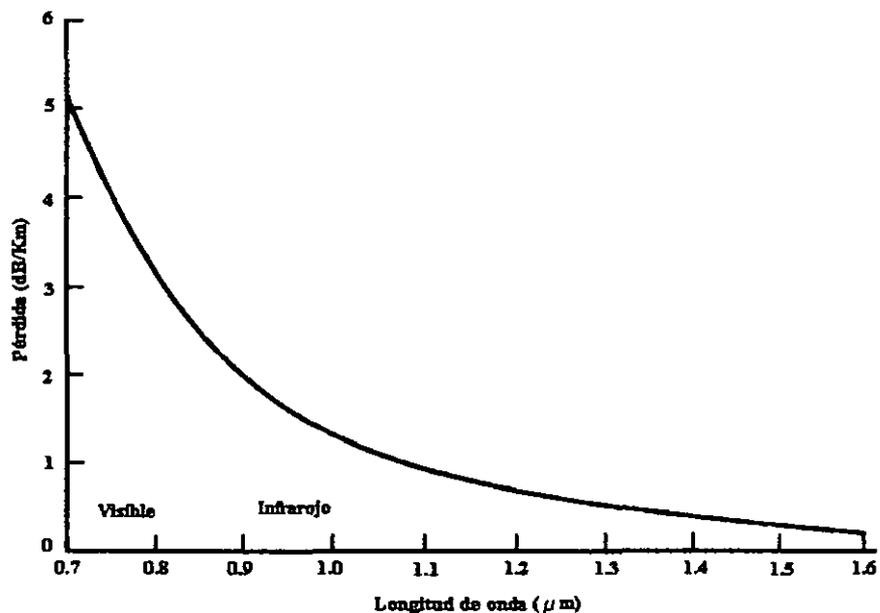


Figura 3.16 Pérdidas por dispersión de Rayleigh.

3.12.3 Dispersión cromática o de longitud de onda.

Como se estableció anteriormente, el índice refractivo del material es dependiente de la longitud de onda. Los diodos emisores de luz (LED) emiten luz que contiene una combinación de longitudes de onda. Cada longitud de onda, dentro de una señal de luz compuesta, viaja a una velocidad diferente. En consecuencia, los rayos de luz que simultáneamente se emiten de un LED y se propagan por una fibra óptica no llegan, al extremo lejano de la fibra óptica, al mismo tiempo. Esto resulta en una señal de recepción distorsionada; la distorsión se llama, distorsión cromática. La distorsión cromática se puede eliminar usando una fuente monocromática tal como un diodo de inyección láser (ILD).

3.12.4 Pérdidas de radiación.

Las pérdidas de radiación son causadas por pequeños dobleces e irregularidades en la fibra óptica. Básicamente hay dos tipos de dobleces: micro dobleces y dobleces de radio constante.

- A) El microdoblamiento ocurre como un resultado de las diferencias en las relaciones de la contracción térmica entre el núcleo y el material de la cubierta. Un micro doblez representa una discontinuidad en la fibra óptica, en donde la dispersión de Rayleigh puede ocurrir.
- B) Los dobleces de radio constante ocurren cuando las fibras ópticas se doblan durante su manejo o instalación.



3.12.5 Dispersión modal.

La dispersión modal o esparcimiento del pulso, es causada por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias en la fibra óptica. Obviamente, la dispersión modal puede ocurrir sólo en las fibras ópticas multimodo. Se puede reducir considerablemente usando fibras ópticas de índice graduado y casi se elimina totalmente usando fibras de índice escalonado monomodo.

La dispersión modal puede causar que un pulso de energía de luz se disperse conforme se propaga por una fibra óptica. Si el pulso que está esparciéndose es lo suficientemente severo, un pulso puede caer arriba del próximo pulso (este es un ejemplo de la interferencia de inter símbolo). En una Fibra óptica de índice escalonado multimodo, un rayo de luz que se propaga por el eje de la fibra requiere de la menor cantidad de tiempo para viajar a lo largo de la fibra óptica. Un rayo de luz que choca en la interfaz de núcleo / cubierta en el ángulo crítico sufrirá el número más alto de reflexiones internas y, en consecuencia, toma la mayor cantidad de tiempo para viajar a lo largo de la fibra óptica.

La figura 3.17 muestra tres rayos de luz propagándose por una fibra óptica de índice escalonado multimodo. El modo de orden más bajo (rayo 1) viaja en una trayectoria paralelo al eje de la fibra óptica. El modo de orden mediano (rayo 2) rebota varias veces en la interfaz, antes de viajar a lo largo de la fibra óptica. El modo de orden más alto (rayo 3) hace muchos viajes de ida y vuelta, a través de la fibra óptica, conforme se propaga por toda la longitud. Se puede observar que el rayo 3 viaja una distancia considerablemente más larga que el rayo 1, conforme se propaga por la fibra óptica. En consecuencia, si los tres rayos fueran emitidos al mismo tiempo y representaran un pulso de energía de luz, los tres rayos alcanzarían el extremo lejano de la fibra óptica en tiempos diferentes y resultarían en una dispersión de la energía de la luz, con respecto al tiempo. Esto se llama dispersión modal y resulta en un pulso estirado que también reduce en amplitud en la salida de la fibra óptica. Los tres rayos de luz se propagan, por el mismo material, a la misma velocidad, pero el rayo 3 debe viajar una distancia más larga y, en consecuencia, requiere de un periodo más largo para propagarse por la fibra óptica.

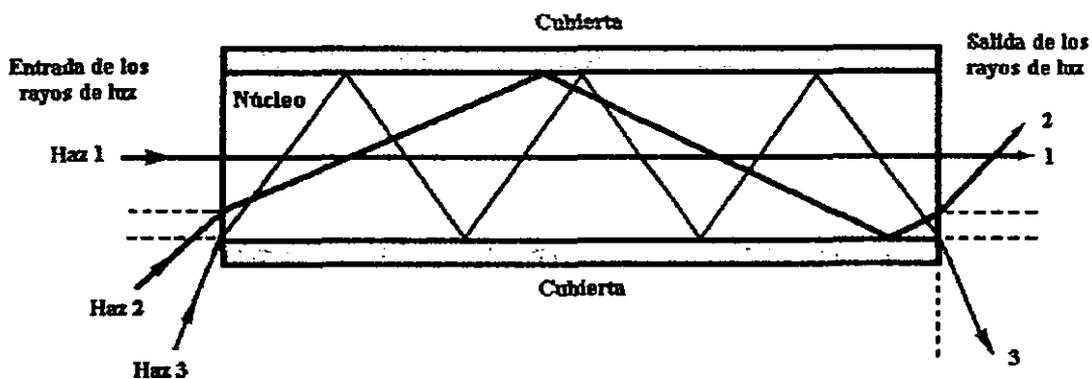


Figura 3.17 Propagación de los rayos a través de la fibra multimodo.



La figura 3.18 muestra los tres rayos de luz propagándose por una fibra óptica de índice escalonado monomodo. Debido a que la dimensión radial de la fibra óptica es lo suficientemente pequeña, hay una sola trayectoria para que los rayos sigan conforme se propagan a lo largo de la fibra óptica. En consecuencia, cada rayo de luz viaja la misma distancia, en un periodo específico, y los rayos de luz tienen exactamente la misma relación de tiempo, en el extremo lejano de la fibra óptica, que tenían cuando entraron al cable. El resultado es, la dispersión modal o estiramiento del pulso.

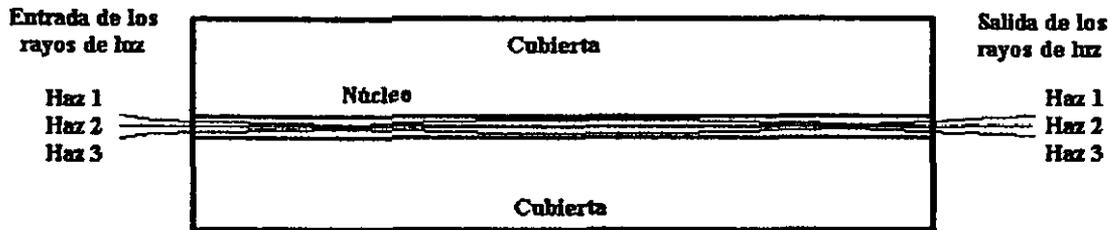


Figura 3.18 Propagación de los rayos a través de la fibra monomodo.

3.12.6 Pérdidas de acoplamiento.

En los cables de fibra óptica las pérdidas de acoplamiento pueden ocurrir en cualquiera de las uniones ópticas, conexiones de fuente a fibra óptica, conexiones de fibra óptica a fibra óptica y conexiones de fibra óptica al receptor. Las pérdidas de unión son causadas más frecuentemente por uno de los siguientes problemas de alineación: mala alineación lateral, mala alineación de la separación, mala alineación angular y acabado de superficie imperfecta.

Mala alineación lateral. Esto se muestra en la figura 3.19 y es el desplazamiento axial o lateral entre dos piezas de cables de fibra óptica contiguas. La cantidad de pérdida puede ser desde un par de décimas de 1dB a varios dB's. Esta pérdida generalmente es insignificante si los ejes de la fibra óptica están alineados dentro del 5% del diámetro más pequeño de la fibra óptica.

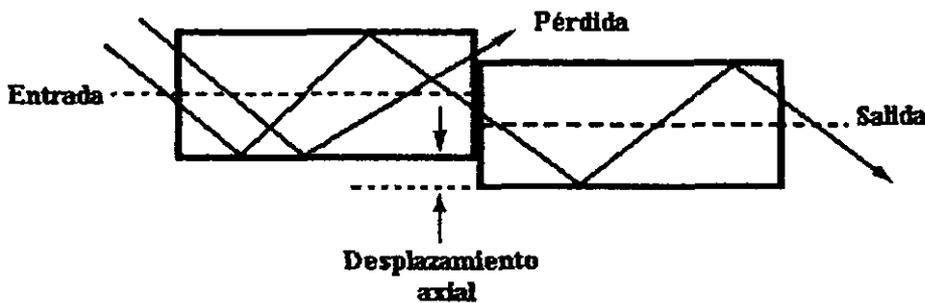


Figura 3.19 Mala alineación lateral.



Mala alineación de la separación. Esta se muestra en la figura 3.20. Cuando los empalmes se hacen en la fibra óptica, las fibras ópticas deben tocarse. Entre más separadas estén las fibras ópticas, mayor es la pérdida de la luz. Si dos fibras ópticas están unidas con un conector, las puntas no deben tocarse. Esto se debe a que las puntas frotándose una con otra en el conector, causarían daño a cualquiera o a ambas fibras ópticas.

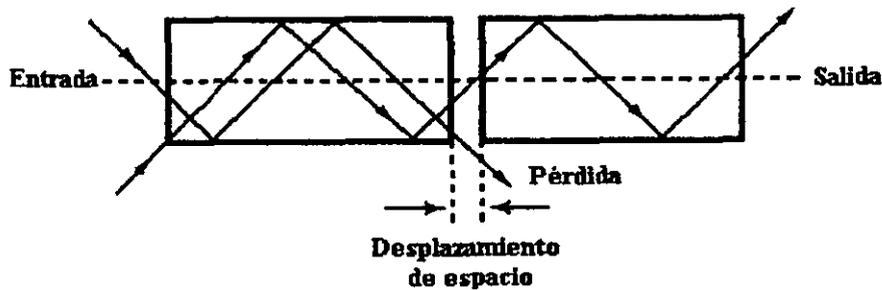


Figura 3.20 Mala alineación de la separación.

Mala alineación angular. Esto se muestra en la figura 3.21. Y también se le conoce como desplazamiento angular. Si el desplazamiento angular es menor que 2° , la pérdida será menor que 0.5 dB.

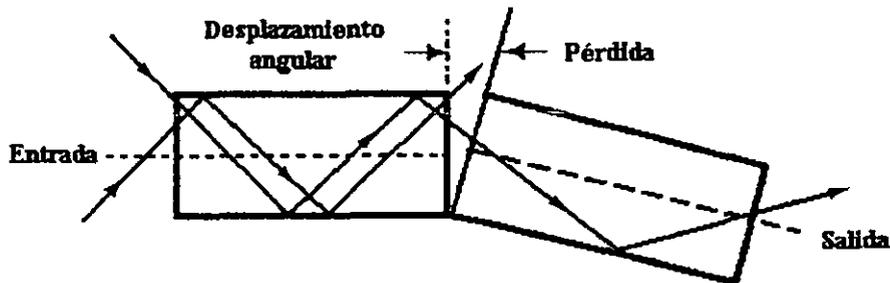


Figura 3.21 Mala alineación angular.

Acabado de superficie imperfecta. Esto se muestra en la figura 3.22. Las puntas de las dos fibras ópticas unidas deben estar altamente pulidas y encuadrarse juntas adecuadamente. Si las puntas de la fibra óptica están a menos de 3° de la perpendicular, las pérdidas serán menores que 0.5 dB.

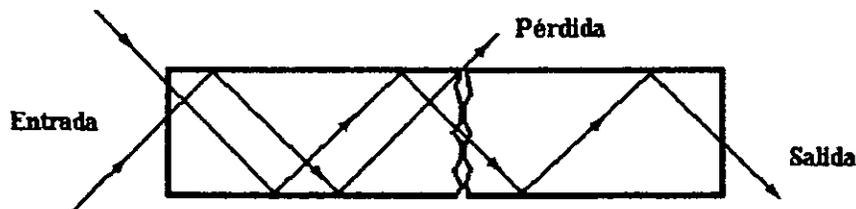


Figura 3.22 Superficie imperfecta.

3.13 Fuentes de luz.

En los sistemas de comunicación por fibra óptica comúnmente se utilizan dos dispositivos para generar luz, los cuales son: a) Diodo emisor de luz, b) Diodo de inyección láser.

3.13.1 Diodo emisor de luz.

Un diodo emisor de luz (LED) simplemente es un diodo de unión P-N. Generalmente está hecho de Arsenuro de Galio y Aluminio (AlGaAs) o Arsenuro de Fosforo y Galio (GaAsP). Los LED's emiten luz por emisión espontánea, la luz se emite como resultado de la recombinación de electrones y huecos. Cuando se polariza directamente, los portadores minoritarios son inyectados a través de la unión p-n. Una vez a través de la unión, estos portadores minoritarios se recombinan con los portadores mayoritarios y ceden energía en forma de luz. Este proceso es prácticamente el mismo que en el diodo convencional, excepto que en los LED's, ciertos materiales semiconductores y de dopado son elegidos de tal manera que en el proceso radiactivo, se produce un fotón. Un fotón es un Quantum de energía de onda electromagnética. Los fotones son partículas que viajan a la velocidad de la luz, pero en reposo no tienen masa. En los diodos semiconductores convencionales de germanio y silicio por ejemplo, el proceso es principalmente sin radiación y ningún fotón se generará. El espacio de energía del material usado para construir un LED, determina si la luz emitida por éste es invisible o visible y de qué color.

3.13.2 Diodo de inyección Láser.

Láser (amplificación de luz estimulada por emisión de radiación) de la traducción del idioma ingles (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Los láseres están contruidos de muchos materiales diferentes, incluyendo gases, líquidos y sólidos, aunque el tipo de láser usado para comunicación vía fibra óptica es el láser semiconductor.

El diodo de inyección láser (ILD) es muy similar al LED. En realidad, debajo de cierta corriente de umbral, un ILD actúa como un LED. Arriba de la corriente de umbral, un ILD oscila. Conforme una corriente pasa por un diodo de unión p-n polarizado directamente, la luz se emite por la emisión espontánea a una frecuencia determinada por la separación de



energía del material semiconductor. Cuando se alcanza un nivel de corriente específico, el número de portadoras minoritarias y fotones producidos en la juntura p-n alcanza un nivel donde comienza a chocar con las portadoras minoritarias ya excitadas. Esto causa un incremento en el nivel de energía de ionización y hace que las portadores sean inestables.

Cuando esto sucede, se recombina una portadora típica con un tipo de portadora opuesta en un nivel de energía que está arriba de lo normal antes de la colisión. En el proceso, se crean dos fotones, uno es estimulado por otro. Esencialmente, se realiza una ganancia en el número de fotones. Para que esto suceda se requerirá una corriente directa grande, que puede proporcionar muchas portadoras (huecos y electrones).

La construcción de un ILD es semejante a la de un LED excepto que los extremos están altamente pulidos. Los extremos de tipo espejo atrapan a los fotones en la región activa y, se reflejan uno a otro, estimulan a los electrones libres para que se recombinen con los huecos en un nivel de energía más alto que lo normal. Este proceso se llama lasing e indica el funcionamiento del láser.

La potencia de luz de salida radiante de un ILD típico se muestra en la grafica 3.23. En ésta se observa que muy poca potencia de salida se realiza hasta que la corriente de umbral se alcanza; entonces ocurre el lasing. Después de esto la potencia de salida óptica aumenta dramáticamente, con pequeños aumentos en la corriente de excitación. También puede observarse que la magnitud de la potencia de salida óptica del ILD es más dependiente en la temperatura de operación que el LED.

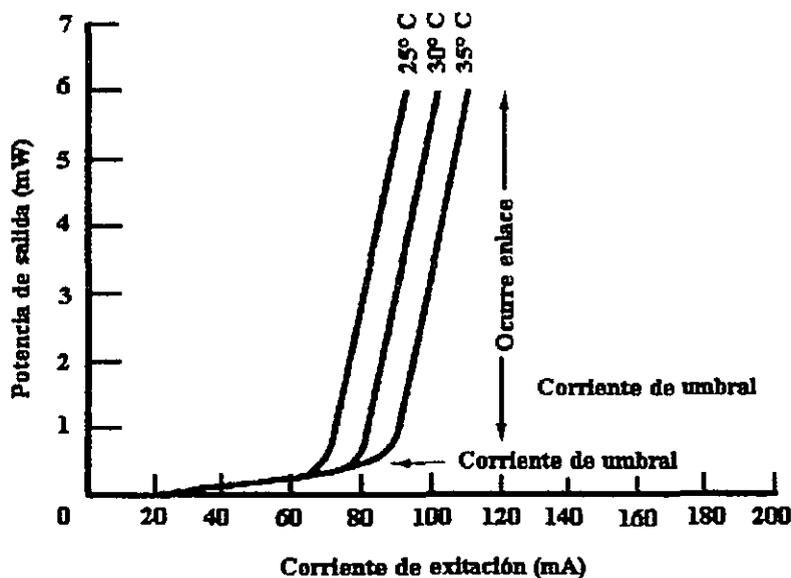


Figura 3.23 Grafica de salida de un ILD típico.



Ventajas de los ILD.

- a) Debido a que los ILD tienen un patrón de radiación más directo, es más fácil acoplar su luz en una fibra óptica. Esto reduce las pérdidas por acoplamiento y permite que sean usadas fibras ópticas más pequeñas.
- b) La potencia de salida radiante de un ILD es mayor que la de un LED. Una potencia de salida típica para un ILD es 5 mW (7 dBm), y 0.5 mW (-3 dBm), para el LED. Esto permite que los ILD proporcione una potencia de excitación más alta y puedan usarse para sistemas que trabajan distancias de gran longitud.
- c) Los ILD se pueden usar en velocidades de bits más altas que la del LED.
- d) Los ILD generan luz monocromática, la cual reduce la dispersión cromática o de longitud de onda.

Desventajas de los ILD.

- a) Los ILD están típicamente en el orden de ser 10 veces más caros que el LED.
- b) Debido a que los ILD trabajan a potencias más altas, típicamente tienen una vida más corta que el LED.
- c) Los ILD son más dependientes de la temperatura que el LED.

3.14 Detectores de luz.

Comúnmente se usan dos dispositivos para detectar la energía de luz en los receptores de comunicación de fibra óptica: diodos PIN (material intrínseco tipo PN) y APD (fotodiodos de avalancha).

3.14.1 Diodos PIN.

Un diodo PIN es un fotodiodo de capa de agotamiento y probablemente sea el dispositivo más comúnmente usado, como un detector de luz, en los sistemas de comunicación de fibra óptica. Una capa ligeramente imperfecta (casi pura o intrínseca) de material semiconductor de tipo n se introduce entre la unión de las áreas de contacto tipo n y p fuertemente imperfecto. La luz entra al dispositivo por una ventana muy pequeña y cae sobre el material intrínseco vacío de la portadora. El material intrínseco está hecho lo suficientemente grueso para que a mayoría de los fotones que entran en el dispositivo sean absorbidos por esta capa. Esencialmente, el fotodiodo PIN trabaja lo opuesto a un LED. La mayoría de los fotones se absorben por los electrones en la banda de valencia del material intrínseco. Cuando los fotones son absorbidos, agregan suficiente energía para generar portadores en la región de agotamiento o vaciamiento y permiten que la corriente fluya por el dispositivo.

El efecto fotoeléctrico se puede describir como sigue: La luz que entra por la ventana de un diodo PIN es absorbida por el material intrínseco y agrega suficiente energía para causar



que los electrones se muevan de la banda de valencia a la banda de conducción. El incremento en el número de electrones que se mueven a la banda de conducción se iguala por un incremento en el número de huecos en la banda de valencia. Para causar que la corriente fluya en un fotodiodo, una luz con suficiente energía se debe absorber para darles, a los electrones en la banda de valencia bastante energía para brincar el espacio de energía. El espacio de energía para silicio es de 1.12 eV (electrón-volts). Y matemáticamente se expresa:

Para el silicio, el espacio de energía (E_g) es igual a 1.12 eV:

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ (Joules)}$$

por lo que el espacio de energía para el silicio es:

$$E_g = (1.12 \text{ eV}) \left(1.6 \times 10^{-19} \frac{\text{joules}}{\text{eV}} \right) = 1.792 \times 10^{-19} \text{ (Joules)}$$

y la energía es igual a

$$E = hf$$

en donde:

$$h = \text{constante de Planck } 6.625 \times 10^{-34} \text{ (joules*seg)}$$

$$f = \text{frecuencia (Hz)}$$

despejando a f

$$f = \frac{E}{h}$$

Para un fotodiodo de silicio

$$f = \frac{1.792 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.625 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 2.705 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Como longitud de onda

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.705 \times 10^{14} \text{ Hz}} = 1109 \text{ nm}$$

En consecuencia las longitudes de onda de la luz, de 1109 nm o menos, o en frecuencias de luz de 2.705×10^{14} Hz o más, son requeridas para causar que suficientes electrones brinquen el espacio de energía de un fotodiodo de silicio.



3.14.2 Diodos APD.

Fotodiodo de avalancha (APD). Un APD tiene una estructura pipn. La luz entra al diodo y es absorbida por la delgada capa n imperfecta. Una alta intensidad de campo eléctrico desarrollada a través de la unión i-p-n por una polarización inversa, causa que ocurra una ionización de impacto. Durante la ionización de impacto, una portadora puede ganar suficiente energía para ionizar otros electrones unidos. Estas portadoras ionizadas, a cambio, causan que ocurran más ionizaciones. El proceso continúa como una avalancha y es, efectivamente, equivalente a una ganancia interna o multiplicación de portadora. En consecuencia, los APD son más sensibles que los diodos PIN y requieren de menos amplificación adicional. Las desventajas de los APD son los tiempos de transición, relativamente largos, y ruido adicional internamente generado, debido al factor de la multiplicación de avalancha.

Características de los detectores de luz.

Las características más importantes de los detectores de luz son: respuesta, corriente oscura, tiempo de tránsito, respuesta espectral.

- a) Respuesta. Una medida de la eficiencia de conversión de un fotodetector. Es la relación de la corriente de salida de un fotodiodo a la potencia de entrada. La respuesta generalmente se da para una longitud de onda o frecuencia específica.
- b) Corriente oscura. La corriente de fuga que fluye por un fotodiodo sin entrada de luz. La corriente oscura será causada por los portadores generados térmicamente en el diodo.
- c) Tiempo de tránsito. El tiempo que requiere un portador inducido con luz para viajar a través de la región de agotamiento. Este parámetro determina la máxima razón de bit posible con un fotodiodo específico.
- d) El rango de los valores de la longitud de onda que puede usarse para un fotodiodo específico. Generalmente, una respuesta espectral relativa se gráfica como una función de la longitud de onda o frecuencia.

3.15 Láser.

La tecnología del láser trata de la concentración de luz en rayos muy pequeños y poderosos. La palabra láser es un acrónimo de Amplificación de luz estimulada por emisión de radiación (light amplification by stimulated emission of radiation). Que se seleccionó para nombrar esta tecnología cuando hubo un cambio de las microondas a las ondas de luz.

El primer láser fue desarrollado por Theodore H. Maiman, un científico que trabaja para Hughes Aircraft Company en California. Maiman dirigió un rayo de luz a cristales de rubí con una lámpara de flash xenón y midió la radiación emitida del rubí. Descubrió que cuando la radiación emitida incrementó más allá del umbral causó que la radiación emitida



se convirtiera, extremadamente intensa y altamente direccional. Los láseres de uranio fueron desarrollados en 1960. También en 1960 A. Javin, de los laboratorios Bell desarrolló un láser de helio. Los láseres semiconductores (diodos de inyección) fueron fabricados, en 1962, por General Electric, IBM y Lincoln Laboratories.

Básicamente, hay cuatro tipos de láser: gaseoso, líquido, sólido y semiconductor.

- a) Láser gaseoso. Utiliza una mezcla de helio y neón encerrada en un tubo de vidrio. Un flujo de ondas de luz coherentes (una frecuencia) se emite por una conexión de salida, cuando una corriente eléctrica descarga en el gas. La salida de onda de luz continua es monocromática.
- b) Láser líquido. Utiliza pinturas orgánicas contenidas en un tubo de vidrio para un medio activo. La pintura es hecha circular en el tubo con una bomba. Una pulsación de luz poderosa estimula a la pintura orgánica.
- c) Láser sólido. Utiliza un cristal cilíndrico, tal como un rubí, para el medio activo. Cada punta del rubí es pulida y paralela. El rubí se excita por una lámpara de tungsteno con una fuente de poder de corriente alterna. El láser da como resultado una onda continua.
- d) Láser semiconductor. Está hecho de uniones p-n, semiconductoras, y comúnmente se llaman diodos de inyección láser (ILD). El mecanismo de excitación es una fuente de poder de corriente directa que controla la cantidad de corriente al medio activo. La luz de salida de un ILD fácilmente se modula, haciéndola muy útil en muchas aplicaciones de comunicaciones electrónicas.

3.16 Instalación de cables ópticos.

Los cables de fibra óptica por su característica de tamaño y peso, permiten que sean colocados en grandes longitudes de hasta 5000 mts. Las técnicas usadas para la instalación son similares a la de los cables convencionales. Sin embargo, se requiere de precauciones especiales durante la instalación, esto con el fin de minimizar los esfuerzos de tensión y dobleces.

3.16.1 Instalación en ductos.

La mayor parte del cable de fibra óptica instalado para comunicación en distancias largas, se encuentra en ductos subterráneos, esto se debe a que se aprovecha la red de ductos ya instalados para cables de cobre, y a que se puede manejar ambos tipos de cable en las nuevas redes de ductos y que permite futuras expansiones a bajo costo.

Antes de iniciar la instalación del cable de fibra óptica en ductos subterráneos se deben seguir los siguientes pasos.



- a) Revisar los planos de la ruta a instalar y comprobar que estos correspondan físicamente a la zona donde se va a trabajar, revisando las condiciones del terreno, el número de pozos de registro, distancia entre éstos y posición del ducto y subducto a utilizar.
- b) Inspeccionar los pozos de registro y comprobar que se encuentren en condiciones de trabajo.
- c) Verificar que la trayectoria del cable dentro de los ductos se encuentre libre de obstáculos.
- d) Comprobar que se tiene todo el equipo necesario y los recursos humanos indispensables, ello incluye el mismo cable, vehículos, protecciones, permisos, equipo de comunicación.
- e) Comprobar que el número de carretes del cable de fibra óptica, el número de fibras, la longitud del cable correspondan al cable a instalarse.

La bobina o carrete de cable de fibra óptica a utilizar debe tener los siguientes cuidados para conservar las propiedades del cable al ser instalado.

- a) No debe dejarse caer el carrete o acostarlo.
- b) No debe rodarse el carrete para transportarlo, únicamente pequeños movimientos en el sitio de instalación en cuyo caso se deberá seguir el sentido de rodamiento que indica la flecha en el carrete.
- c) No deben retirarse las tablas de protección del carrete hasta que se comience a realizar la instalación.

Para la instalación del cable de fibra óptica en los ductos se pueden utilizar dos métodos, que son: el manual y el mecánico.

a) Método manual.

En este método sólo se utiliza la fuerza manual de los operarios para jalar el cable. Según la distancia del cable de fibra óptica a instalar se puede hacer en una o dos direcciones. En distancias cortas (menor a los 1000 mts), el carrete se coloca en la inicial o donde quedó la última punta instalada, y se instala el cable en un solo sentido. Como se muestra en la figura 3.24.

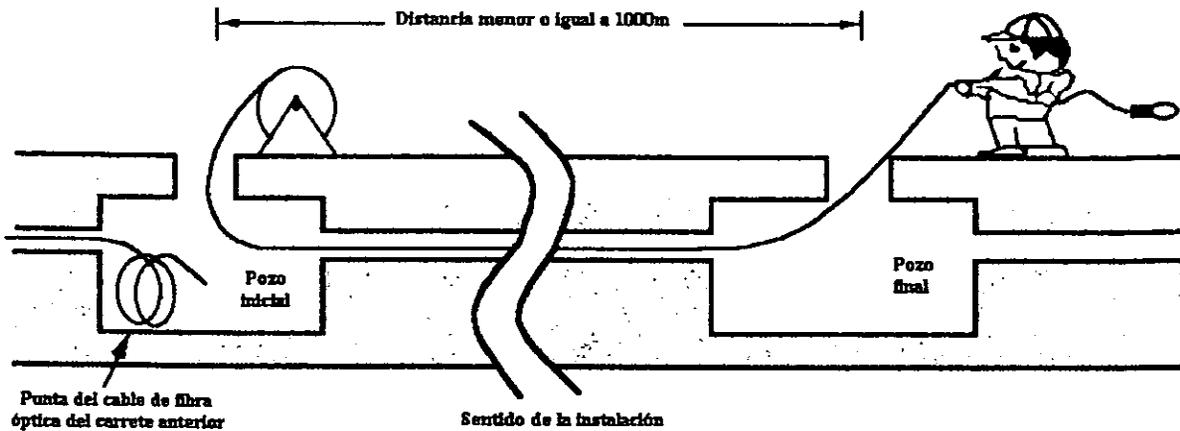


Figura 3.24 Sentido de instalación.

Para distancias mayores de 1000 mts. Se escoge un punto intermedio colocando ahí la bobina del cable de fibra óptica, primero se instala el cable hacia el punto inicial y una vez instalado este se procede a instalarlo en la otra dirección como se muestra en la figura 3.25.

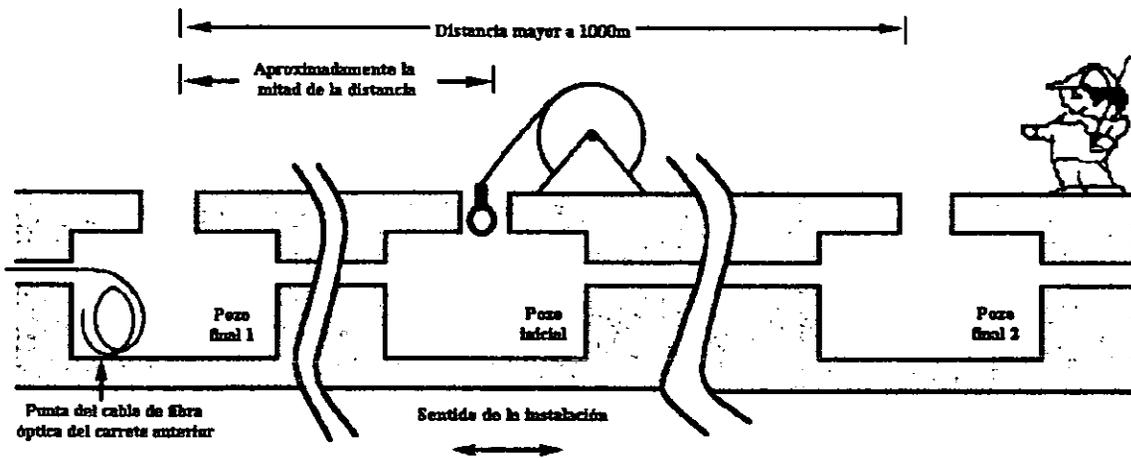


Figura 3.25 Para distancias mayores a 1000 m.

El carrete debe colocarse en el pozo de entrada, y se coloca considerando el sentido de tendido del cable, que es la misma dirección por encima de la ruta como se observa en la figura 3.26. Esto es para que el cable desarrolle una curva en el mismo plano que la ruta.

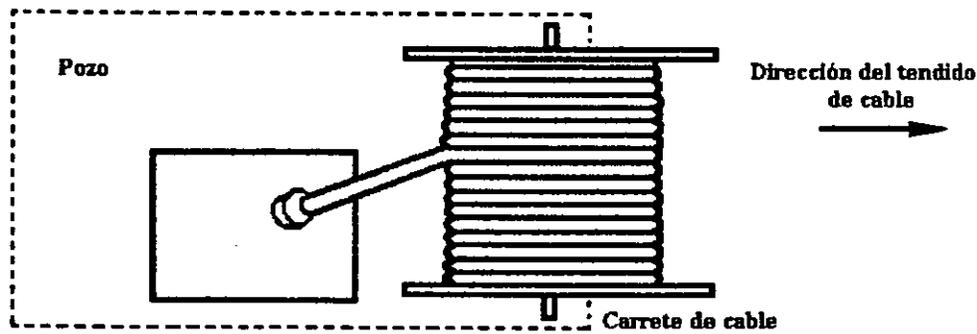


Figura 3.26 Colocación del carrete.

Una vez colocada la bobina se debe preparar el extremo del cable para soportar la tensión de jalado. Para ello se utilizan dos métodos de terminación en el cable.

Cuando el cable termina con un dispositivo de tracción sólo se necesita colocarle un destorcedor-fusible y unirlo a la guía de acero. Esto se muestra en la figura 3.27.

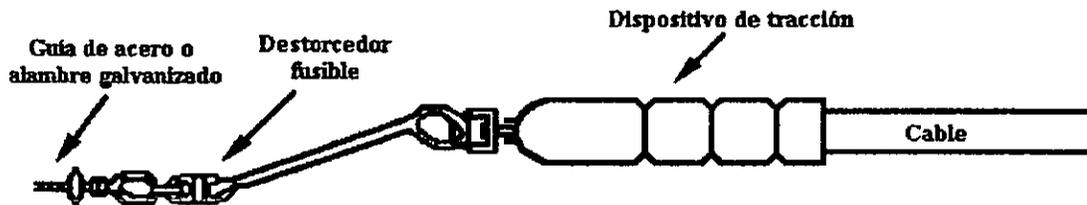


Figura 3.27 Destorcedor-fusible.

Si el cable carece de dispositivo de tracción se tendrá que utilizar un “caletín”, unido a un destorcedor-fusible. Este a su vez va unido al alambre galvanizado o a la guía de acero. Esto se muestra en la figura 3.28.

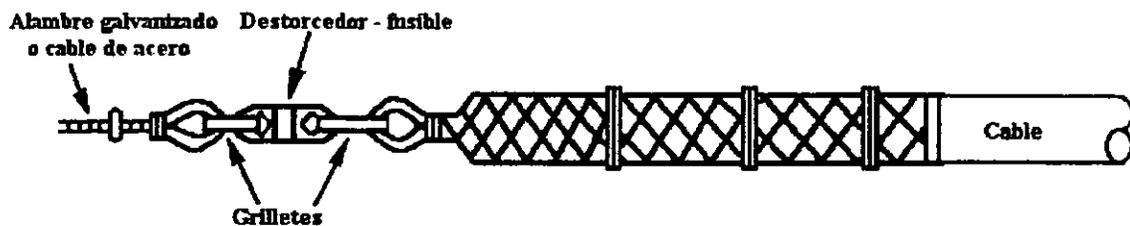


Figura 3.28 Colocación del caletín.



La función del destorcedor-fusible es evitar torsiones indeseables en el cable durante su jalado, además de evitar que existan sobre el cable tensiones mayores que las permitidas. En ocasiones en la entrada al pozo se utiliza un tubo flexible o gusano y una boquilla de campana para proteger a él cable de fibra óptica de posibles daños en su instalación.

Para la instalación se debe considerar una zona amplia para el desembobinado del cable y en el caso de que sea una instalación en dos direcciones, debe además contar con un espacio extra para formar los ochos, con aproximadamente 15 a 25 m^2 se tiene un sitio adecuado.

En el caso de que no se disponga de éste espacio en el pozo de entrada, este se traslada a algún pozo adyacente, de preferencia los que estén en dirección del pozo final.

Para el método manual se necesita la presencia de al menos un operador en cada pozo a lo largo del tramo donde se esta jalando el cable. Esto es con el propósito de reducir la tensión aplicada al cable. Si existen pozos con cambios de nivel o cambios de dirección se deberán colocar hasta cuatro operadores en el pozo donde ocurren estos cambios.

Según el peso del cable, el número de operarios disponibles y la trayectoria de la ruta, puede ser necesario sacar el cable en pozos intermedios. Así en tramos de 1000 m, se recomienda sacar el cable en tres pozos intermedios a 330 m, aproximadamente. Sin embargo si la ruta tiene solamente ligeros cambios de nivel y dirección y se cuenta con el personal suficiente, se pueden jalar los 1000 m, de una sola vez.

Con lo que respecta a los ochos se debe tener una zona amplia en los pozos intermedios para poder elaborarlos, y poderlos voltear.

Procedimiento para la instalación del cable:

- a) Se coloca el vehículo con el carrete en el lugar escogido.
- b) Se prepara la punta del cable, ya sea si tiene dispositivo de tracción o con un calcetín.
- c) Se instala la guía de acero en el pozo de entrada asignado.
- d) Una vez insertada en el ducto se impulsa la guía del pozo inicial al siguiente pozo.
- e) El operador del siguiente pozo recibe la guía y la inserta en el siguiente pozo de manera muy rápida para no variar la tensión sobre el cable. Y esta misma operación se hace en los pozos subsecuentes.

Durante esta operación se tiene que supervisar:

- 1) El trabajo en conjunto.
 - 2) La comunicación entre operadores.
 - 3) El desembobinado del cable en forma continua, sin golpear el cable, sin jalones.
 - 4) La entrada del cable a la boca del pozo de manera que no se golpee o raspe.
- f) Al llegar la guía al pozo de salida esta se dirige a la boca del pozo para sacarlo a la superficie. También debe cuidarse que no se golpee o raspe el cable con la boca del pozo. Una vez que va saliendo el cable se comienzan a hacer figuras de ochos sin permitir que se rebase el radio mínimo de curvatura y que el cable se comprima en exceso al encimar los cables unos sobre otros. Cuando se tienen ya formados los ochos estos se voltean para que la punta quede hacia arriba.
 - g) Para llegar a los pozos intermedios subsecuentes se repiten los pasos antes



descritos en los incisos c) a f) hasta llegar al pozo final de salida en donde se saca el cable dejando aproximadamente 15 m, para la elaboración del empalme.

Al utilizar el método de dos direcciones se tienen dos pozos de salida final; el pozo de entrada es el inicio para ambos, y se encuentra en medio de la ruta. Ya que primero se lleva el cable de la mitad de la ruta al principio, ahí se dejan tendidos 15 m, para la elaboración del empalme y después se proporciona más cable para el acomodo de éste en los pozos comenzando con el pozo donde se término, y terminando en el pozo donde esta el carrete.

- h) Una vez terminada esta primera etapa se desembobina el resto del cable formando las figuras de ocho, como es este caso son alrededor de 1000 m, los que forman los ochos, se debe tener mayor cuidado en la compresión del cable encimado. Por ello es recomendable formar dos puntos de intersección en el centro del ocho.
- i) Una vez desembobinado el resto del cable se procede a efectuar los puntos b) a g) nuevamente hasta llegar al punto final de la ruta y también el reacomodo del cable en todos los pozos.
- j) Si no se piensa empalmar en ese momento el cable, éste debe guardarse cuidadosamente y si es posible se debe volver a colocar una cubierta al extremo del cable.

b) Instalación mecánica.

Este método utiliza equipo mecánico de tracción (malacate) para la instalación del cable de fibra óptica en los ductos. En este método la presión ejercida sobre el cable es mucho mayor que en el método manual por lo que debe monitorearse la tensión mediante dispositivos de medición.

La misma fuerza de tensión hace posible que el cable se pueda instalar de una sola vez en 1000 m, sin necesitar de un gran número de operadores, no obstante si la ruta tiene una trayectoria con varios cambios pronunciados de nivel y dirección, se tendrá que hacer la instalación por etapas.

El cable debe llevar los mismos cuidados en su preparación y transporte que el método manual, además de supervisar muy de cerca la instalación del cable en el mecanismo de tracción para que el equipo no dañe al cable. En este método se utilizan poleas montadas en los pozos cuando en estos existen cambios de dirección o de nivel. El montaje y la colocación deben hacerse con cuidado para evitar dobleces, esfuerzos o roces no deseados en el cable.

También es recomendable utilizar la boquilla y el tubo flexible o gusano en la entrada al pozo. En ocasiones se aprovecha la boquilla para aplicar lubricante al cable.

Es necesario tener muy buena comunicación entre los operadores. Los sistemas convencionales de señalización como las banderas o señales de mano no pueden utilizarse ya que la distancia entre el carrete y el equipo mecánico de jalado es muy grande (mayor a 1000 m). por ello se recurre a la comunicación por radios portátiles (walkie talkie).

Una vez determinados todos estos factores, el procedimiento para la instalación en los ductos es similar al método manual.



- a) Colocar el carrete, operadores y equipo en los lugares asignados.
- b) Preparar la punta del cable,
- c) Instalación de guía de acero, del pozo inicial al pozo donde esta el equipo.
- d) Acoplar los extremos de la guía al cable y al equipo. Acomodar la guía en las poleas montadas en los pozos respectivos.
- e) Operar el equipo de jalado y los equipos de monitoreo. Debe supervisarse toda la ruta en especial el proceso de desembobinado, los pozos críticos y el equipo de tracción.
- f) Al llegar el cable al pozo de salida, se dejan 15m, para el empalme. Se suministra el cable para el acomodo en los pozos, esta operación puede hacerse manualmente.
- g) En caso de que se haya realizado en dos direcciones, se desembobina el resto del cable y se forman los ochos.
- h) Se coloca el equipo de tracción, los operadores y las protecciones, se repiten los puntos antes mencionados en los puntos b) a f).
- i) Si no se empalma en ese momento se acomoda el cable, se protegen las puntas y se guarda en el pozo.

3.16.2 Instalación directa en piso (enterrado).

La ruta que se proponga para enterrar el cable de fibra óptica debe ser revisada antes de iniciar los trabajos de construcción. Es necesario determinar con exactitud la localización de todos los puentes, curvas, cables de energía enterrados, tuberías de gas y agua de otros cables enterrados y complementar con las profundidades de todas éstas y localizar los puntos de intersección.

La localización de las cajas y puntos de empalme deberán definirse por adelantado en cualquier trabajo. Determinando también las condiciones del suelo a lo largo de la ruta del cable para la selección de la maquinaria y equipos de restauración adecuados. Se debe dejar una cantidad suficiente de cable para poder hacer un espira en las cajas de empalme. Los puntos de empalme se deberán determinar de manera que todo el trabajo de unión se realice en la superficie.

La instalación de cables directamente enterrados requieren de una supervisión muy estrecha, debido a que las operaciones de apertura, colocación del cable y cerrado de la zanja se realizan con bastante rapidez, si se usa una máquina excavadora que en general este el método más económico para instalar cable de fibra óptica directamente enterrados. Además que una vez enterrados el cable es imposible realizar una inspección visual.

Se deberá tener especial cuidado para evitar que el cable se dañe al colocarlo en la trinchera y no se excedan los radios mínimos de curvatura. Durante la operación de enterrado del cable se vigilará que no se produzcan obstrucciones, que la alimentación sea continua y que se mantenga la profundidad adecuada. Para evitar tensiones excesivas sobre el cable de fibra óptica se debe empezar la operación a la velocidad más baja posible y lubricando constantemente el eje de la bobina para que este gire libremente. Ya que cualquier cambio de velocidad de la excavadora puede causar un cambio repentino de velocidad en el suministro del cable de fibra óptica lo cual provocaría una sobre tensión en el cable de fibra óptica, al tender el cable con la excavadora hay que tener cuidado de evitar



las curvas agudas, pues esto puede dañar a las fibras ópticas dentro del cable, aunque físicamente no presente ningún daño.

Es recomendable que la apertura de las zanjas se haga con un método mecanizado reduciendo al mínimo la excavación manual. Además el ancho de la zanja no debe ser superior a los 10 cm, para obtener un máximo en velocidad y eficiencia. Se debe tener cuidado de que el cable al ser enterrado no tenga contacto con rocas, piedras u objetos puntiagudos y pesados dentro de la zanja. Se acostumbra cubrir el fondo de la zanja con tierra cernida o arena antes de colocar el cable y recubrir el cable también con varios centímetros de tierra cernida o arena antes de rellenar nuevamente la zanja. Y cuando se usan máquinas escavadoras que entierran el cable en una sola operación, se envuelve al cable con un ducto protector de polietileno de alta densidad al momento de enterrarlo.

Cuando se emplea el método manual, se debe tener mucha precaución al momento de hacer la tracción del cable dentro de la zanja, ya que éste puede dañarse con los materiales que se encuentren en la zanja y vigilar que no se aplique tensiones excesivas sobre el cable. Generalmente los cables de fibra óptica enterrados manualmente son más susceptibles de dañarse en las operaciones de tendido y rellenado de zanjas que cuando se entierran mecánicamente.

Los cables de fibra óptica enterrados directamente normalmente tienen una profundidad de 60 cm, a 90 cm. Aunque en los campos de agrícolas, la profundidad debe ser mayor, para permitir que los trabajos de labranza se realicen sin afectar al cable. Después de que se ha instalado una sección del cable, ésta debe probarse con el fin de verificar que no hay daños en el cable.

3.16.3 Instalación aérea.

Para la instalación aérea existen dos tipos de cable para ser usados. Cable de fibra óptica auto soportado. Cable de fibra óptica para sujetarse a un alambre de suspensión externo. En la instalación de los cables de fibra óptica se debe tener la precaución de no exceder los radios mínimos de curvatura (de acuerdo a lo especificado por el fabricante) y de aplicar siempre la tensión sólo sobre la guía de suspensión incorporada al cable.

Para reducir la concatenaria y evitar que el cable sea agitado por el viento, hay que aplicar una tensión bastante alta sobre la guía de suspensión y torcer el cable de fibra óptica sobre su propia guía aproximadamente una vuelta cada 10 m. Si las condiciones del terreno permiten un fácil acceso por vehículo, se puede montar el carrete de cable de fibra óptica sobre un camión y desenrollarlo a lo largo de la línea de postes. El cable de fibra óptica se jala del carrete y se coloca sobre poleas localizadas en cada poste en un lugar donde finalmente el cable será sujetado. Si el terreno no permite el acceso de un vehículo, el cable será jalado en forma manual e instalado en los postes de manera similar.

La sujeción a los postes se hace por medio de sujetadores convencionales de acero galvanizado de un tamaño que permita adaptarse a la guía de suspensión. Cuando se usa una guía de suspensión no metálica se requiere de sujetadores especialmente diseñados para no dañar la guía.

En la utilización de alambres de suspensión externos reporta algunas ventajas. El alambre de suspensión puede instalarse por adelantado, o bien se puede utilizar alguno ya existente,



o alguno que este realizando alguna otra función (cables de guarda, de energía, etc). El cable de fibra óptica se une a la guía externa mediante un fleje no metálico colocado helicoidalmente o bien utilizando bandas o grapas espaciadas regularmente. El uso de flejes es un método rápido y se aplica por medio de un equipo atador. Un extremo del cable se sujeta al alambre de suspensión. El equipo atador se coloca sobre la guía de suspensión y el fleje se ancla al poste. Moviendo el equipo atador sobre la guía el fleje se enrosca alrededor del cable de fibra óptica y la guía. El cable de fibra óptica se surte desde un carrete que está montado sobre un camión. Cuando se recorre la distancia entre dos postes, el cable de fibra óptica y el fleje de atado se anclan al poste y se repite la operación anterior hasta completar la instalación.

3.16.4 Instalación submarina.

Para este tipo de instalación se requiere de una planeación apropiada. Es necesario hacer una inspección física de la ruta. Se realiza un mapa del fondo marino. La ruta se marca con boyas, y se tiende un cable para facilitar el seguimiento durante la instalación. Antes de la instalación se realizan pruebas en tramos pequeños de forma consecutiva para localizar obstáculos, investigar la densidad de la tierra en el fondo y el comportamiento de las mareas.

3.16.5 Instalación en interiores.

Los cables de fibra óptica para interiores, están contruidos de manera diferente a los cables de fibra óptica usados en planta externa. Se recomienda que los cables para interiores contengan una cubierta externa de material retardante a la flama, esto con la intención de prevenir incendios. Los cables de fibra óptica dentro de edificios, normalmente se instalan sobre charolas metálicas especialmente diseñadas para colocar cables , o dentro de ductos dejados para este fin. Donde también se debe planear cuidadosamente la ruta de los mismos, con le fin de prevenir fuerzas excesivas que corten las fibras ópticas.

Cuando los cables de fibra óptica cruzan por diferentes niveles o se encuentran al alcance del público, se les deberá proteger al menos con una cubierta metálica en forma de "U". Para no exceder la máxima carga de tensión del cable de fibra óptica, cuando el cable de fibra óptica corre de forma vertical, se deberá sujetar cada metro. Esta sujeción se deberá hacer con cintillas de material suave con el propósito de no causar daños en la fibra óptica.

3.17 Empalmes.

La interconexión y acoplamiento de fibras ópticas con diferentes dispositivos, tales como fuentes de luz y receptores, requieren de especial cuidado, ya que en una instalación se desea reducir al mínimo las pérdidas causadas por uniones de fibras ópticas necesarias en el sistema.



Las uniones de fibras ópticas pueden ser fijas o temporales, en las primeras la unión se lleva a cabo por un empalme permanente, y en las segundas se utilizan conectores que pueden ser removibles. El tipo de unión que se elija dependerá de las necesidades de la instalación, por ejemplo, si se requiere una unión permanente de tramos largos de fibra óptica con muy bajas atenuaciones, se hace un empalme permanente, por otra parte cuando se necesita instalar o retirar una fibra óptica fácil y rápidamente, se emplean conectores. Las dos técnicas básicas para realizar empalmes son: mecánicas y por fusión.

3.17.1 Empalmes mecánicos.

Cuando se tiene enlaces de corta distancia donde se pueden tolerar pérdidas considerables se utilizan empalmes mecánicos en los cuales las fibras ópticas son unidas a través de medios mecánicos, como ranuras en forma de “V”, varillas (de acero o vidrio) o elastomérico.

a) Método de varillas.

Este es uno de los primeros métodos utilizados de empalmes mecánicos. Por lo general se utilizaban tres varillas de acero o vidrio (Pin's) acomodados según se muestra en la figura 3.29, para que en orificio central queden alineadas las fibras ópticas a unir. Se puede agregar una sustancia epóxica para adherir a las fibras ópticas y además actuar como acoplador óptico. Las varillas son de un diámetro mucho mayor que el de la fibra óptica y deben tener dimensiones muy precisas con tolerancias menores a $0.04\mu m$.

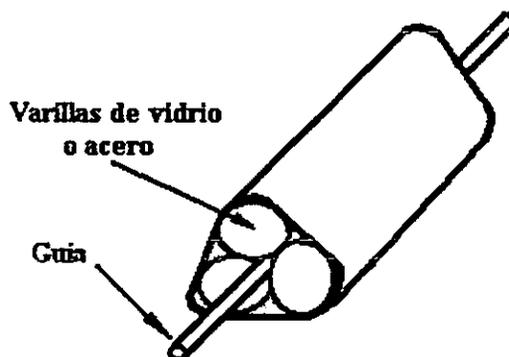


Figura 3.29 Método de varillas.

b) Método de ranura en “V”.

El método más utilizado de empalme mecánico es el de ranura en “V” (V-Groove), en el que las fibras ópticas ya cortadas y preparadas se colocan en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de “V”, que alinea las fibras ópticas para su unión, y se agrega un adhesivo con un índice de refracción igual al del núcleo de la fibra óptica.



La unión se logra mediante una tapa que sujete las fibras ópticas, manteniéndolas en contacto. El material acanalado puede ser silicón, plástico, de cerámica, acero o aluminio. Las fibras ópticas se unen en la mitad del canal y se ponen en contacto con la ayuda de bloques móviles, se debe supervisar que la unión se de ya sea a simple vista o con una lupa.

Existen varios tipos de empalmes con el método de ranura en "V". El más sencillo utiliza una tapa plana, como se muestra en la figura 3.30 e inclusive existe un diseño con tres ranuras, a pesar de que estas ofrecen una mejor alineación de las fibras ópticas en forma más precisa, tienen la desventaja que requieren más piezas de precisión, lo cual aumenta el precio.

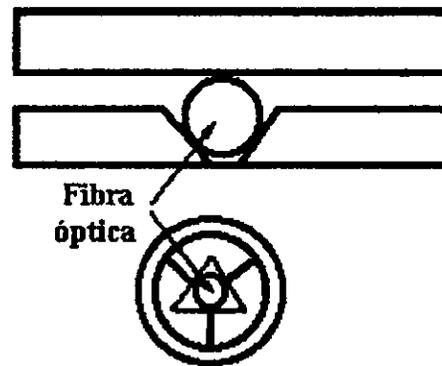


Figura 3.30 Ranura en "V".

Las desventajas de usar el método de ranura en "V", es la limitación que se tiene de sólo unir fibras ópticas con revestimientos iguales y con una alta concentricidad.

Las ventajas del método de ranura en "V", es su facilidad y rapidez de la elaboración del empalme, la pérdida promedio de un buen empalme por este método es del orden de 1 dB.

c) Método elastomérico.

Este es otro método de empalme mecánico que consiste en dos tubos de material elástico con un pequeño orificio en el centro y de diámetro ligeramente menor que el del revestimiento de la fibra óptica, con un ensanchamiento en ambos extremos del orificio para facilitar la inserción de la fibra óptica. Cuando se efectúa la inserción, el diámetro del orificio se expande de tal forma, que el material elástico ejerce una fuerza simétrica sobre la fibra óptica. Esta fuerza hace que los ejes de las fibras ópticas al unir queden alineadas sin importar si son de diferente diámetro. Además de eliminar las fallas angulares y radiales reduciendo las pérdidas en el empalme.

3.17.2 Empalmes por fusión.

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en aplicar calor en una zona específica entre las fibras ópticas a unir, suavizándolas y fusionándolas. Las fibras ópticas



deben prepararse en forma muy precisa en sus extremos quitándoles las cubiertas secundaria y primaria, cortando las caras de los extremos de las fibras ópticas para que estas estén planas y perpendiculares al eje, además se debe limpiar la fibra óptica dejándola libre de polvo y grasa. Después se monta ya sea en una base ranurada o en sujetadores controlados por microposicionadores accionados por servomotores de precisión o manualmente, con la libertad de moverse sobre los tres ejes para obtener un alineamiento óptimo cómo se muestra en la figura 3.31, todos estos movimientos son supervisados detalladamente mediante un microscopio de gran ampliación.

Para aplicar calor a la unión se utiliza principalmente un arco eléctrico, el tiempo de fusión y el calor aplicado deben estar cuidadosamente controlados para obtener un empalme eficiente. Para la optimización de este método, se alimenta luz en un extremo de una de las fibras ópticas a empalmar y en la otra fibra óptica se mide la potencia del haz de luz, observándose que en donde la potencia óptica recibida es mayor se tendrá la alineación óptima de las fibras ópticas. Este procedimiento puede efectuarse automáticamente sin intervención del operador.

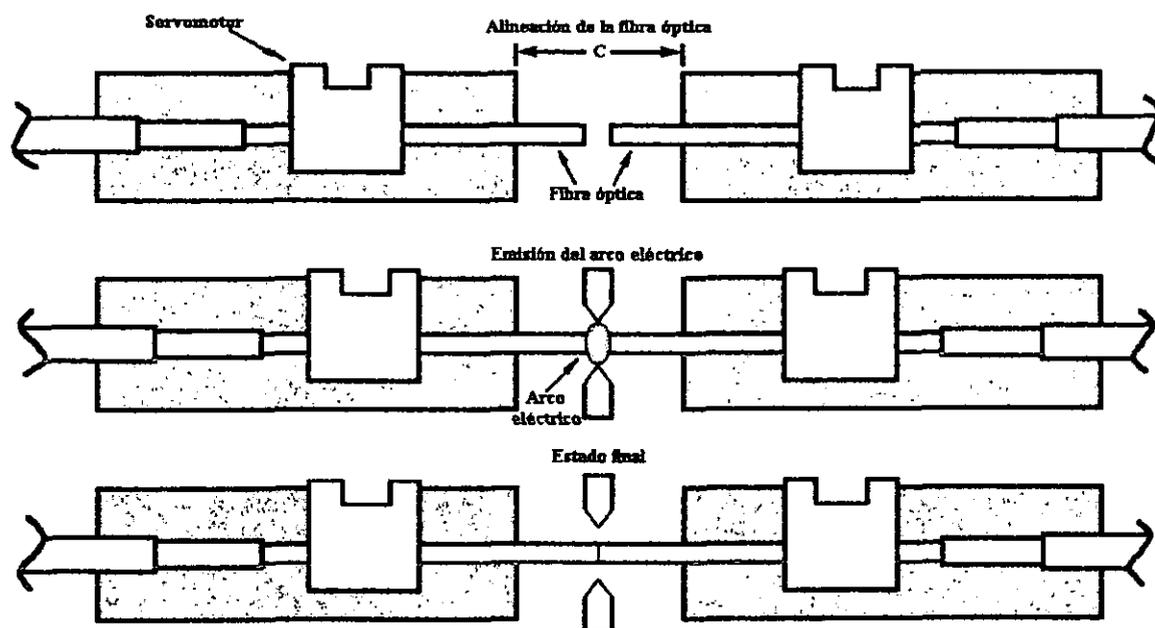


Figura 3.31 Empalme de fusión.

Mediante el método de fusión se logran atenuaciones por empalme del orden de 0.1 y 0.2 dB y llegando a obtener valores de 0.01 inclusive 0 dB para fibras idénticas.

Una vez hecho el empalme por fusión se debe proteger con una cubierta que sustituya las cubiertas primaria y secundaria de la fibra óptica y además de tal forma que no reciba esfuerzos de tensión, ya que la combinación de daños superficiales por manejo de la fibra óptica, y crecimiento de grietas por calentamiento y esfuerzos residuales por cambios en la composición química disminuyen considerablemente la resistencia mecánica del punto de unión de las fibras ópticas.



3.17.3 Máquinas para empalmar fibras ópticas.

A partir de los años 70's se comenzaron a desarrollar las primeras máquinas portátiles para empalmar fibras ópticas por fusión.

El principio básico con el cual son diseñadas, es el de la aplicación de calor en un punto de unión de las fibras ópticas para la fusión de estas. Con ello se tiene una unión permanente y no requiere materiales adicionales como pegamentos.

Para poder lograr una unión con pérdidas aceptables, la máquina para empalme debe manejar y monitorear los parámetros de: posición y calor.

Posición: Con objeto de alinear las fibras ópticas para tener un buen empalme, se utilizan posicionadores de presión en las tres dimensiones.

Calor: Para regular la cantidad de calor aplicado al punto de unión de las fibras ópticas se manejan dos parámetros, que son el tiempo de aplicación de la fuente de calor y la intensidad de la fuente de calor.

Las fuentes de calor han variado conforme se han desarrollado las máquinas para empalmar, comenzando primero con fusión por gas, después por arco eléctrico formado por dos electrodos y finalmente se ha desarrollado la aplicación de láser para fusión.

El primer método resultó con grandes pérdidas ya que el mismo quemador de gas generaba impurezas en la unión de las fibras ópticas. El último método es aún muy costoso aunque sigue en desarrollo. Por lo que el método de fusión por arco eléctrico es el más comúnmente utilizado, en él se controla la corriente aplicada a los electrodos.

Para poder alinear las fibras ópticas se debe utilizar un sistema de monitoreo, el cual por lo general esta constituido por un juego de espejos y lentes amplificados por un microscopio o una pequeña cámara de video.

Con el desarrollo de estos equipos se ha facilitado los procesos para elaborar el empalme, automatizándose cada vez más el funcionamiento, poder estimar las pérdidas en el empalme, contar con un equipo ligero, manejable y compatible con toda clase de fibras, y sobre todo con pérdidas cada vez menores.

En la evolución de los empalmes por fusión se han establecido "generaciones". Así la primera generación la constituye el sistema totalmente manual en donde el operador alinea las fibras ópticas observando estas a través de un microscopio.

La segunda generación agrega un sistema de inyección y detección de luz (LID). Este se basa en el comportamiento óptico de la fibra óptica al curvarse; la fibra óptica al sufrir un doblez, varía el ángulo de incidencia de la luz sobre el revestimiento dando como resultado que parte de la luz pueda entrar o salir al exterior de la fibra óptica; para inyectar la luz se dobla la fibra óptica en un diámetro de al menos 8mm, pero no mayor de 6mm, para que la fibra óptica sufra una tensión excesiva. Con este sistema se pueden alinear incluso las fibras ópticas con núcleos excéntricos, ya que lo que se compara es la cantidad de luz que se transmite de un núcleo a otro.

Una tercera generación surgió con el sistema de alineamiento de perfiles de índice de refracción (PAS Profile Alignment System). El sistema reemplaza al microscopio por una cámara de video donde se obtiene una señal de posición de los núcleos de las fibras ópticas a unir. Esta señal se utiliza para alinear automáticamente las fibras ópticas. De esta forma la alineación puede efectuarse a diferencia de la generación anterior, sin doblar ni comprimir la fibra óptica.



Este sistema también hace estimaciones de las pérdidas en el empalme. Sin embargo, estas estimaciones no siempre corresponden a las pérdidas reales, leídas por un OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo), ya que solamente considera dos parámetros para la estimación, las diferencias de nivel y las compensaciones del núcleo y del revestimiento. Además de que la estimación se efectúa fuera del área crítica donde se efectúa el empalme. Por lo que es conveniente utilizar un equipo de medición para determinar las pérdidas reales.

La cuarta generación son equipos donde la estimación se hace en la zona crítica del empalme y además se toman 7 parámetros para elaborar la estimación. Tipo de deformación en el núcleo, amplitud de la deformación y su longitud, la diferencia de nivel del núcleo y del revestimiento, variación de diámetro exterior y de la línea vertical blanca que aparece en la zona del empalme. Como la estimación se efectúa precisamente en el momento de la fusión, el sistema se le denomina procesamiento de imagen del empalme caliente (WSIP Warm Splice Image Processing).

La imagen también procede de una cámara de video, la cual alimenta a un microprocesador para que efectúe la alineación automática mediante servomotores de precisión y haga la estimación de las pérdidas en la unión. Se considera que este tipo de equipos tienen un 5% o menos, de error con respecto a la medición hecha por un OTDR.

El tiempo que toma este equipo para elaborar el empalme y estimarlo es de alrededor de 1 minuto, se tiene la capacidad de cambiar todos los parámetros para elaborar el empalme como son tiempos y corrientes de fusión. Estos cambios se efectúan directamente en el equipo a través de su teclado incorporado al equipo. Otras ventajas son el de poco peso 7 Kg aproximadamente, su durabilidad, posibilidad de observar el empalme en un monitor, posibilidad de empalmar diferentes tipos de fibras ópticas.

3.17.4 Caja de empalme.

Al efectuar un empalme por fusión sobre cable de fibras ópticas, se deben proteger las uniones de las fibras ópticas del ambiente externo y al mismo tiempo tener acceso para efectuar algún mantenimiento sobre los empalmes cuando sea necesario, para satisfacer esta necesidad se utilizan las cajas de empalme diseñadas para ser instaladas en postes, en pozos de visita, en interiores o enterradas directamente en el suelo, por lo que deberán ser altamente resistentes a la humedad, a la corrosión, a esfuerzos mecánicos y temperaturas extremas. Según su estructura existen dos tipos de caja de empalme: cilíndrica y rectangular.

a) Caja de empalme cilíndrica.

Este diseño de caja consta de dos bases o tapas circulares unidas mediante dos postes o barras, también incluyen charolas organizadoras para el acomodo de las fibras ópticas, los accesorios necesarios para fijar el cable y una funda plástica o cubierta moldeada de forma cilíndrica para cubrir todo el arreglo.

Para la instalación de la caja de empalme cilíndrica se siguen los siguientes pasos:



Preparación de la caja. Para este tipo de caja es necesario quitar las tapas que se encuentran en las perforaciones que se localizan en la tapa circular, y es por donde se introduce el cable de fibra óptica.

Preparación del cable de fibra óptica. Para poder montar el cable de fibra óptica en la caja es necesario prepararla. Para ello se debe remover la cubierta externa del cable de fibra óptica en una longitud de entre 2.50 y 3.00 m, dependiendo del largo de la caja. Se debe remover las armaduras o el refuerzo en la misma longitud que la cubierta.

Instalación del cable de fibra óptica en la caja. Para evitar que el cable tenga movimientos indeseados y para mantener continuidad en los elementos metálicos, se unen los hilos mensajeros o miembros centrales de tensión, ya sea entre sí o bien a una estructura en la caja que los una. Un vez que se han elaborado los empalmes estos se colocan en los organizadores, los cuales en su mayoría son en forma de charola.

Cierre de la caja. Para este tipo de caja se puede sellar ya sea con alguna resina o una manga termocontráctil. En cualquier caso se necesita herramienta y mano de obra especializada para poder cerrar herméticamente.

Instalación. Para colocar la caja de tipo cilíndrico en los postes, en los pozos o en interiores, se requiere de herrajes especiales para su fijación. Las ventajas de las cajas de empalme de tipo cilíndrico son que presentan una estructura similar a la caja de empalmes en conductores metálicos, como las usadas en telefonía para los cables multipares. Las desventajas son:

Que una vez cerrada la tapa, si se requiere re-abrir por mantenimiento o expansión se debe destruir algunos elementos de la cubierta exterior.
Su dificultad para preparar y cerrar la caja herméticamente.

b) Caja de empalme rectangular.

Este tipo de caja de empalme consiste en una estructura de acero inoxidable, con organizadores en forma de charolas también de acero inoxidable o en la mayoría de los casos en forma de cartuchos de plástico.

Preparación de la caja. La caja se abre retirando los tornillos de la tapa, y a los cojinetes se les quita la grasa que pudieran tener.

Preparación del cable. En este paso es importante hacer correctamente las mediciones en el cable para su preparación, ya que se puede correr el riesgo de dejar con juego el cable una vez instalado o bien que no alcancen las fibras ópticas en el momento de hacer el empalme.

Instalación del cable en la caja de empalme. Se retiran las cubiertas del cable de fibra óptica y sus rellenos de forma que queden sólo las fibras ópticas con cubierta secundaria y el miembro central de tensión. Este último se mide y se corta de tal forma que al fijarlo al sujetador en la caja, libere de esfuerzos mecánicos al resto del cable. Las fibras ópticas se colocan en los organizadores marcando de forma precisa el punto donde se realizará el empalme cortando los excesos, una vez hecho esto, se retira la cubierta secundaria de la fibra óptica y se empalma, después de cada empalme, este se protege con un pequeño tubo



termocontráctil que sustituye a la cubierta secundaria. Estos tubos entonces son sujetos en cada organizador.

Instalación. Para colocar este tipo de caja en interiores se utiliza el herraje integrado a la caja para su sujeción. Las cajas de tipo rectangular, ofrecen las siguientes ventajas.

Se pueden abrir, cerrar, y montar fácilmente.

Una vez cerrada la caja, puede re-abrirse para mantenimiento sin necesidad de destruir ningún elemento de la caja, ni agregar elementos.

No requiere de herramienta altamente especializada.

Ofrece una gran protección al cable y a los empalmes.

3.18 Componentes pasivos.

En los componentes pasivos se incluyen los conectores, atenuadores ópticos, acopladores y filtros multiplexores de división de longitud de onda. Algunos de estos elementos son opcionales, otros son indispensables.

- a) **Conectores.** Los conectores pueden acoplar y mantener los extremos de los cables de fibra óptica en una alineación casi perfecta. Es gracias a los conectores actuales, y a que se han desarrollado técnicas de acople muy eficientes, que la fibra óptica monomodo ha tenido tanto éxito, ya que a pesar de ser más delgada que un cabello humano, sólo se tienen pérdidas del orden de 0.05 dB, y en algunos casos se han llegado a registrar menos.
- b) **Atenuadores ópticos.** Este tipo de atenuadores se utiliza para disminuir la potencia óptica en la señal de entrada ya que en ocasiones la señal de entrada tiene una potencia óptica mayor a la recomendada por el fabricante del equipo receptor, por lo que si no se disminuye la potencia óptica se puede dañar o disminuir la vida útil del receptor.
- c) **Filtros multiplexores de división de longitud de onda.** El propósito de estos filtros es separar la radiación de la fuente óptica dentro de las bandas de radiación, cada una de las cuales forma un canal de señal, el cual es modulado por separado. Los canales son multiplexados y transmitidos en una fibra esta técnica es muy efectiva en la utilización de anchos de banda grandes, ya que se puede incrementar la capacidad de la información. Los filtros consisten en una película delgada, construida de cualquier material dieléctrico, la cual tiene la propiedad de transmitir una longitud de onda y reflejar otra.



Capitulo IV

Diseño de la red de fibra óptica.



4.1 Introducción.

En el análisis para la planeación de una red metropolitana de fibra óptica, se debe considerar que la inversión inicial es sustancialmente costosa. Pero a su vez se debe considerar que a corto plazo la inversión realizada en la implementación de la red de fibra óptica se vuelve rentable en poco tiempo, ya que si se compara el gasto que se tendría que realizar al arrendar un sistema de fibra óptica, el que presenta un costo inicial bajo, pero al hacer una estimación a muy corto plazo el costo de un sistema de fibra óptica arrendado tiene un costo mayor y el cual llega a sobrepasar por mucho el costo de una inversión en una red propietaria de fibra óptica, además de que para cualquier expansión o aumento en el uso del número de fibras o ancho de banda, se requeriría de un costo adicional, y tal vez lo más importante que se debe considerar para implementar una red propietaria de fibra óptica, es que en el mercado no existen muchos proveedores de este tipo de servicio. Otro de los motivos por el cual conviene tener una red propietaria de fibra óptica es que se tendría el 100% del control sobre la red.

La necesidad principal de la empresa por lo cual se propone la implementación de una red metropolitana de fibra óptica es el de poder transmitir un flujo de señales de audio y video las 24 horas del día y los 365 días del año con normas NTSC y calidad Broadcast, ya que es una empresa que produce y transmite, programas y eventos especiales para televisión y requiere tener intercomunicados sus centros de producción y post-producción los cuales se encuentran diversificados en el área metropolitana y con lo cual se piensa optimizar los recursos de la empresa, volverla más productiva lo que reducirá los costos de producción. Esta red de fibra óptica debe interconectar seis sitios de la misma empresa, los cuales se encuentran en diferentes zonas geográficas del área metropolitana, El sistema debe quedar funcionando para control de operación, monitoreo y mantenimiento; para lo cual se tiene que acondicionar un “nodo central” en el cual se encontrará el control y monitoreo de la red. Así como también en cada sitio de la red se acondicionará un área en donde se montarán los equipos para la fibra óptica.

El concepto de red redundante significa que la red tiene una ruta alterna para transmitir la misma información, esto con el fin de que si se tiene algún problema en la ruta principal la ruta alterna se utilizará para la conducción de la información, en el caso concreto de la red que se esta presentando, que tiene una topología tipo anillo y consta de seis nodos, el anillo esta formado por dos rutas simétricas que van paralelas por todo el recorrido físico de la red, con la diferencia de que la transmisión de información por la ruta principal tiene el sentido de las manecillas de reloj mientras que el sentido de la ruta alterna es en sentido contrario al de las manecillas de reloj esto permite que cuando se tenga una ruptura en el cable de fibra óptica o falla en los receptores y transmisores la señal tome la ruta alterna.

Al haber pérdida de señal en el receptor siguiente, provoca que la tarjeta DAP habilite el receptor y transmisor secundario de toda la red, el cambio se hace de forma inmediata a la pérdida de señal, por lo que no se nota en ningún momento variación en la señal de video, lo que respecta al audio solo se llega a escuchar un leve chasquido casi imperceptible, a este cambio de trayectoria se le conoce como doblez del anillo ya que si se ve físicamente como viaja la señal de información es como si se tuviera un doblez en el cable de fibra óptica. Cuando hay alguna ruptura de fibra o si por algún motivo llega a fallar un receptor o



e) Tira de parcheo. Es el método manual por el cual se enrutan (direccionan) las señales esto es usando un panel receptor en el cual las fuentes de señal y los destinos son conectados y por medio de un cable (jumper) se interconectan.

f) Jumper. Es un tramo de cable corto donde se soldan conectores por ambos lados y es usado para completar un circuito temporal.

g) Codificador / decodificador. Es un equipo electrónico que convierte las señales analógicas de audio y video en un formato digital para facilitar la transmisión en un medio de comunicación, además convierte la señal en la parte receptora a su formato analógico.

h) Video compuesto. Es la señal de video que incluye información de sincronía horizontal y de sincronía vertical.

i) Drop. Asignación de una señal a un decodificador, extraída del flujo digital.

j) Add. Agregar una señal al flujo digital, que se obtiene de un codificador.

k) Pass. Acción de dejar pasar una señal del flujo digital a través del equipo.

4.2 Necesidades de la red.

Para el diseño de la red se debe tener en consideración las necesidades propias del sistema, esto es, el saber la cantidad de señales de audio y video que fluirán a través de la red de fibra óptica tanto del nodo central hacia cada uno de los nodos que componen la red como desde cada nodo de la red hacia el nodo central, una vez que se ha determinado el número de señales que se entregarán a cada nodo o que saldrán de cada nodo se realiza el diseño del flujo de señales dentro del nodo central ya que en los demás nodos de la red es responsabilidad del personal de control y distribución de señales del área, por lo cual se desconoce la distribución interna del flujo de señales de cada nodo.

Cabe mencionar que en el área donde se encuentra el nodo central, la distribución interna de señales es totalmente digital, aunque en algunos puntos las señales son analógicas, para lo cual se tiene que hacer una conversión de analógico a digital o viceversa de digital a analógico según sea el caso, todas las conversiones se realizarán para señales satelitales, señales de microondas, señales de fibra óptica, señales generadas en estudios, señales de máquinas de video tape. Todas estas señales son manejadas en un centro de control y distribución de señales. Esto implica tener en cuenta para el diseño un número de líneas dedicadas entre el centro de control y distribución y el nodo de fibra óptica.



4.3 Tipo de Red.

El diseño de la red debe tener una topología de “anillo” por que es la más conveniente y más económica para el tipo de red que se desea implementar, que es una red de tipo redundante, este tipo de red garantiza que en caso de alguna ruptura en un punto de la red no se pierda la comunicación con ningún nodo de la red. En la figura 4.2 se muestra el diagrama de la red.

Los elementos que componen la red son cinco nodos y un nodo central, en el nodo central se localiza el control maestro de seis canales, un área de video tape para la grabación, reproducción y edición de programas, estudios de grabación, un área de transmisión y recepción satelital, un área de transmisión y recepción de microondas.

En el nodo uno se localiza un centro de video tape para la grabación, reproducción y edición de programas, una videoteca, un área de transmisión y recepción satelital.

En el nodo dos se ubica en un estadio deportivo en el cual se realizan diversos eventos deportivos así como diversos eventos masivos, un estudio de grabación, un área de transmisión y recepción satelital.

En el nodo tres se encuentra un área de video tape para la grabación, reproducción y edición de programas, estudios de grabación, un área de transmisión y recepción satelital, un área de transmisión y recepción de microondas.

En el nodo cuatro existe un área de video tape para la grabación, reproducción y edición de programas, estudios de grabación, un área de transmisión y recepción satelital.

En el nodo cinco está el transmisor para radiar la señal de RF de los canales de TV abierta, un área de transmisión y recepción satelital, un área de transmisión y recepción de microondas.

Cabe mencionar que en todos los nodos se encuentra un centro de control y distribución de señales, que este centro es responsabilidad de cada área por lo que se desconoce la distribución interna de las señales ya que solo se entregan y se reciben las señales. En el único punto donde se realiza el diseño de distribución de señales es en el nodo central.

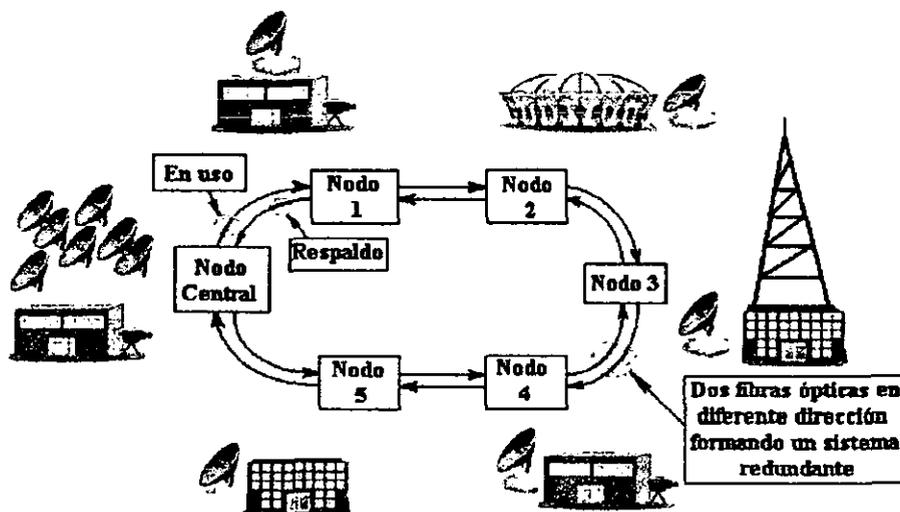


Figura 4.2 Diagrama de la red.



4.4 Distancia entre los Nodos.

La distancia entre los Nodos es de gran importancia ya que es uno de los motivos por el cual se toma la decisión de plantear la construcción de una red metropolitana de fibra óptica. En la tabla 4.1 se muestra la distancia que existe entre nodos.

Nodo Origen	Nodo Destino	Distancia entre el Nodo Origen y el Nodo destino	Distancia total con respecto al Nodo Central
Nodo Central	Nodo 1	16.305 Km	16.305 Km
Nodo 1	Nodo 2	4.365 Km	20.670 Km
Nodo 2	Nodo 3	11.801 Km	32.471 Km
Nodo 3	Nodo 4	12.236 Km	44.707 Km
Nodo 4	Nodo 5	51.901 Km	96.608 Km
Nodo 5	Nodo Central	29.413 Km	126.021 Km

Tabla 4.1 Distancia entre Nodos.

En la tabla 4.2 se hace referencia a la localización de cada uno de los nodos que componen la red metropolitana de fibra óptica.

Nodo	Localización	Áreas principales en cada nodo
Nodo Central	<i>Av. Chapultepec y Av. Niños Héroes</i> Colonia: Doctores Delegación: Cuauhtemoc	Área de grabación, edición y postproducción área de recepción y transmisión satelital área de control maestro de canales
Nodo 1	<i>Calzada de Tlalpan y División del Norte</i> Colonia: Espartaco Delegación: Coyoacan	Área de grabación, edición y postproducción área de recepción y transmisión satelital
Nodo 2	<i>Calzada de Tlalpan y Av. Estadio azteca</i> Colonia: Santa Ursula Coapa Delegación: Coyoacan	Área de grabación, edición y postproducción área de recepción y transmisión satelital



Nodo 3	<i>Blvr. A. López Mateos y Camino Antiquo a Acapulco</i> Colonia: San Angel Inn Delegación: Alvaro Obregón	Área de grabación, edición y postproducción área de recepción y transmisión satelital
Nodo 4	<i>Av. Vasco de Quiroga y Fernando Espinosa</i> Colonia: Santa Fe Delegación: Miguel Hidalgo	Área de grabación, edición y postproducción área de recepción y transmisión satelital
Nodo 5	<i>Pico Tres Padres</i> Municipio de Coacalco Estado de México	Transmisor de señal de TV abierta área de recepción y transmisión satelital

Tabla 4.2 Localización de los Nodos.

4.5 Necesidades técnicas de los nodos.

En cada nodo se requiere acondicionar un área, la cual debe contar con suministro de energía regulada y soportada por un respaldo de carga para un tiempo mínimo de 30 minutos proporcionado por un sistema de UPS's, además de contactos de servicio, también se debe contar con clima controlado, es decir, tener un sistema de aire acondicionado para mantener el lugar a una temperatura constante y fría, el área debe ser lo suficientemente grande para permitir el acceso e instalación para el montaje del equipo y demás elementos que sean requeridos, una vez que se haya instalado el equipo, se deberá mantener cerrada el área y sólo tendrá acceso el personal autorizado.

4.6 Secuencia para la implementación de la red de fibra óptica.

Una vez que se a tomado la decisión de llevar a acabó la construcción de la red de fibra óptica es conveniente realizar los siguientes pasos:

- 1) *Propuestas para las trayectorias de la fibra óptica.*
- 2) *Análisis de la trayectorias propuestas.*
- 3) *Revisión física de las trayectorias.*
- 4) *Reporte de la creación de una red de fibra.*
- 5) *Solicitud de los permisos de excavación.*
- 6) *Solicitud a la compañía de Luz y Fuerza.*
- 7) *Colocación de tubería.*



- 8) Adecuación de las áreas o nodos en cada sitio
- 9) Se hace la selección del equipo de fibra óptica.
- 10) Instalación de la fibra óptica.

4.6.1 Propuestas para las trayectorias de la fibra óptica.

Ya que se conoce la ubicación de todos los nodos se realizan propuestas para las trayectorias a seguir para la interconexión entre nodos y así formar la red, se toma en consideración las trayectorias más directas pero teniendo en cuenta que no se tengan zonas de alto riesgo o lugares difíciles para la colocación y/o reparación de la fibra óptica.

4.6.2 Análisis de las trayectorias propuestas.

Se analizan de las trayectorias para las rutas propuestas por el personal encargado del diseño de la red, así como de rutas alternas (en caso de que exista un problema en la trayectoria de la ruta principal). Esto se realiza en los croquis o planos de las áreas por donde se piensa poner la trayectoria de la red.

4.6.3 Revisión física de las trayectorias.

Se realiza un levantamiento físico de los croquis o planos de las trayectorias de todas las rutas por donde se piensa colocar la red de fibra óptica. En este punto se analiza o se evalúa algún de las rutas.

cambio de trayectoria, por algún problema que no se detecto al momento de realizar los croquis o planos

4.6.4 Reporte de la creación de una red de fibra óptica.

Se informa a la secretaría de comunicaciones y transportes de la creación de una red de fibra óptica metropolitana la cual será exclusivamente de uso particular y que no se usara para la prestación de servicio a público o para algún tipo de arrendamiento por lo cual no requiere de regulación por la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones) y tan solo con dar aviso de la creación de la red es suficiente.

4.6.5 Solicitud de los permisos de excavación.

Se hace la solicitud a las autoridades competentes ya sea del DF o del EDOMEX para la excavación y colocación de tubería en calles y avenidas así mismo se da aviso al comité de usuarios del subsuelo (CUS) que es la encargada de regular a todos los usuarios del subsuelo tales como compañías telefónicas, servicios de gas natural, tuberías de energía eléctrica, distribución de agua potable, la red alcantarillado o cualquier empresa ya sea



estatal, federal o privada que haga uso del subsuelo. Esto se hace con el fin de tener la información de las tuberías que se cruzarán o que irán de forma paralela a la tubería de la fibra óptica y así evitar dañar estas tuberías cuando se haga la zanja o se utilice el sistema de perforación direccional (que consiste en perforar a través del subsuelo sin abrir zanjas, solamente registros a determinadas distancias que es donde se introduce la perforadora que va haciendo la perforación y al mismo tiempo va colocando una serie de polímeros en las paredes de la perforación, esto va formando una especie de tubería sólida que evita que hayan derrumbes o bloqueos del ducto por residuos de material) así mismo el dar aviso al CUS ayuda para que cuando se haga alguna excavación por otra compañía está este conciente que existe una tubería que lleva fibra óptica y cual la trayectoria que ésta lleva.

Cabe hacer mención que para la excavación, colocación de tubería, colocación de alambre de acero en los postes y la misma colocación del cable de fibra óptica se contratan los servicios de compañías externas, las cuales cuentan con la infraestructura necesaria para la realización de los trabajos de la instalación de fibra óptica y personal calificado tanto para los trabajos físicos como para la realización de trámites administrativos para la solicitud de los permisos necesarios para la construcción de la red metropolitana de fibra óptica.

4.6.6 Solicitud de arrendamiento para el uso de postes.

Se solicitan también los permisos de arrendamiento a la compañía de luz y fuerza, para poder compartir sus postes en los lugares que a sí se requiera, esto se hace ya que en algunos puntos del área metropolitana es muy difícil la excavación ya sea por las condiciones del terreno o la dificultada de conseguir la autorización de excavación por parte de las autoridades. El uso de postes de la compañía de luz y fuerza se debe principalmente a que es muy difícil la obtención de permisos para la colocación de posteria nueva por parte de las autoridades competentes del DF o del estado de México, argumentando que se vería afectada la estética urbana al llenar de postes las calles y avenidas, además de que es más barato y fácil utilizar la infraestructura ya establecida que colocar nueva infraestructura.

4.6.7 Colocación de tubería.

Una vez obtenidos todos los permisos, se procede con la excavación o perforación direccional y la instalación de tubería tanto como el mensajero en los postes (cable de acero que soportará el cable de fibra óptica). Así como también con la instalación de canastilla metálica dentro de las instalaciones de la empresa, para poder conectar la tubería de la calle con el nodo dentro de la empresa.

4.6.8 Adecuación de los nodos en cada sitio.

Se comienza con la instalación de rack's en cada nodo de la red la colocación de los equipos de aire acondicionado, se hacen las acometidas para energizar los equipos, se



montan los chasis de fibra óptica, se hace el tendido de cables tanto de audio como de video esto mismo se hace en el nodo central además de realizar las interconexiones necesarias para el monitoreo y distribución de las señales que estarán viajando a través de la red.

4.6.9 Selección del equipo de fibra óptica.

Para la selección del equipo se toma en cuenta la siguiente información.

4.6.9.1 Descripción general del equipo.

El sistema DV6000 es un sistema de alta velocidad para transportar una señal óptica digital. El cual convierte una señal de entrada electrónica de diferentes fuentes; datos, audio y video de diferentes formatos, en una señal con formato digital de multiplexión por división de tiempo (TDM), para poderlo transportar en un flujo óptico digital con una velocidad de 2.4 Gb/s. En la figura 4.3 se puede ver la estructura de la trama.

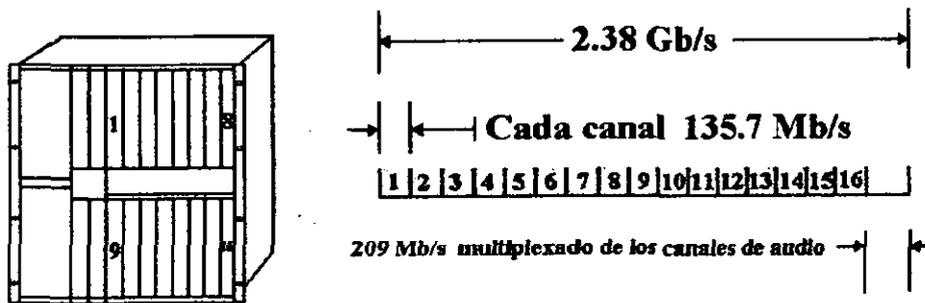


Figura 4.3 Estructura de la trama.

El sistema DV6000 consiste en un chasis para poder montar gran variedad de módulos.

La arquitectura modular del sistema DV6000 puede ser configurada para diversas aplicaciones o requerimientos, el chasis puede ser llenado con varios módulos de diferentes formatos de señales, y formar diferentes partes de un sistema o red, ya que se puede ocupar como la fuente de un sistema, un punto intermedio, o ser el receptor final.

Cada componente del sistema DV6000 es un módulo independiente estándar para instalarse en los chasis de los equipos DV6000. Los módulos que componen al sistema DV6000 son las tarjetas de interfaz, las tarjetas controladoras, tarjetas ópticas, tarjetas fuente de energía. En la figura 4.4 muestra la estructura modular del chasis DV6000.

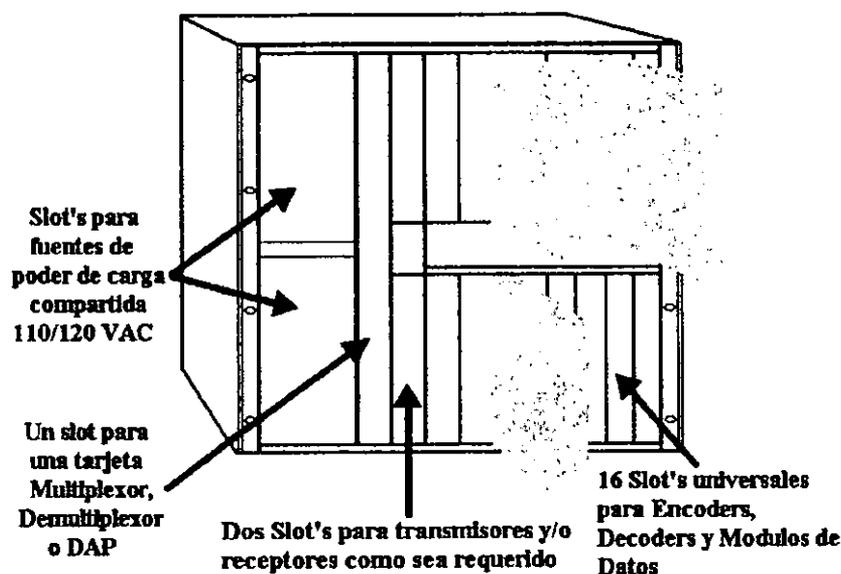


Figura 4.4 Estructura modular del chasis.

- **Tarjetas interfaz** – codificadores y decodificadores. Cada chasis tiene 16 ranuras (slots) para poder colocar tarjetas de interfaz. En estas ranuras se puede colocar cualquier tipo de tarjeta interfaz ya sea un codificador o un decodificador. Los codificadores aceptan a la entrada una señal electrónica y formato determinado para multiplexarla dentro de un flujo digital. Los decodificadores aceptan señales digitales que han sido demultiplexadas de un flujo digital, y las regresará a su formato original.
- **Tarjetas controladoras** – multiplexadores, Drop-add-pass (DAP), o demultiplexoras. El chasis tiene una ranura destinada para colocar una tarjeta controladora y puede aceptar cualquiera de los tres tipos de tarjetas controladoras. El multiplexor multiplexa la señal electrónica digital de los codificadores en una señal que controla el transmisor óptico. El demultiplexor demultiplexa la señal electrónica digital proveniente del receptor en señales individuales para cada uno de los decodificadores. La DAP combina ambas funciones de control, la de multiplexar y la de demultiplexar que hacen posible bajar una señal del flujo de señales en la red (drop), agregar una nueva señal a la red (add), y permite que las señales continúen en la red sin necesidad de equipo extra (pass).
- **Tarjetas ópticas** – receptores y transmisores. El chasis tiene dos ranuras (slots) para tarjetas ópticas las cuales pueden aceptar cualquiera de estas un receptor o un transmisor. El receptor óptico recibe una señal de entrada óptica digital desde un transmisor en la red y la convierte a una señal electrónica digital para ser demultiplexada. El transmisor óptico convierte la señal electrónica digital multiplexada a una señal de salida óptica digital.



- **Tarjetas fuentes de poder** – el chasis tiene dos ranuras (slots) para colocar las fuentes de poder que alimentan al equipo, se pueden instalar de dos formas, una de forma sencilla y otra de forma redundante.

La figura 4.5 muestra la colocación de los módulos en el sistema DV6000.

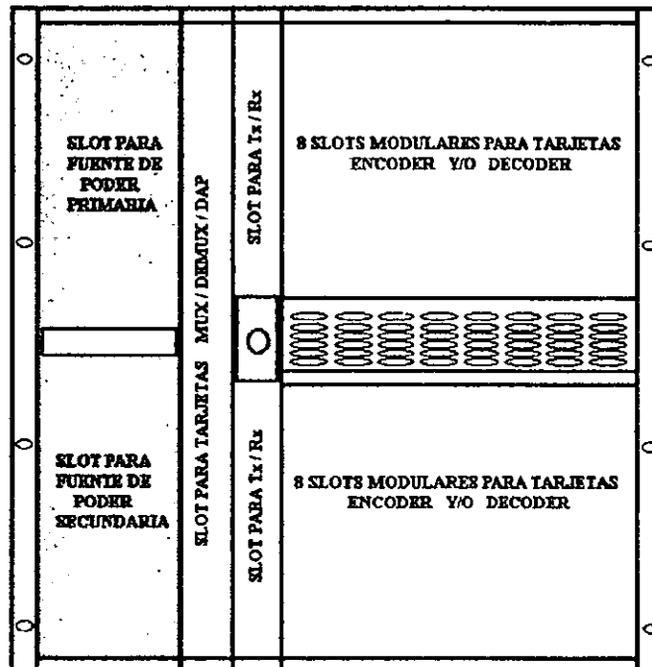


Figura 4.5 Colocación de los módulos en el DV6000

4.6.9.2 Modo de operación del sistema DV6000

El sistema de distribución DV6000, es un sistema flexible para transporte de video el cual puede aceptar diferentes señales electrónicas con diferentes formatos. El sistema DV6000 digitaliza y re formatea (codifica) las señales de entrada, combina (multiplexa) las señales dentro una sola señal electrónica digital, y la convierte en una señal óptica digital, esta señal óptica es transportada en un cable de fibra óptica al siguiente equipo DV6000, a algún otro nodo a lo largo de la red, el equipo DV6000 recibe la señal. En la figura 4.6 se muestra la flexibilidad de la arquitectura del sistema.

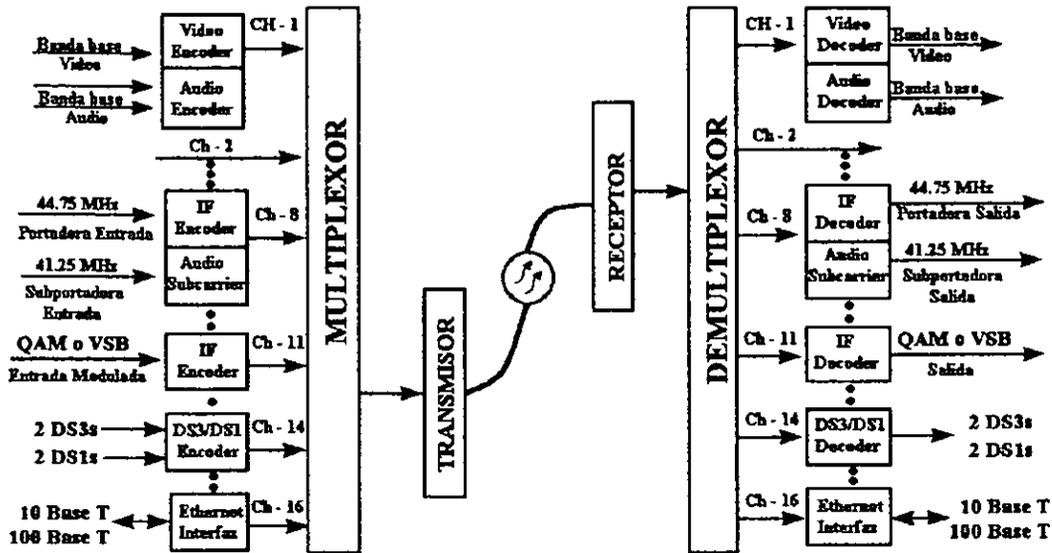


Figura 4.6 Flexibilidad de la arquitectura.

En cada nodo y los equipos pueden manipular el flujo de señal para agregar o terminar las señales individuales, modificando el flujo de las señales que componen la señal óptica que se está transmitiendo a través de la red de fibra óptica. Además algunas de las señales pueden ser separadas (demultiplexadas) del flujo de señal y convertidas a su formato original (decodificadas) para ser usadas en el nodo. En la figura 4.7 se observa las posibilidades de manipulación del flujo de señales.

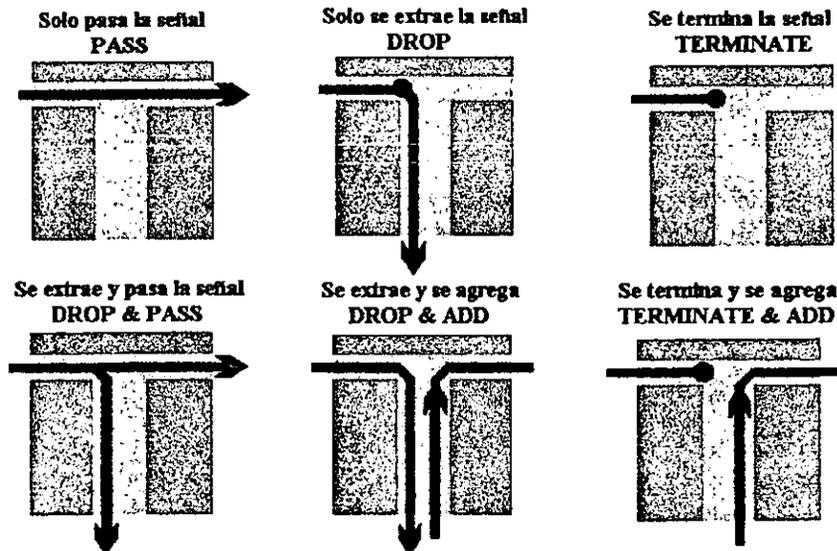


Figura 4.7 Manipulación del flujo de señales.



4.6.9.3 Descripción de los componentes del sistema.

- Chasis. El chasis tiene la medida estándar de ancho para ser montado en un rack para equipo electrónico, el chasis tiene una altura de 19.25" y una profundidad de 12". El chasis consta de 16 ranuras (slots) para colocar tarjetas codificadoras o decodificadoras, una ranura (slot) para colocar una tarjeta multiplexora, demultiplexora o drop/add/pass DAP, dos ranuras (slots) para colocar tarjetas ópticas transmisoras o receptoras, y dos ranuras (Slots) para colocar las fuentes de poder. Tanto la alimentación de energía como las terminales para conexión de las señales electrónicas se encuentran en la parte trasera del chasis. En la figura 4.8 se muestra el chasis tanto por delante como por detrás.

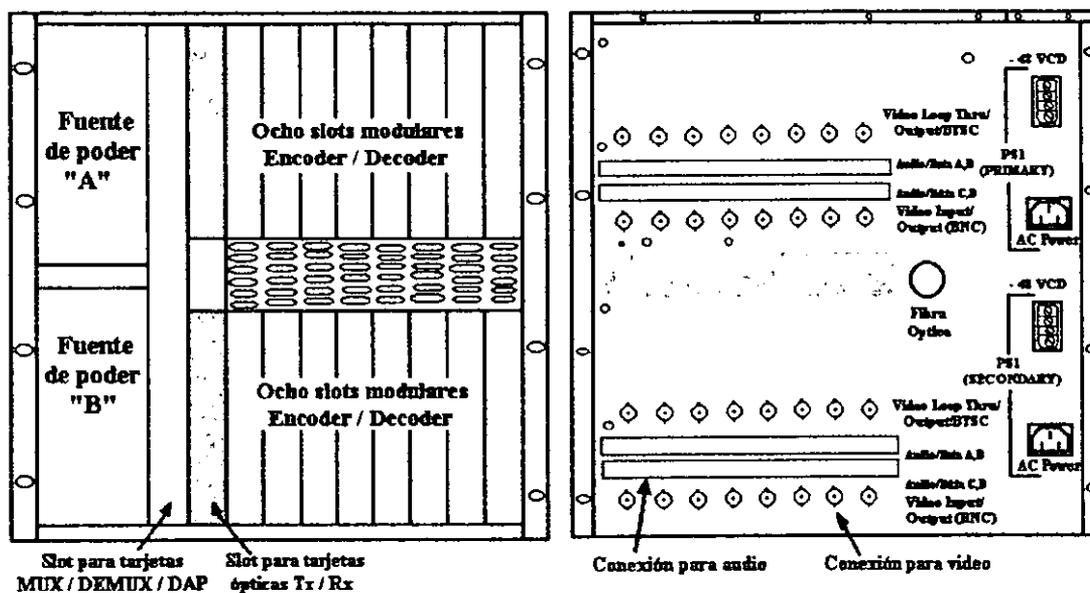


Figura 4.8 Vistas del chasis.

- Codificadores y decodificadores. Las tarjetas codificadoras y decodificadoras son los módulos que realizan la función de interfaz electrónica de las señales de video de varios formatos con el flujo digital óptico. Algunos de estos módulos se describen a continuación.
 - Codificadores y decodificadores de audio y video en banda base. Cada codificador y decodificador maneja un canal de video en banda base con o sin audio, cada tarjeta tiene incluido un ecualizador el cual puede compensar la perdida por longitud de cable y puede compensar hasta 200 pies (60 metros) de cable coaxial. La señal de audio puede ser transportada en los subcarries de la señal de video (en el formato de video compuesto, con un ancho de banda menor que 6.2 MHz). La señal de audio en banda base puede ser digitalizada individualmente y multiplexada dentro del flujo de



- video digital. Cada codificador o decodificador tiene cuatro canales de audio.
- Codificadores y decodificadores de frecuencia intermedia (IF). Son tarjetas digitales, las cuales pueden transportar una señal con normas NTSC de frecuencia intermedia de video (41 MHz – 46.6 MHz) o señal compuesta audio y video.
 - Codificadores y decodificadores digitales con formato DS3/DS1. Cada tarjeta codificadora y decodificadora conecta a dos señales para telefonía digital DS3 y dos señales para de telefonía digital DS1. Cada decodificador reconvierte cada canal de datos regresándolo a su respectivo formato DS3 o DS1. Cada señal DS3 es transportada en su formato original de 44.736 Mb/s sin reducción de ancho de banda o regeneración de la señal de reloj; de la misma forma la señal DS1 es transportada en 1.544 Mb/s. Los circuitos de las tarjetas DS3/DS1 ofrecen una transparencia completa en la conducción de la señal para los enlaces de telefonía digital, video comprimido, tráfico de redes LAN, ATM de conmutación de paquetes de datos.
 - Codificadores y decodificadores digitales con formato E3/E1. Cada tarjeta codificadora y decodificadora conecta a dos señales para telefonía digital E3 y dos señales para telefonía digital E1. Cada decodificador reconvierte cada canal de datos regresándolo a su formato original E3/E1. Cada señal E3 es transportada en su formato original de 34.368 Mb/s, sin reducción de ancho de banda o regeneración de reloj; de la misma forma la señal de E1 es transportada en 2.048 Mb/s. Los circuitos de las tarjetas E3/E1 ofrecen una transparencia completa en la conducción de la señal para los enlaces de telefonía digital, video comprimido, tráfico de redes LAN, ATM conmutación de paquetes de datos.
 - Codificadores y decodificadores digitales con formato D1. Estas tarjetas codificadoras y decodificadoras para el sistema DV6000 manejan un formato para señales de video digital serial. D1 es un formato digital serial para señal de video con una velocidad de 270 Mb/s, el codificador codifica una señal de video digital serial D1 a un formato propietario del DV6000 para multiplexarla dentro de un flujo de datos óptico, ocupando dos canales o dos ranuras (slots) del chasis DV6000. el decodificador reconvierte los dos canales de formato digital a una señal D1.

En la figura 4.9 se muestran las tarjetas codificadoras y decodificadoras.

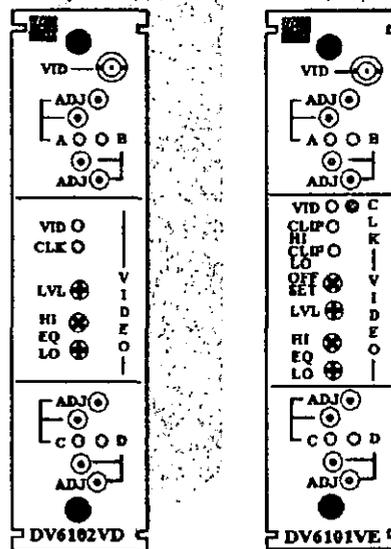


Figura 4.9 Tarjetas decoder y encoder.

- Multiplexor. Las tarjetas multiplexoras (MUX) aceptan las señales de los codificadores. El multiplexor combina todas las salidas de los codificadores mezclándolas en una sola señal digital de 2.38 Gb/s. Una señal es agregada a la señal multiplexada para asegurar que las señales de audio y video sean recuperadas en una secuencia correcta. También se le agrega un código de redundancia cíclica (CRC) para verificar la integridad de la señal digital recibida en el demultiplexor del equipo terminal. La señal multiplexada es enrutada de dos formas a un solo transmisor o a dos transmisores en la configuración de redundancia, el multiplexor es el que genera el reloj maestro del sistema, el cual se toma y regenera en cada nodo. La figura 4.10 muestra la tarjeta multiplexora.

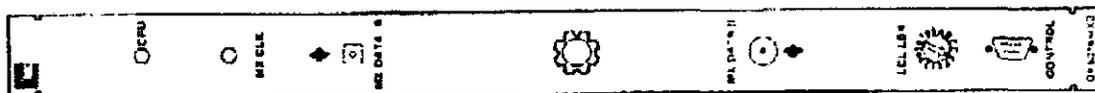


Figura 4.10 Tarjeta multiplexora.

- Demultiplexor. Las tarjetas demultiplexoras (DEMUX) reciben en su entrada una señal electrónica digital proveniente del receptor o de los receptores. El demultiplexor demultiplexa el flujo de señal y en ruta las señales de audio y video a cada decodificador. En una configuración redundante, el circuito selector A/B del demux puede seleccionar uno de los dos receptores ópticos como su fuente de señal. A menos que haya sido deshabilitada esta función, si la calidad de la trayectoria en servicio es inaceptable por pérdida de la señal óptica o por pérdida de reloj, el demux puede seleccionar la trayectoria de fibra óptica alterna siempre y cuando la



- **Receptores ópticos.** Las tarjetas receptoras reciben un flujo de señales ópticas desde un transmisor y la convierten en un flujo de señales electrónicas digitales para la tarjeta demultiplexora o DAP o a un transmisor óptico para la configuración de repetidora, separando las señales de reloj y las señales ópticas. La salida electrónica digital del receptor óptico es conectada a la tarjeta demux, DAP o un transmisor (en una repetidora) a través de un cable coaxial. Los receptores ópticos se encuentran en dos tipos uno estándar con una sensibilidad de -30 dBm y uno reducido con una sensibilidad de -25 dBm, éste es de bajo costo. La figura 4.14 muestra la tarjeta receptora.

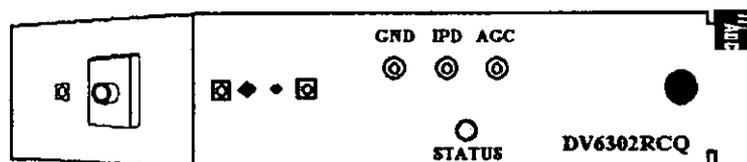


Figura 4.14 Tarjeta receptora.

- **Fuentes de poder.** Las tarjetas fuente de poder convierten la corriente de entrada al chasis a los voltajes adecuados con los que trabaja el equipo. Una sola fuente de poder es suficiente para hacer trabajar todo el chasis aún estando la carga de este en su totalidad o sea todos los lugares para tarjetas estén ocupados, se puede colocar una segunda tarjeta fuente de poder para tener un sistema redundante en la alimentación del equipo, así que si llega a fallar la fuente principal la segunda fuente entrara en operación inmediatamente sin interrumpirse en ningún momento la energía, ya que esta fuente siempre esta activa. La figura 4.15 muestra la tarjeta fuente de poder.

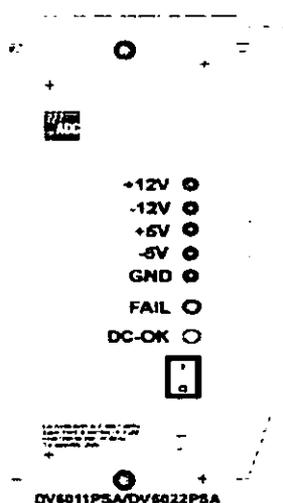


Figura 4.15 Tarjeta fuente de poder.



- Flujo de señal. Las señales entran al sistema DV6000 a través del panel posterior que se encuentra en el chasis. Las señales de video, audio y datos son pasadas a los codificadores, donde son codificadas en un formato digital propietario del DV6000. Las señales codificadas de los codificadores en el chasis pasan a el multiplexor, donde son combinadas, o multiplexadas, dentro de una sola señal digital. Esta señal digital compuesta es pasada al transmisor óptico, donde es usado para controlar el láser. La salida primaria del multiplexor es referida como la trayectoria A. El inverso de la señal digital multiplexada es producida por el multiplexor, está señal invertida es referida como la trayectoria B, que es además disponible para transmisión, proveyendo una salida redundante para protección del sistema. La salida óptica del chasis en el nodo # viaja a través de un cable fibra óptica hasta su destino en el chasis de el nodo ##, y esta señal es usada por el fotodiodo, convirtiendo la señal óptica digital en una señal electrónica digital compuesta. En el receptor el reloj es separado de la señal de datos compuesta, y el reloj y los datos son pasados al demultiplexor. En el demultiplexor la calidad de la señal entrante de datos es analizada, y si el nivel de la señal es muy bajo, o la señal no presenta una señal de reloj valida, el demultiplexor seleccionará automáticamente (a menos que haya sido deshabilitada esta función) de la trayectoria de datos primaria (A) a la trayectoria de datos secundaria (B). En los decodificadores las señales digitales individuales son regresadas a su formato con el cual entraron a los codificadores en el chasis de transmisión, una vez que la señal ha sido decodificada; esta señal se encuentra disponible en los conectores del panel que se encuentra en la parte posterior del chasis. En la figura 4.16 se muestra el flujo de señales en un sistema de anillo utilizando Mux, Demux, y DAP's.

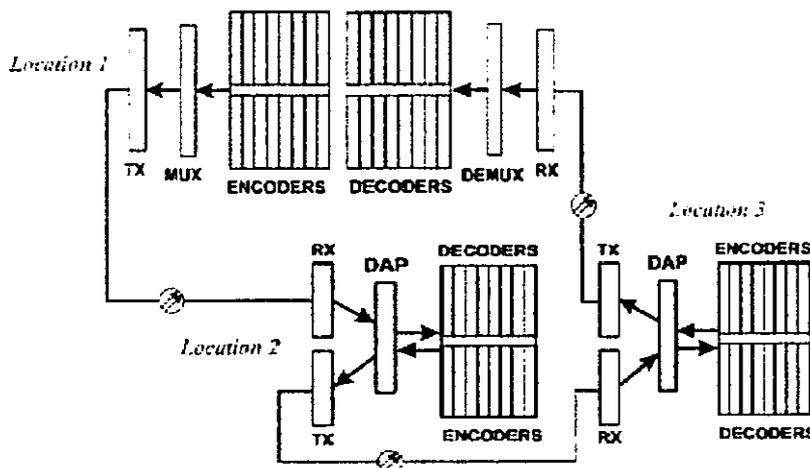


Figura 4.16 Configuración para un anillo.



En la figura 4.17 se muestra la configuración que debe tener la DAP con los transmisores y receptores para un sistema redundante, el transmisor que se encuentra del lado izquierdo y que esta conectado a la salida marcada como “MX DATA A” y que es la salida MUX principal de la tarjeta DAP es el transmisor principal mientras que el transmisor que se encuentra al lado derecho y que esta conectado a la salida marcada como “MX DATA B” es el transmisor secundario que se utilizará en caso de que exista algún problema en el transmisor principal o en la conexión de fibra óptica por la trayectoria primaria de la red. Del mismo modo se encuentran los receptores en donde el receptor primario es que se encuentra en la parte superior que se conecta en las terminales arcadas como “DX DATA A” y “DX CLK A” los cuales son respectivamente el DEMUX que decodifica la información de la señal enviada por el transmisor próximo anterior y el la señal de reloj enviada de igual forma por el MUX próximo anterior el cual es de gran importancia ya que es la señal con quien se sincroniza la red, el receptor que se encuentra en la parte inferior es el receptor secundario y que tiene las conexiones a las terminales marcadas como “DX DATA B” y CLK B”.

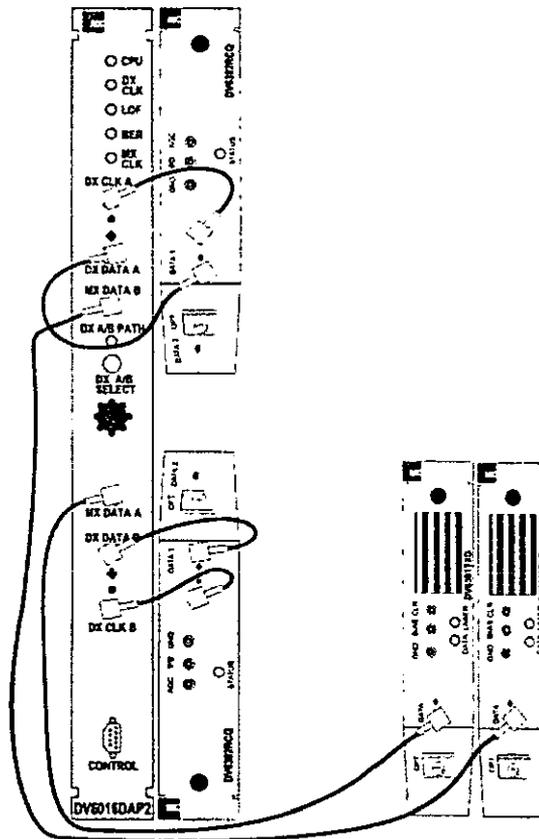


Figura 4.17 Configuración de la DAP para hacer un anillo redundante.



4.6.10 Instalación de la fibra óptica.

Una vez que se a concluido con todo lo anterior se comienza a instalar el cable de fibra óptica. Para la selección del tipo de cable de fibra óptica más conveniente a las necesidades de la red se debe tomar en cuenta lo visto en el capítulo III, además se debe seleccionar un cable con un número de hilos de fibra óptica, mayor a los que se planean utilizar en la instalación de la red esto para asegurar una posible expansión o futuros usos, sin hacer un inversión extra. El tipo de fibra seleccionado para la red metropolitana es de la marca Lucent technologies, monomodo con 24 hilos de fibra óptica.

4.6.11 Empalmes.

En esta parte de la construcción de la red de fibra óptica, se ha terminado con la instalación física del cable de fibra óptica, por lo que ahora continua la realización de empalmes y colocación de distribuidores terminales de fibra óptica en cada nodo, una vez que se hayan realizado los empalmes correspondientes se deben medir para asegurarse que se tiene un mínimo de pérdidas en cada empalme, de lo contrario se debe realizar el empalme nuevamente hasta que este cumpla con la menor pérdida posible por empalme.

Los distribuidores terminales de fibra óptica son similares a las cajas de empalme de interiores, es aquí donde se realizan los empalmes de las fibras ópticas a los pig-tails (que es un hilo de fibra óptica con revestimiento flexible para uso de interiores el cual por un lado tiene un conector y por el otro es simplemente la fibra óptica donde se realiza el empalme) estas cajas tienen un panel donde se colocan conectores de los pig-tails en orden y numerados como tira de parcheo, esto facilita el poder utilizar los hilos de fibra óptica sin tener que realizar un empalme permanente en el cable de fibra óptica y cualquiera de los equipos ópticos ya sea de medición (OTDR), para uso de transmisión de láser, para uso de recepción de láser o simplemente queda como una fibra oscura (término que se aplica a las fibras que no tienen uso).

Las mediciones en los empalmes se deben realizar en forma bidireccional y obtener un promedio de estas mediciones ya que de otra forma se pueden obtener datos que no concuerden con la pérdida real en el empalme, esto se debe principalmente a que puede haber una diferencia entre los núcleos de las fibras ópticas dando como resultado que de un lado tal vez se lea un empalme con poca pérdida ya que su ángulo de aceptación es mayor pero si se mide el mismo empalme del otro lado este va a tener una pérdida considerable ya que su ángulo de aceptación es menor. Para la medición de los empalmes realizados en los distribuidores terminales de fibra óptica se debe utilizar una bobina de lanzamiento que no es otra cosa más que un carrete de fibra óptica con una longitud suficientemente grande que permite que el empalme o conector quede a una distancia considerable de la entrada del equipo medidor OTDR (por sus siglas en ingles Optical Time Domine Reflectometer), ya que si se desea medir estos empalmes no se detectarían ya que se encuentran a distancias muy cercanas a las de los conectores donde se coloca el OTDR esto principalmente a que la potencia del láser es tan grande que en distancias cortas no detectaría una pérdida real en el empalme y no nos daría la medida de este por crítica que esta sea.



4.7 Distribución de las señales dentro de los anillos.

En la tabla 4.4 se muestra el número de señales que se desean transportar a través de la red de fibra óptica así como también la distribución de estas señales a cada nodo de la red.

La nomenclatura utilizada para identificar las señales dentro de la tabla de distribución de señales es la siguiente:

Las letras mayúsculas significan que su origen es el nodo central el número que antecede a estas letras indican el número de señal después de la diagonal se identifica el número del nodo al cual va dirigida esa señal por ejemplo:

1NC/N#1 Significa que es la señal número uno que se origina en el nodo central y su destino es el nodo número uno.

Las letras minúsculas significan que su origen es algún nodo de la red y su destino es el nodo central e igual el primer número indica el número de señal y después el número de nodo del cual se origina después del guión va el número de señal que va al nodo central. Por ejemplo:

1n#1/INC Significa que es la señal número uno que se origina en el nodo número uno y su destino es el nodo central.

Anillo # 1												
	Nodo Central			Nodo # 1			Nodo # 2			Nodo # 3		
	Rx	Mux	Tx	Rx	DAP	Tx	Rx	DAP	Tx	Rx	DAP	Tx
	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida
Slot 01		Add	1NC/N#1	1NC/N#1	Drop/Add	1n#1/INC	1n#1/INC	Pass	1n#1/INC	1n#1/INC	Pass	1n#1/INC
Slot 02					Add	3n#1/INC	3n#1/INC	Pass	3n#1/INC	3n#1/INC	Pass	3n#1/INC
Slot 03		Add	1NC/N#2	1NC/N#2	Pass	1NC/N#2	1NC/N#2	Drop/Add	1n#2/INC	1n#2/INC	Pass	1n#2/INC
Slot 04		Add	3NC/N#2	3NC/N#2	Pass	3NC/N#2	3NC/N#2	Drop/Add	3n#2/INC	3n#2/INC	Pass	3n#2/INC
Slot 05								Add	5n#2/INC	5n#2/INC	Pass	5n#2/INC
Slot 06								Add	7n#2/INC	7n#2/INC	Pass	7n#2/INC
Slot 07		Add	1NC/N#3	1NC/N#3	Pass	1NC/N#3	1NC/N#3	Pass	1NC/N#3	1NC/N#3	Drop/Add	1n#3/INC
Slot 08		Add	3NC/N#3	3NC/N#3	Pass	3NC/N#3	3NC/N#3	Pass	3NC/N#3	3NC/N#3	Drop/Add	3n#3/INC
Slot 09		Add	5NC/N#3	5NC/N#3	Pass	5NC/N#3	5NC/N#3	Pass	5NC/N#3	5NC/N#3	Drop/Add	5n#3/INC
Slot 10		Add	7NC/N#3	7NC/N#3	Pass	7NC/N#3	7NC/N#3	Pass	7NC/N#3	7NC/N#3	Add	7n#3/INC
Slot 11		Add	1NC/N#4	1NC/N#4	Pass	1NC/N#4	1NC/N#4	Pass	1NC/N#4	1NC/N#4	Pass	1NC/N#4
Slot 12		Add	3NC/N#4	3NC/N#4	Pass	3NC/N#4	3NC/N#4	Pass	3NC/N#4	3NC/N#4	Pass	3NC/N#4
Slot 13		Add	1NC/N#5	1NC/N#5	Pass	1NC/N#5	1NC/N#5	Pass	1NC/N#5	1NC/N#5	Pass	1NC/N#5
Slot 14		Add	3NC/N#5	3NC/N#5	Pass	3NC/N#5	3NC/N#5	Pass	3NC/N#5	3NC/N#5	Pass	3NC/N#5
Slot 15		Add	5NC/N#5	5NC/N#5	Pass	5NC/N#5	5NC/N#5	Pass	5NC/N#5	5NC/N#5	Pass	5NC/N#5
Slot 16		Add	7NC/N#5	7NC/N#5	Pass	7NC/N#5	7NC/N#5	Pass	7NC/N#5	7NC/N#5	Pass	7NC/N#5



Anillo # 1									
	Nodo # 4			Nodo # 5			Nodo Central		
	Rx	DAP	Tx	Rx	DAP	Tx	Rx	Demux	
	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida
Slot 01	1n#1/NC	Pass	1n#1/NC	1n#1/NC	Pass	1n#1/NC	1n#1/NC	Drop	
Slot 02	3n#1/NC	Pass	3n#1/NC	3n#1/NC	Pass	3n#1/NC	3n#1/NC	Drop	
Slot 03	1n#2/NC	Pass	1n#2/NC	1n#2/NC	Pass	1n#2/NC	1n#2/NC	Drop	
Slot 04	3n#2/NC	Pass	3n#2/NC	3n#2/NC	Pass	3n#2/NC	3n#2/NC	Drop	
Slot 05	5n#2/NC	Pass	5n#2/NC	5n#2/NC	Pass	5n#2/NC	5n#2/NC	Drop	
Slot 06	7n#2/NC	Pass	7n#2/NC	7n#2/NC	Pass	7n#2/NC	7n#2/NC	Drop	
Slot 07	1n#3/NC	Pass	1n#3/NC	1n#3/NC	Pass	1n#3/NC	1n#3/NC	Drop	
Slot 08	3n#3/NC	Pass	3n#3/NC	3n#3/NC	Pass	3n#3/NC	3n#3/NC	Drop	
Slot 09	5n#3/NC	Pass	5n#3/NC	5n#3/NC	Pass	5n#3/NC	5n#3/NC	Drop	
Slot 10	7n#3/NC	Pass	7n#3/NC	7n#3/NC	Pass	7n#3/NC	7n#3/NC	Drop	
Slot 11	1NC/N#4	Add	1n#4/NC	1n#4/NC	Pass	1n#4/NC	1n#4/NC	Drop	
Slot 12	3NC/N#4	Add	3n#4/NC	3n#4/NC	Pass	3n#4/NC	3n#4/NC	Drop	
Slot 13	1NC/N#5	Pass	1NC/N#5	1NC/N#5	Drop/Add	1n#5/NC	1n#5/NC	Drop	
Slot 14	3NC/N#5	Pass	3NC/N#5	3NC/N#5	Drop/Add	3n#5/NC	3n#5/NC	Drop	
Slot 15	5NC/N#5	Pass	5NC/N#5	5NC/N#5	Drop				
Slot 16	7NC/N#5	Pass	7NC/N#5	7NC/N#5	Drop				

Anillo # 2												
	Nodo Central			Nodo # 1			Nodo # 2			Nodo # 3		
	Rx	Mux	Tx	Rx	DAP	Tx	Rx	DAP	Tx	Rx	DAP	Tx
	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida
Slot 01		Add	2NC/N#1	2NC/N#1	Drop/Add	2n#1/NC	2n#1/NC	Pass	2n#1/NC	2n#1/NC	Pass	2n#1/NC
Slot 02					Add	4n#1/NC	4n#1/NC	Pass	4n#1/NC	4n#1/NC	Pass	4n#1/NC
Slot 03		Add	2NC/N#2	2NC/N#2	Pass	2NC/N#2	2NC/N#2	Drop/Add	2n#2/NC	2n#2/NC	Pass	2n#2/NC
Slot 04		Add	4NC/N#2	4NC/N#2	Pass	4NC/N#2	4NC/N#2	Drop/Add	4n#2/NC	4n#2/NC	Pass	4n#2/NC
Slot 05								Add	6n#2/NC	6n#2/NC	Pass	6n#2/NC
Slot 06		Add	2NC/N#3	2NC/N#3	Pass	2NC/N#3	2NC/N#3	Pass	2NC/N#3	2NC/N#3	Drop/Add	2n#3/NC
Slot 07		Add	4NC/N#3	4NC/N#3	Pass	4NC/N#3	4NC/N#3	Pass	4NC/N#3	4NC/N#3	Drop/Add	4n#3/NC
Slot 08		Add	6NC/N#3	6NC/N#3	Pass	6NC/N#3	6NC/N#3	Pass	6NC/N#3	6NC/N#3	Add	6n#3/NC
Slot 09		Add	2NC/N#4	2NC/N#4	Pass	2NC/N#4	2NC/N#4	Pass	2NC/N#4	2NC/N#4	Pass	2NC/N#4
Slot 10												
Slot 11		Add	2NC/N#5	2NC/N#5	Pass	2NC/N#5	2NC/N#5	Pass	2NC/N#5	2NC/N#5	Pass	2NC/N#5
Slot 12		Add	4NC/N#5	4NC/N#5	Pass	4NC/N#5	4NC/N#5	Pass	4NC/N#5	4NC/N#5	Pass	4NC/N#5
Slot 13		Add	6NC/N#5	6NC/N#5	Pass	6NC/N#5	6NC/N#5	Pass	6NC/N#5	6NC/N#5	Pass	6NC/N#5
Slot 14		Add	8NC/N#5	8NC/N#5	Pass	8NC/N#5	8NC/N#5	Pass	8NC/N#5	8NC/N#5	Pass	8NC/N#5
Slot 15												
Slot 16												



Anillo # 2									
	Nodo # 4			Nodo # 5			Nodo Central		
	Rx	DAP	Tx	Rx	DAP	Tx	Rx	Demux	
	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida	Entrada	Proceso	Salida
Slot 01	2n#1/NC	Pass	2n#1/NC	2n#1/NC	Pass	2n#1/NC	2n#1/NC	Drop	
Slot 02	4n#1/NC	Pass	4n#1/NC	4n#1/NC	Pass	4n#1/NC	4n#1/NC	Drop	
Slot 03	2n#2/NC	Pass	2n#2/NC	2n#2/NC	Pass	2n#2/NC	2n#2/NC	Drop	
Slot 04	4n#2/NC	Pass	4n#2/NC	4n#2/NC	Pass	4n#2/NC	4n#2/NC	Drop	
Slot 05	6n#2/NC	Pass	6n#2/NC	6n#2/NC	Pass	6n#2/NC	6n#2/NC	Drop	
Slot 06	2n#3/NC	Pass	2n#3/NC	2n#3/NC	Pass	2n#3/NC	2n#3/NC	Drop	
Slot 07	4n#3/NC	Pass	4n#3/NC	4n#3/NC	Pass	4n#3/NC	4n#3/NC	Drop	
Slot 08	6n#3/NC	Pass	6n#3/NC	6n#3/NC	Pass	6n#3/NC	6n#3/NC	Drop	
Slot 09	2NC/N#4	Add	2n#4/NC	2n#4/NC	Pass	2n#4/NC	2n#4/NC	Drop	
Slot 10		Add	4n#4/NC	4n#4/NC	Pass	4n#4/NC	4n#4/NC	Drop	
Slot 11	2NC/N#5	Pass	2NC/N#5	2NC/N#5	Drop/Add	2n#5/NC	2n#5/NC	Drop	
Slot 12	4NC/N#5	Pass	4NC/N#5	4NC/N#5	Drop/Add	4n#5/NC	4n#5/NC	Drop	
Slot 13	6NC/N#5	Pass	6NC/N#5	6NC/N#5	Drop				
Slot 14	8NC/N#5	Pass	8NC/N#5	8NC/N#5	Drop				
Slot 15									
Slot 16									

Tabla 4.4 Distribucion de las señales a través de la red.

4.8 Características generales de las señales de audio y video.

Para proporcionar la sincronización de las señales de video de cada equipo, es necesario el contar con un sincronizador de pulsos, además, es necesario el emplear generadores de señales de prueba, que son necesarios para ajustar las tarjetas codificadoras y decodificadoras en los diferentes nodos dentro de la red.

Las impedancias de entrada de los equipos están referidas, para el video a 75 ohms, la de audio está referida a 600 ohms balanceada, por lo tanto siempre se debe acoplar a éste valor. La interconexión de los equipos es para el video con conectores BNC, y en el caso del audio es con conectores XLR-3, a menos que se indique lo contrario, en cuyo caso se adecuaran por medio de adaptadores.

Las señales de video deben tener un nivel de entrada de 1 Vpp. Y la salida debe tener el mismo valor, en las señales de audio la entrada máxima es de +28 dBm a una impedancia de 600 ohms balanceados y la salida debe tener el mismo valor.

En ocasiones se presentan casos en los cuales las señales de video no están a tiempo, es decir, la señal de video se encuentra fuera de sincronía con respecto a la señal de referencia. Para corregir esta falla se utiliza un sincronizador, el cual tiene el objetivo de atrasar la señal de entrada lo necesario para alinear los componentes Vertical y Horizontal de una señal de video. Otra de las funciones de este equipo, es la de procesar la señal de video para



poder cumplir con las normas NTSC, esto es poder manejar los componentes de una señal de video, regenerar los pulsos de sincronía, blanking y burst; además, suministra ecualización del cable, reduce el hum, y limita la señal de video, controla la ganancia y el croma, ajusta el pedestal (set up).

Se cuenta con distribuidores amplificadores de video (VDA's), y que tienen una entrada diferencial y en la charola la opción a loop o terminación directa a una carga de 75 ohms, la característica diferencial del amplificador en la entrada tiene la ventaja de eliminar señales electromagnéticas indeseables como el "hum".

El nivel de entrada debe ser 1 Vpp para producir seis salidas con baja distorsión, y nivel de salida compensable a 1Vpp. El distribuidor de video debe ser capaz de ecualizar hasta 300m (1000ft) de cable Belden 8281, utilizando conectores BNC de 75 ohms.

En el caso de Audio, se cuenta con distribuidores amplificadores (ADA's), las características básicas de este equipo son entre otras, que la entrada es diferencial balanceada para eliminar posibles ruidos inherentes en la señal de audio, se cuenta también con seis salidas balanceadas con baja distorsión y ruido. La impedancia de entrada (resistiva) alrededor de 45 Kohms. Su respuesta en frecuencia es de +/- 0.5 dB en el rango de 20 Hz a 20 KHz, con un nivel de entrada de -10 a +24 dB.

El ajuste de la ganancia puede ser seleccionado de acuerdo a las necesidades requeridas, se tiene el rango de -12 a +30 dB en pasos seleccionables por medio de un puente (jumper), y son de 6 dB's cada uno, la posibilidad de variar la ganancia de +/-3 dB en cualquiera de los ocho pasos de selección. La aplicación básica de este equipo, consiste en poder obtener de una sola entrada, seis salidas balanceadas idénticas con el objeto de poder distribuir las a distintos destinos.

El uso de los VDA's y ADA's sirve también para poder monitorear la señal que se tiene sin interrumpir la señal ya que se toma una de las salidas que son idénticas.

Con fines de enfasamiento y chequeo de la señal, se cuenta con dos instrumentos, como son el monitor forma de onda y el vectoroscopio. El primero sirve para medir los niveles de la señal en cuanto a sus componentes básicas, como son la ganancia, el nivel de croma, el tamaño y la frecuencia del burst, el nivel del pulso de sincronía horizontal y los pulsos de sincronía vertical. El vectoroscopio, es utilizado para llevar un control gráfico de la fase que tiene la señal, con base a los vectores de los colores primarios.

4.9 Diseño del Nodo central.

Una de las partes más importantes dentro del diseño de la red es el nodo central, ya que como se ha comentado, es el punto donde se van a recibir todas las señales que se generen en los demás nodos de la red, así mismo, es donde se van a reenviar o generar las señales que se entregarán a los nodos que así lo requieran. En el diseño del nodo central, se debe tener en cuenta que el área debe contemplar un espacio para montar los equipos de fibra óptica, los equipos de distribución o conversión de señales así como también cualquier otro equipo que fuera necesario, esta área debe de estar totalmente aislada ya que debe estar bajo clima controlado de 16 °C sin humedad, esta área debe estar visible porque los equipos de fibra óptica cuentan con led's indicadores en la parte frontal de las tarjetas para las alarmas.



En la figura 4.18 se muestra la distribución de nodo central con el área destinada para la colocación de equipos electrónicos.



Figura 4.18 Vista del nodo central.

Para el diseño del nodo central se hace un diagrama de flujo de señales, en donde se incluye, la señal desde el equipo de fibra óptica hasta que se entrega al centro de control y distribución de señales, que se encuentra en un edificio distinto a donde se encuentra el nodo central pero, dentro del mismo conjunto de edificios y teniendo la responsabilidad de coordinar todas las señales que se reciben o generan dentro de la estación televisora, ya que es aquí donde se reciben las señales satelitales, las señales de microondas, las señales de fibra óptica, señales generadas en los estudios o en las máquinas de edición de video tape. Para el diseño de la red es muy importante tener varias líneas dedicadas con este centro ya que es el que va a recibir las señales que se generan en cualquiera de los nodos de la red metropolitana de fibra óptica, del mismo modo también va a suministrar la señal que sea requerida en cualquiera de los nodos.

En el centro de control y distribución solo se manejan señales digitales, por lo que en la estación televisora solo se manejarán señales digitales, aunque en la fuente de la señal sea analógica, para lo que, se tendrán que hacer conversiones de analógico a digital y viceversa, todo esto en el lugar donde se genera la señal. El motivo de tener un sistema de control de señales totalmente digital es que al corto plazo los equipos serán en su totalidad digitales, por lo que ya no se tendrá que hacer un gasto mayor haciendo la conversión de todos los equipos de la estación, sino simplemente los equipos que no lo son ahora, los cuales se sustituirán por los nuevos equipos.

El motivo del por que se manejan señales analógicas en los nodos es de que para poder tener la compatibilidad con todas las señales que se puedan generar en cualquier nodo sin utilizar convertidores analógico a digital y viceversa, además de que el usar tarjetas codificadoras y decodificadoras para señales digitales en el sistema de fibra óptica,



implicaría utilizar el doble de los chasis ya que cada tarjeta para señal digital ocupa el doble de espacio (time slot) que a su vez implicaría utilizar más hilos de fibra óptica, reduciendo la capacidad de crecimiento.

Uno de los puntos más importantes en el diseño del nodo central es la distribución interna de las señales, para lo que se hace un diseño a bloques del flujo señales. Cabe mencionar que el diseño del flujo de señales en los demás nodos corresponde a cada centro de producción del área, por lo cual no se cuenta con un diagrama para cada nodo simplemente se especifica que línea es de entrada y cual línea es de salida.

A continuación se representa el flujo de una señal de video como para una de audio, ya que se hacen los diagramas por separado ya que la señal tiene un tratamiento diferente en algunos puntos, se debe tener en cuenta estos diagramas en la instalación y conexión de los equipos ya que como se manejan por separado el audio y el video, se debe tener la precaución en que la conexión de audio y video coincidan para no tener una imagen con un audio diferente.

Para el diseño del nodo central se considera colocar una mascarilla de monitoreo donde se podrá observar todas las señales de audio y video que se generen en los diferentes nodos de la red, para las señales de video se utilizarán monitores de 14" pulgadas, y para el audio se utilizarán monitores gráficos de nivel de audio. En la mascarilla sólo se observarán las señales generadas en los nodos externos y que son entregadas al nodo central, ya que tanto para monitorear las señales que entrega el nodo central, o para poder verificar que los niveles de video y audio están en normas, se utilizarán los medidores de señal de video y color así como los medidores de audio que se encuentran en las mesas de trabajo. Siempre que se recibe una señal de cualquier nodo, se debe verificar que se encuentre en normas, ya que se verifico que esta en normas está se entrega al centro de control y distribución, y solo se mantiene un monitoreo de presencia de señal de audio y video en la mascarilla. En la figura 4.19 se muestra la mascarilla.

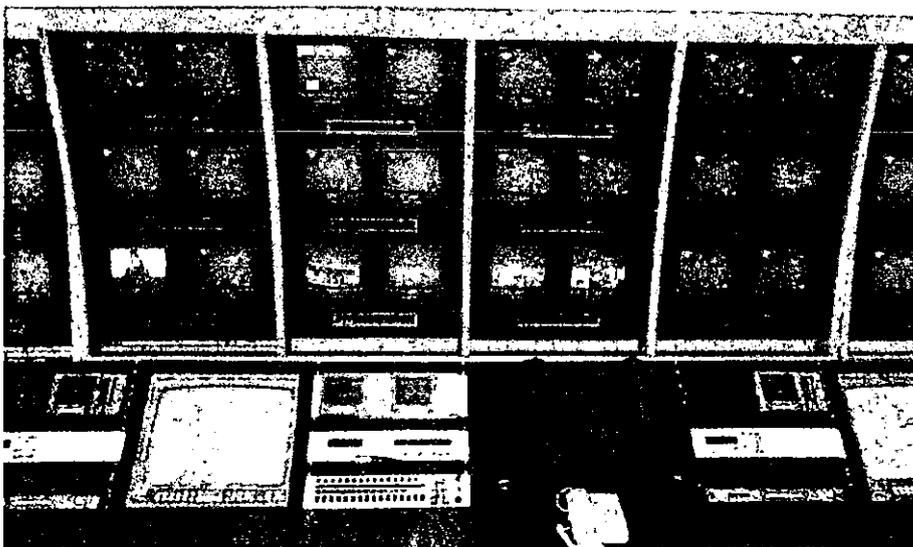


Figura 4.19 Mascarilla de monitoreo.



Para la medición de las señales de video y audio se tienen dos mesas de trabajo en las cuales se encuentra en cada una los siguientes equipos, un monitor forma de onda que tiene la función de medir la señal de video y todas las componentes de ésta, un vectorscopio que evalúa la calidad del color así como que todos las componentes del color estén en fase, un monitor de video con calidad broadcast que tiene la característica que presenta la señal de video completa sin recortar líneas, sin ningún tipo de corrección en los niveles de video y croma. Un monitor de audio en donde se evalúa el nivel de audio y que se encuentren en fase tanto el canal izquierdo y el derecho, así como un amplificador y un par de bocinas en los cuales se pueda escuchar lo que se esta midiendo. También se cuenta con botoneras de control de routing switcher para la selección de las señales que se desean monitorear o medir en las mesas de trabajo así como para los enrutamientos de las señales que se mandan a los distintos nodos, un equipo de intercomunicación para tener comunicación interna con el centro de control y distribución de señales o algún otro punto dentro del área donde se encuentra el nodo central, un teléfono para comunicación con las centrales de control y distribución de cada nodo a los que se les entregan las señales, esto en caso de que se tenga alguna diferencia de criterios en cuanto a las señales que se entregan o reciben. En la figura 4.20 se muestra la distribución de los equipos en las mesas de trabajo.

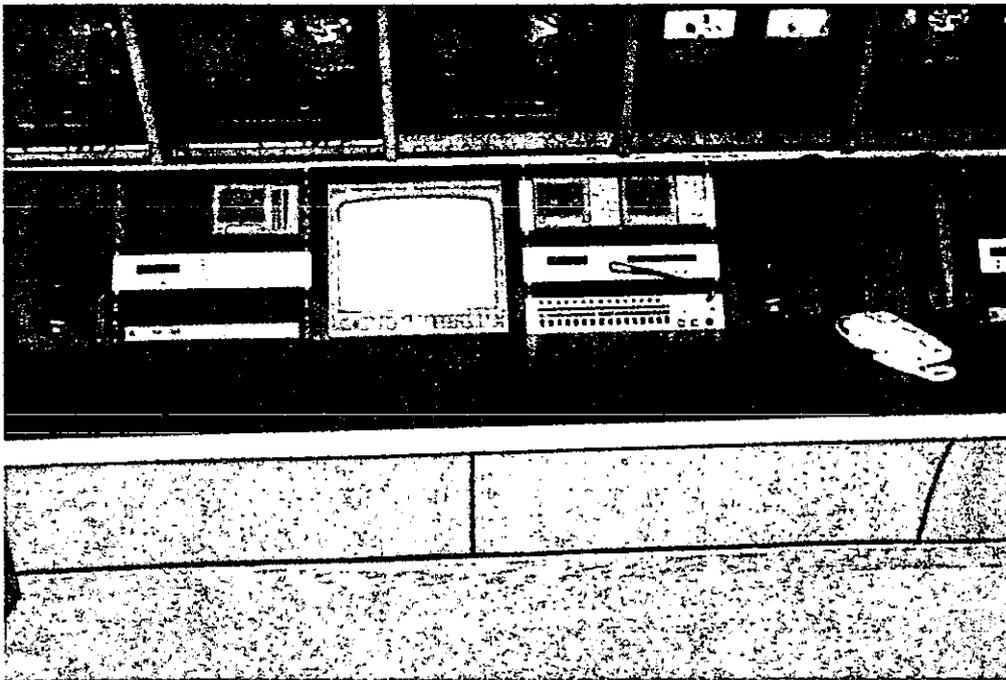


Figura 4.20 Distribución de los equipos en las mesas de trabajo.



4.10 Flujo de la señal de audio.

El flujo de señal de audio principia en las salidas de los equipos receptores de fibra óptica de donde se conecta a tira de parcheo, la siguiente conexión es la entrada del distribuidor de audio el cual permite tener varias salidas auxiliares con exactamente la misma señal de entrada, esto permite poder monitorear la señal de audio sin interrumpir la señal que se este utilizando, una de las salidas del distribuidor se conecta a una tira de parcheo, posteriormente a la entrada del convertidor analógico a digital, otra de las salidas del distribuidor se utiliza para el monitor gráfico de audio de la mascarilla de monitoreo, una más es utilizada para conectarla a una tira de parcheo, esta señal es la que se ocupara cuando se quiera monitorear la señal de audio sin interferir la señal que se esta ocupando. Una vez que se ha efectuado la conversión de analógico a digital, la señal digital de audio se conecta a una tira de parcheo que a su vez se conecta a una de las entradas del routing switcher. En donde ocupan las entradas de del 0 al 31 las entradas del 32 al 37 se ocupan con señales generadas desde los controles maestros de cada canal, las salidas del 38 al 61 son líneas dedicadas con señales variables desde el centro de control y distribución de señales, la entrada 63 se alimenta con un generador de tonos los cuales se utilizan para tener una referencia con normas NTSC y poder ajustar los equipos.

Las salidas del 0 al 31 se conecta a una tira de parcheo y esta se conecta a la entrada de un convertidor digital a analógico, la salida de este convertidor se conecta a una tira de parcheo la cual se conecta a los equipos transmisores de fibra óptica, las salidas de routing switcher del 32 al 61 se conectan a la centro de control y distribución de señales, las salidas 62 y 63 se destinan a las mesas de trabajo donde se puede tener el monitoreo de todas las señales que entran a al routing switcher ya sea las señales que se están entregando a los distintos nodos o las señales que entrega la centro de control y distribución de señales.

En la figura 4.21 se muestra el diagrama a bloques del flujo para la señal de audio dentro del nodo central.

Diseño de una red redundante de fibra óptica para la comunicación de audio y video con calidad broadcast

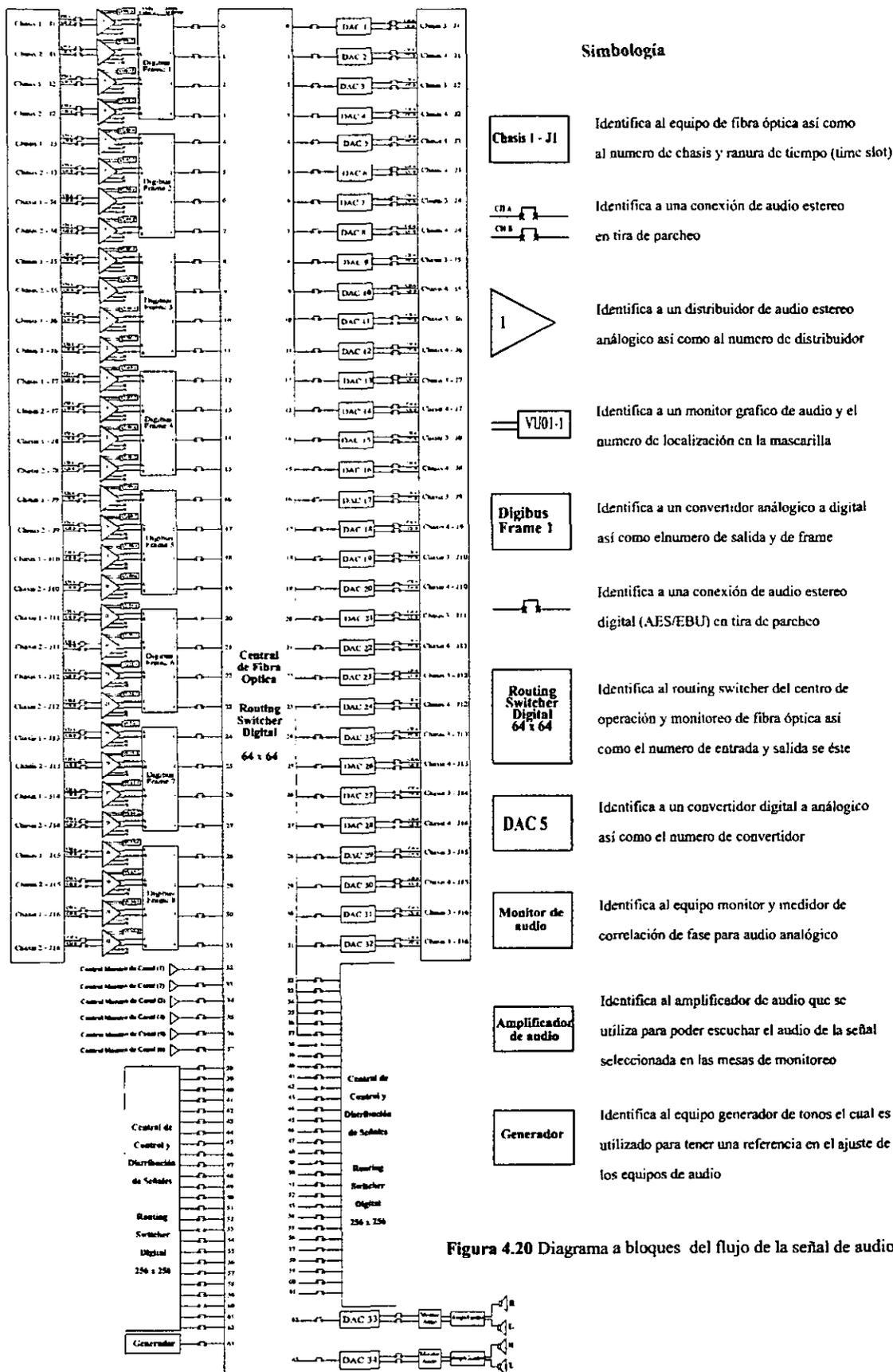


Figura 4.20 Diagrama a bloques del flujo de la señal de audio.

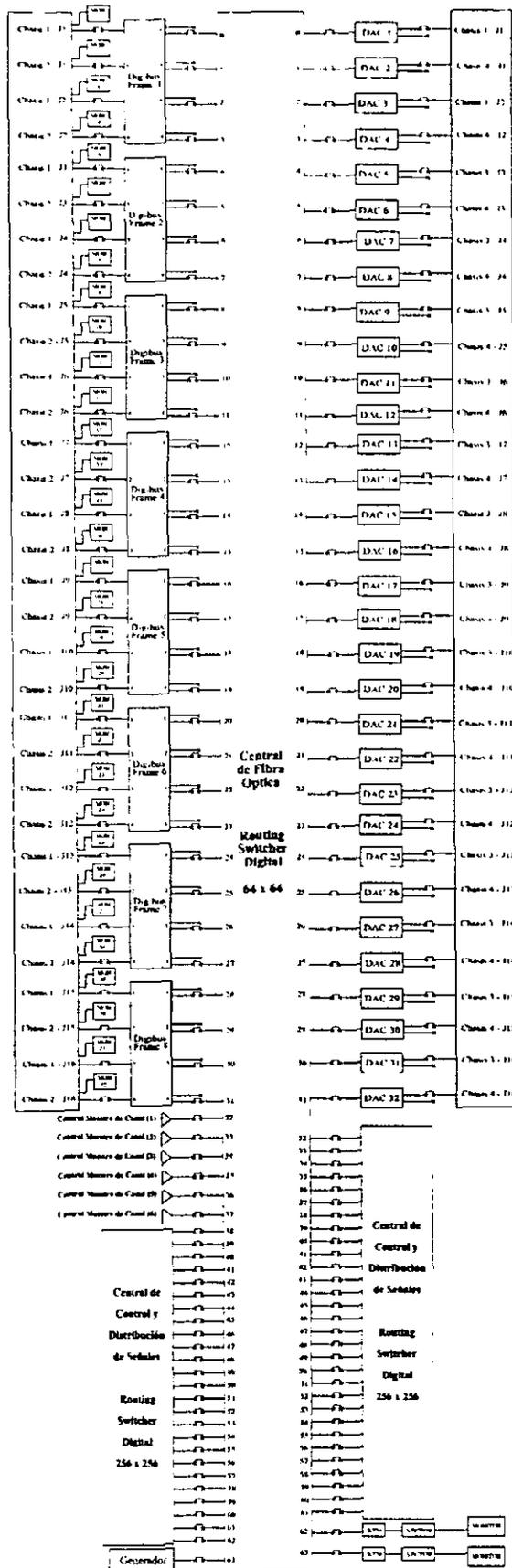


4.11 Flujo de la señal de video.

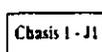
El flujo de señal de video principia en las salidas de los equipos receptores de fibra óptica; el equipo receptor de fibra óptica permite tener una salida auxiliar con exactamente la misma señal de entrada esta se utiliza para monitorear la señal de video en la mascarilla de monitoreo sin interrumpir la señal que se este utilizando, la salida principal se conecta a tira de parcheo la siguiente conexión es a la entrada del convertidor analógico a digital. Una vez que se ha efectuado la conversión de analógico a digital, en el convertidor analógico a digital se tienen varias salidas auxiliares una es utilizada para conectarla a una tira de parcheo esta señal es la que se ocupara cuando se quiera monitorear la señal de video sin interferir la señal que se esta ocupando. La salida principal del convertidor analógico a digital de video se conecta a una tira de parcheo que a su vez se conecta a una de las entradas del routing switcher. Las cuales ocupan las entradas de del 0 al 31 las entradas del 32 al 37 se ocupan con señales generadas desde los controles maestros de cada canal, las salidas del 38 al 61 son líneas dedicadas con señales variables desde el centro de control y distribución de señales, la entrada 63 se alimenta con un generador de patrones de video con normas NTSC los cuales se utilizan para tener una referencia y poder ajustar los equipos.

Las salidas del 0 al 31 se conecta a una tira de parcheo y esta se conecta a la entrada de un convertidor digital a analógico la salida de este convertidor se conecta a una tira de parcheo la cual se conecta a los equipos transmisores de fibra óptica, las salidas de routing switcher del 32 al 61 se conectan a la centro de control y distribución de señales las salidas 62 y 63 se destinan a las mesas de trabajo donde se puede tener el monitoreo de todas las señales que entran a al routing switcher ya sea las señales que se están entregando a los distintos nodos o las señales que entrega la centro de control y distribución de señales.

En la figura 4.22 se muestra el diagrama a bloques del flujo para la señal de video dentro del nodo central.



Simbología

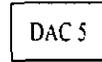
- 

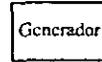
Identifica al equipo de fibra óptica así como al numero de chasis y ranura de tiempo (time slot)
- 

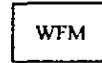
Identifica a una conexión de video analógico o digital en tira de parcheo
- 

Identifica a un monitor de video y el numero de localización en la mascarilla
- 

Identifica a un convertidor analógico a digital así como el numero de salida y de frame
- 

Identifica al routing switcher del centro de operación y monitoreo de fibra óptica así como el numero de entrada y salida se éste
- 

Identifica a un convertidor digital a analógico así como el numero de convertidor
- 

Identifica al equipo generador patrones con normas NTSC el cual es utilizado para tener una referencia en el ajuste de los equipos
- 

Identifica al equipo de medición de la señal de video
- 

Identifica al equipo de medición de la fase de color en el video

Figura 4.21 Diagrama a bloques del flujo de la señal de video.



4.12 Equipo de la red.

Como ya se ha explicado el flujo de la señal de audio y la de video difieren un poco, en la señal de video se comienza desde los equipos receptores de fibra óptica esta señal se conecta a una tira de parcheo que a su vez se conecta a la entrada del convertidor analógico a digital, una salida de video auxiliar que entrega el equipo de fibra óptica se conecta a los monitores de video de la mascarilla de monitoreo, una vez que se convertido la señal analógica en digital se conecta la salida del convertidor a una tira de parcheo la cual a su vez se conecta a la entrada del routing switcher de la central de fibra óptica, una salida auxiliar que entrega el convertidor ADC se conecta a una tira de parcheo esta se utilizará en caso de que se tenga que checar la señal de video sin afectar la señal que se este ocupando, las salidas del routing switcher se conectan a los equipos de fibra óptica, a las líneas dedicadas con la central de monitoreo y distribución de señales o a las mesas de trabajo según sea el caso del número de salida.

La función de las tiras de parcheo es el poder tener acceso al flujo de la señal sin necesidad de desconectar en ningún punto de la trayectoria de la señal, además de que permite poder sustituir la señal original por alguna otra esto conectando en la tira de parcheo la señal nueva, la señal que normalmente tiene una trayectoria cambiarla.

Una vez que sea diseñado el nodo central se realiza la lista del equipo necesario para poder implementar la red se tiene la lista en donde se debe tomar en cuenta la solicitud de materiales adicionales como equipo de limpieza de fibra óptica, el espacio que se planea ocupar tanto con oficinas, taller de mantenimiento, área de monitoreo área para montaje del equipo electrónico. así mismo los vehículos que usaran para el desplazamiento de las cuadrillas de mantenimiento o del personal encargado de la operación de la red a cualesquiera de los nodos o trayectos de la red de fibra óptica,

En la tabla 4.5 se muestra una lista del equipo electrónico que se requiere para implementar la red de fibra óptica.



Modelo	Marca	Descripción	Cantidad
1720SCH	Tektronix	Vectorscope	3
1730D	Tektronix	Digital Waveform Monitor	3
760A	Tektronix	Stereo Audio Monitor	3
KV-14R20/H4	Sony	TV 14"	40
CVM3051D	Barco	Monitor Digital 19"	3
Control 5	JBL	Par de Bocinas de 3 vías	3
D75A	Crown	Amplificador Stereo	3
VU-400	ATI	Medidor de Audio	40
CP-3000	BTS	Botonera Routing 0000251E	6
VENUS	BTS	Routing Switcher Digital 64 x 64	1
TSG95	Tektronix	Pathfinder PAL/NTSC Signal Generator	1
TFC200	Tektronix	Modidor de Potencia Optica de Mano	1
WFM90	Tektronix	Monitor Forma de Onda	1
E6000A	Hewlet Packard	Mini ODTR	1
E4319A	Hewlet Packard	Optical Time Domain Reflectometer	1
974A	Hewlet Packard	Multimetro Digital	2
HP54615B	Hewlet Packard	Osciloscopio Digital 500 MHz	2
OFS 300	NOYES	Microscopio para fibra óptica	1
Type-36	Sumitomo Electric	Empalmadora de fusión	1
8560	Grass Valley Group	Distribuidor de Audio	36
8800	Grass Valley Group	Distribuidor de Video	5
DAC	Grass Valley Group	Convertidor Digital a Analógico Audio	36
DAC-110	Grass Valley Group	Convertidor Digital a Analógico Video	36
FR-3610-2	Leitch	Digibus	32
DV6501TXDSC	ADC	Transmisor	24
DV6311ETM	ADC	Transmisor Encoder (Electrico)	32
DV6101VEN4M	ADC	Video Encoder	50
DV6102VDN4M	ADC	Video Decoder	50
DV6016RPC	ADC	Controlador	6
DV6016DAP2	ADC	Drop/Add/Pass	28
DV6302RCQSC	ADC	Receptor	24
DV6302ERCQ	ADC	Receptor (Electrico)	12
DV6312ERM	ADC	Receptor Decoder (Electrico)	32
DV6016RPS	ADC	Repetidora	6
DV6016ES	ADC	Chasis	28
DV6011	ADC	Fuente de poder	68

Tabla 4.5 Lista de equipo.



4.13 Ajuste y prueba del equipo.

Una vez que se termino con la colocación de equipos se debe proceder a conectar los equipos de fibra óptica así como con la colocación de los cables de cobre para las señales de audio y video, ya que se haya concluido con esto se procederá a realizar pruebas para ajustar los equipos a una norma estándar y así poder asegurar que la señal con la que sea alimentada a la entrada de los chasis de fibra óptica será la misma señal que se tendrá a la salida de los chasis de fibra óptica en el otro extremo y con lo cual se evita tener personal en cada nodo el cual tendría la función de variar los niveles de las tarjetas codificadoras o decodificadoras según sea el caso con el fin de ajustar las señales y dejarlas en normas cuando estas señales estuvieran fuera de normas una vez que se tiene la certeza de que la señal que viaja a través de la red metropolitana de fibra óptica será la misma señal entrante la que se tenga a la salida por lo que la calidad de la señal será ahora responsabilidad de la fuente origen cualquier anomalía en la señal, sin dejar de lado que también puede existir un error en el sistema de fibra óptica aunque con una mínima probabilidad de que esto ocurra.

Para poder tener la certeza de que los equipos de fibra óptica están en optimas condiciones y no presentan fallas en el transporte de señales de audio y video se realizarán pruebas periódicamente con el fin de poder estar seguros que los equipos de fibra óptica se encuentran en normas tanto en entrada como en salida. En la figura 4.23 se muestra un diagrama a bloques de la conexión para ajuste de equipos terminales de fibra óptica.

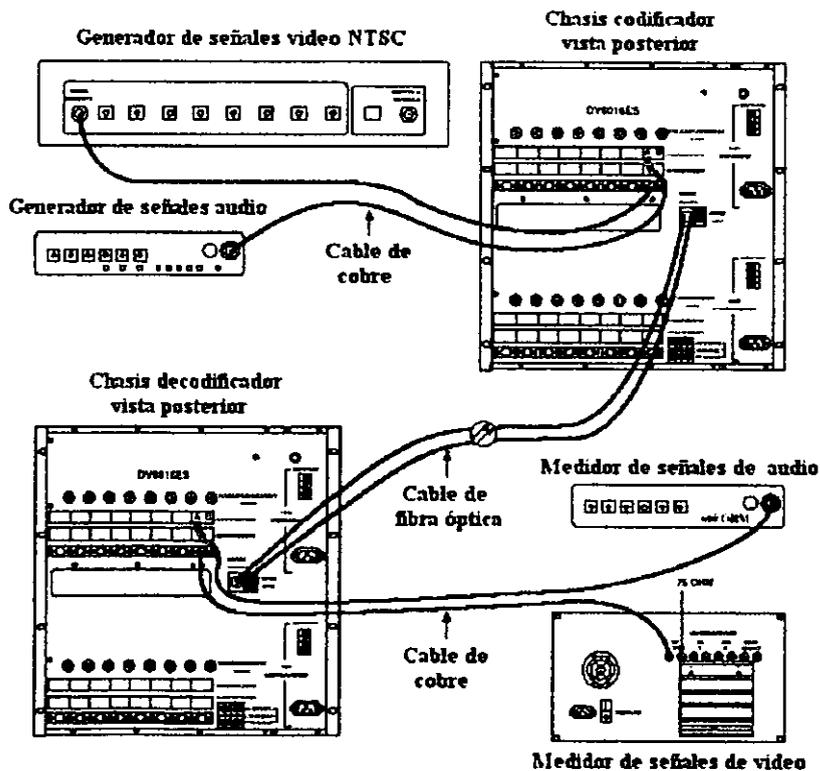


Figura 4.23 Diagrama a bloques para ajuste.



Ya que se han probado todos los equipos y todos se encuentran trabajando perfectamente y en normas, se hace una prueba de ruptura de fibra óptica desconectando en los distribuidores terminales de fibra óptica, al realizar esto se comprueba el sistema de redundancia se encuentre funcionando perfectamente, sí por el contrario existe alguna anomalía en el funcionamiento, se procede a revisar el sistema de redundancia y se corrige la falla y se realiza de nuevo la prueba de ruptura, una vez que se comprueba que el sistema funciona perfectamente, esto significa que el sistema automáticamente toma la ruta alterna y la señal de video no se ve interrumpida solo se escucha un leve chasquido en el audio (ruido digital) el cual es prácticamente imperceptible a menos que se tenga cierta experiencia en señales de audio y video logrará diferenciar entre un audio normal y un audio con ruido o un sonido extraño, al regresar las conexiones a su lugar el equipo se regresa automáticamente a la trayectoria original y de igual manera no se nota absolutamente ningún corte en el video de nueva forma solo se escucha el leve chasquido en el audio, una vez realizada esta prueba se comienza con la operación del sistema tomando en cuenta que cuando el sistema comience a trabajar, el sistema no podrá ser apagado ya que será el enlace principal entre los controles maestros de cada canal y el transmisor, al igual que muchos de los programas que se tengan estarán al aire.

Para el mantenimiento en los equipos de fibra óptica o pruebas en la red se tendrán que realizar en días y horarios preestablecidos con por lo menos un día de anticipación (esto dependerá de la prioridad del mantenimiento), además será cuando exista el menor tráfico posible en la red, sólo en caso de ruptura en la trayectoria de la fibra óptica se realizará la reparación inmediatamente de que se detecte la ruptura de fibra óptica y esto no afecta el flujo de señales en la red ya que se encuentra respaldado por el sistema de redundancia.

Ya que se tiene trabajando la red de fibra óptica se encuentra que cubre por mucho todas las expectativas que se habían contemplado en la presentación del proyecto. El funcionamiento de la red es óptimo y las necesidades de la empresa se ven ampliamente satisfechas, el proyecto también comienza a tener grandes expectativas a un futuro no muy lejano ya que se comienzan a contemplar nuevos servicios como la utilización de la red para transporte de señales de HDTV la cual es la tecnología del futuro hoy, el poder transmitir señales HDTV a grandes distancias en donde la fibra óptica será muy importante en la industria de la televisión ya que la utilización de cobre tendrá la desventaja del ancho de banda que puede transmitir a grandes distancias y dentro de muy poco tiempo relativamente hablando las señales de HDTV serán la forma más común de ver televisión por lo que las empresas productoras deberán tener una infraestructura que les permita acceder a ésta nueva tecnología.

Y como lo sucedido en la transición de la televisión de blanco y negro a la televisión de color al igual que en ejemplo de cambio de tecnología en la televisión de blanco y negro a color el gran obstáculo a vencer es el costo de la operación, producción, distribución y radiodifusión de las señales de HDTV y sobre todo la inversión por parte del tele auditorio el cual la gran mayoría se ve imposibilitado de acceder a éste tipo de tecnología hoy en día, ya que los precios de un receptor tiene un costo aproximado de \$650.00 USD y un monitor



(el más económico) tiene un costo de aproximadamente \$4.500 USD a esto hay que sumarle que si se desea aprovechar en su totalidad beneficios del sistema HDTV se debe tener un equipo de audio (home theatre) de alta fidelidad y capaz de reproducir formatos de audio digitales. Pero el tiempo hará que este tipo de tecnología día a día se vuelva más accesible para todos los niveles socio-económicos de la sociedad como a sucedido repetidamente con los cambios de tecnología por ejemplo la televisión de blanco y negro a la televisión a color, el uso de telefonía móvil que era restringido a personas con un alto poder adquisitivo y a hora cualquier persona tiene acceso a estos sistemas, el uso de sistemas satelitales en su modalidad de sistemas de televisión directa al hogar, otro de los ejemplos y tal vez el más común es el de los sistemas de computo que día a día se hacen más accesibles para todos.



Conclusiones

El resultado de la implementación de una red de fibra óptica en el área metropolitana para la conducción de señales de audio y video, datos, y voz es de gran utilidad para las empresas que se encuentran diversificadas por diferentes zonas del área metropolitana y que requieren tener una comunicación permanente y confiable entre la matriz y sus sucursales, además de que la implementación de una red de fibra óptica reduce en gran medida los costos de operación y de personal, y sobre todo lo más importante se tiene una gran confianza en el sistema en cuestión de seguridad ya que es imposible poder introducirse en este tipo de redes sin que los responsables de la operación, monitoreo y mantenimiento de la red se enteren.

Este tipo de red también se puede implementar en instituciones de enseñanza media superior y superior, como sería el caso de nuestra alma mater UNAM o en otras instituciones similares tales como el IPN, la UAM, el ITESM, Universidad del Valle de México por mencionar algunas de las instituciones que tienen el mayor número de planteles o campus dentro del área metropolitana. En el caso de nuestra querida alma mater que tiene una gran diversidad de campus dentro del área metropolitana, por medio de un sistema de este tipo se puede tener transferencia de datos entre CU y los demás campus de la institución con gran confidencialidad además darle mayor versatilidad a los servicios de internet, accesos a los servidores de CU de forma expedita y con una gran velocidad de transmisión en la transferencia de datos. Otra de las aplicaciones sería para reducir el gasto del uso de líneas telefónicas entre CU y los campus o entre los campus ya que se puede implementar un sistema de enlaces de E1 o E3 dedicados a través de la red de fibra óptica y asignarles simplemente números de extensiones en el conmutador central de CU con esto las llamadas internas entre los campus y CU o entre campus no se tendría que utilizar servicios de compañías telefónicas e inclusive reducir el número de líneas que se están rentando para el servicio de comunicación en cada campus tener un mejor control de las llamadas que no están relacionadas con la institución, tener una comunicación expedita, confiable y permanente.

El uso de sistemas de audio y video se puede utilizar para implementar las cátedras a través del concepto de universidad virtual con un solo ponente en alguno de los campus de la institución y poder difundirla a los demás campus que así lo requieran o que tengan contemplado esta modalidad de dar cátedra, el sistema contaría con una excelente calidad de audio y video en tiempo real y con gran versatilidad interactiva entre el catedrático y los alumnos, además se tendría la posibilidad de difundir mensajes de interés general o de gran importancia para la comunidad universitaria desde rectoría en CU o cualquier campus de la universidad e inclusive desde la misma oficina del rector, lo cual permitiría tener la información de forma inmediata y expedita, eliminando así los rumores o falsos informes sobre temas de interés para la comunidad universitaria.



En el caso muy específico del diseño de una red de fibra óptica para una empresa que produce y transmite programas y eventos especiales para televisión hace que sea más dinámico el intercambio de información entre todos los centros de producción, más seguros y con mayor calidad además de reducir los costos. Ya que para sostener enlaces entre los diferentes centros de producción, es muy costoso o infuncional tener un sistema de otro tipo para mantener enlaces permanentes entre los centros de producción, ya que si se utilizan microondas la limitante es en el número de señales que se pueden mandar porque son enlaces punto a punto, entonces se tendrían que tener varios sistemas dirigidos a cada centro de producción por lo que en el punto central se tendrían demasiadas antenas. Considerando que éstos se encuentran a línea de vista de lo contrario se tendría que triangular la señal para poderla entregar en el punto requerido. También se tendrían problemas con interferencia del medio ambiente, además de que para la operación de un sistema de microondas se tendría que tener personal dedicado en cada uno de los centros de producción para mantener en un estado óptimo la operación del sistema, esto implica tener gastos de personal. Es preferible utilizar todos estos recursos para enlaces temporales y en lugares donde no se tengan las posibilidades de tener una infraestructura fija y propietaria.

En el caso de los servicios satelitales se tiene la problemática de que la señal de audio y video se realiza con un alto grado de compresión lo cual hace que la señal de video sea restringida para el uso de postproducción ya que en la compresión se pierde información que no se vuelve a recuperar y al hacer dos o más enlaces con la misma señal la calidad de ésta no estarán en normas para poder hacer una postproducción, otro de los problemas que se tendrían en este tipo de enlaces es que se requieren que sean permanentes esto es las 24 horas del día los 355 días del año y el costo por uso del servicio de satélite es muy elevado y también se requiere tener personal en cada sitio de producción para la operación de este sistema satelital, al igual que las microondas se tendrían algunos problemas de interferencias cuando el clima no sea tan benévolo, por lo que también se recomienda tener este tipo de enlaces para servicios que no tengan más de una postproducción, o servicios temporales en áreas en donde es difícil tener acceso o comunicación por cualquier otro medio, o evitar hacer triangulaciones con microondas.

En el caso de trasladar el material videograbado por medio de mensajería tiene el mayor inconveniente de todos los medios que se han señalado anteriormente y es que no es en tiempo real, además puede sufrir daños o robo en el traslado, no llegar a tiempo para su reproducción en caso de que se trate de un material que se piense transmitir al aire y haya sido grabado con poco tiempo de anticipación

Todos los puntos antes mencionados implican gastos extremos tanto de equipo como de personal, que en cambio con el desarrollo de la red metropolitana de fibra óptica se reducen lo suficiente como para justificar la implementación de ésta, tomando en cuenta que el costo inicial es muy elevado comparado con cualquier otro sistema. Comparado con los demás sistemas, en el sistema de fibra óptica sólo se requiere tener personal en el nodo central que es donde está el centro de control y monitoreo de la red, no se requiere que el personal esté físicamente en cada uno de los nodos, salvo en ocasiones de emergencia o para mantenimiento que son muy esporádicas y/o programadas, por lo que con un mínimo de personal se puede cumplir con la operación y mantenimiento de la red, no se requiere de



equipo o personal extra para realizar un nuevo enlace entre los diferentes nodos de la red ya que la infraestructura principal ya se encuentra instalada.

El avanzado desarrollo de los sistemas de comunicación nos a permitido poder dar soluciones más viables a problemas de intercomunicación entre diferentes puntos, afortunadamente el desarrollo de la comunicación vía fibra óptica está evolucionando día con día, al igual que los sistemas digitales, esto hará que en poco tiempo se puedan implementar nuevos y diferentes servicios de comunicación con casi o la misma infraestructura que se está estableciendo ahora, y esto se ve en el avanzado desarrollo de las empresas que diseñan equipos y sistemas de comunicación para lograr tener al máximo la convergencia de las comunicaciones, esto es poder transmitir por un mismo medio de comunicación señales de voz, datos, audio y video. Una de las muestras de esta convergencia es que hoy en día se puede tener por un canal de telefonía datos, voz, audio y video de baja calidad, o en otro de los casos en un sistema de televisión se puede tener la señal de video y audio, voz y datos, volviendo a éste sistema más interactivo ya la televisión dejara de ser un elemento pasivo en la vida cotidiana, ya que con la implementación de transmisión de datos en el mismo sistema de televisión se tiene la posibilidad de tener internet en la televisión, con lo cual se podrá tener un intercambio de información entre el televidente y cualquier sitio de la red con el que se conecte, podrá hacer compras desde su casa, visitar museos, conciertos, en fin toda una amalgama de posibilidades que se está planteando con la convergencia de las comunicaciones. Es por lo cual ahora se debe planear tener una infraestructura que pueda soportar cualquier forma o medio de comunicación, y que mejor plataforma que la de diseñar una red de fibra óptica; sobretodo para una empresa de televisión que desee mantenerse a la vanguardia tecnológica, ya que el futuro no está tan lejano como algunas personas lo piensan.

Otro gran motivo para el uso de un sistema de fibra óptica en una empresa de televisión es el ancho de banda para la interconexión de la nueva tecnología “La televisión de alta definición” ya que para poder transportar una señal de HDTV sin compresión se requiere un sistema que pueda soportar un rango de 1.5 Gbits/seg. Que hace casi imposible poder transmitir esta señal por cable coaxial sobre todo a grandes distancias. Aunque se aplica un método de compresión para poder librar esta dificultad técnica y dejar una señal de transmisión con un estándar de televisión de 270 Mbits/seg (D1). También es difícil poder transmitir esta velocidad de transmisión a grandes distancias, y siempre será mejor poder transmitir las señales sin compresión para la post producción ya que el proceso de grabar y regrabar una señal comprimida se pierde información en cada proceso, por lo que al final del proceso se tiene una señal con mala calidad.



Bibliografía

Designing and implementing Local area Networks
D.N Choro
Mc. Graw-Hill 1984

Optoelectronics An Introduction
J. Nilson & J. F. B. Hawkes
Prentice-Hall International 1983

Fundamentals of Optical Fiber Communications
Barnoski, M.K., 2nd. Ed.
New York
Academic Press, Inc., 1981

Local Area Networks whit Fiber Optic Aplications
Baker, D.G.
Englewood Clidds, NJ
Prentice-Hall, Inc. 1986

Ingenieria de Sistemas de telecomunicaciones
Freeman, Roger L
Mexico
Limusa, 1991

Fiber Optics
Cheo, P.K.
Englewood Clidds, NJ
Prentice-Hall, Inc. 1985

An Introduction to Optical Fibers
Cherin, A.H.
New York
Mc. Graw-Hill Book Company, 1983

Fiber Optics
Daly, J.C
Boca Raton, Fla
CRC Press, Inc 1984

Optical Fiber Technology
Gloge, D.
New York
IEEE Press, 1976



Optical Fiber Systems Technology, Design and applications
Kao, C.K.
New York
Mc. Graw-Hill Book Company, 1983

Optical Fiber Communications
Keiser, G.E.
New York
Mc. Graw-Hill Book Company, 1983

Fiber Optics: Technology and Applications
Personick, S.D.
New York
Plenum Press, 1985

Optical Fiber Transmission Systems
New York
Plenum Press, 1981
Personik, S.D.

Optical Fiber Communications: Principles and Practice
Senior, J.
Englewood Cliffs, NJ
Prentice -Hall, Inc. 1984

Optical Waveguide Theory
Chapman and Hall, Ltd., 1983
London

Handbook of Fiber Optics: Theory and Applications
Wolf, Helmut F.
New York
Garland Publishing, Inc. 1979

CCITT
Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico
Fibras Opticas para Telecomunicaciones
Ginebra 1984

Corning Glass Works
Telecommunication Products
Corning, N.Y.

Telecom
Schlumberger Instruments, 1989 - 1990



Measuring Instruments For Optical Fiber
Communications systems
Anritsu, 1988

Sumitomo Measurement Methods
For Sumiguide optical Fiber Single Mode

Splicing Procedures For Optical Fiber Cables
Type 36 Fusion splicer (Guide to operation)
Sumitomo electric

T.V. Color Sistema NTSC
Alfredo Borque
Madrid, España
Paraninfo, 1981

Video Engineering
Inglis Andrew F.
California USA
Mc. Graw- Hill, 1994

Television Engineering Handbook
Benson K. Blair
New York
Mc. Graw -Hill, 1986

Introducción a la teoría y sistemas de comunicación
Latí B.P
México
Mc Graw -Hill, 1993

Televisión: Practica y Sistemas de Video
Bernard Grob
Barcelona, España
Marcombo, S.A., 1990

DTV The revolution in Digital Video
Jerry Whitaker
New York
Mc. Graw -Hill, 1999

Stereo Audio Monitors 760A
Instruction Manual
Wilsonville, OR
Tektronix, 1995



Digital Wave Monitor 1730D
Instruction Manual
Wilsonville, OR.
Tektronix, 1995

Vectorscope/SCH Monitor 1720SCH
Instructor Manual
Wilsonville, OR.
Tektronix, 1992

Facility Control System "Jupiter"
Installation and Operation Manual (Routing Switcher)
Salt Lake City, Utah.
BTS (Broadcast Television System), 1997

Digibus. Digital Conversion Systems
System Manual
North York, ON, Canada.
Leitch, 1999

DV6000 Digital Transport System
Technical Training Student Book
Meriden, Connecticut
ADC Telecommunications 1998

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas
Wayne Tomasi
México
Prentice Hall Hispanoamérica, S.A , 1996

Introducción a las Telecomunicaciones Modernas
Herrera Pérez Enrique
México
Limusa 1998

Líneas de Transmisión, Guías de onda y Fibras ópticas
María José Salmerón
México
Trillas 1984

Física Universitaria
Sears – Zemansky – Young
México
Addison – Westley Iberoamericana