

**PLANEACION Y DISEÑO DE UN CIRCUITO CERRADO DE  
TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA PARA LA  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA**



JOHN JAIRO CAPOTE  
JOSE ALFREDO TRUJILLO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA  
Y TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN

**PLANEACION Y DISEÑO DE UN CIRCUITO CERRADO DE  
TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA PARA LA  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

JOHN JAIRO CAPOTE  
JOSE ALFREDO TRUJILLO

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

DIRECTOR : ING. HAROLD ROMO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA  
Y TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN, 2001

## Tabla de Contenido

	Pág.
<b>CAPITULO 1. CARACTERISTICAS DE TRANSMISION DE LA FIBRA OPTICA</b>	1
1.1 Introducción	1
1.2 Atenuación	2
1.3 Perdidas por absorción del material en fibras de vidrio de sílice	3
1.3.1 Absorción intrínseca	4
1.3.2 Absorción extrínseca	5
1.4 Perdidas por dispersión lineal	7
1.5 Perdidas por dispersión no lineal	8
1.6 Perdidas por curvatura de la fibra	8
1.7 Dispersión	10
1.8 Dispersión intramodal	15
1.9 Dispersión intermodal	15
1.10 Dispersión global en la fibra	16
1.10.1 Fibras monomodo	16
1.11 Polarización	24
1.12 Fenómenos no lineales	24
<b>CAPITULO 2. TRANSMISION DE TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA.</b>	28
2.1 Generalidades sobre la transmisión de señales de Televisión	29
2.1.1. La señal de televisión	30
2.1.2. El principio de transmisión de Televisión	31
2.1.3. Transmisión del video - Modulación	31
2.1.4. Transmisión del sonido	31
2.1.5. Canales	31
2.1.6. Emisión de alta frecuencia	32
2.1.7. Televisión por satélite	32
2.1.8. Sistemas de transmisión por televisión	33
2.1.9. Parámetros a considerar en la transmisión de señales de video	33
2.1.10. El estándar RS-250C	34
2.2 Transmisión de televisión sobre fibra óptica.	35
2.2.1. Transmisión analógica sobre fibra óptica.	36
2.2.1.1. Modulación de Amplitud AM.	37
2.2.1.2. Modulación de Frecuencia FM.	38
2.2.1.3. Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).	40
2.2.1.4. Multiplexación por División de Subportadora (SCM).	42
2.2.2. Transmisión digital sobre fibra óptica.	43

2.2.2.1. Transmisión de video digitalmente codificado sobre fibra óptica.	44
2.2.2.2. Formatos de video digitalizado y tasas de datos.	47
2.2.2.3. Ventajas de los sistemas digitales de fibra.	48
2.2.2.4. Sistemas de una sola fibra.	50
2.2.3. Televisión sobre redes de fibra óptica que involucran múltiples capas físicas.	52
2.2.3.1. Video networking.	53
2.3 Aplicaciones de la transmisión de video y audio sobre fibra óptica.	58
<b>CAPITULO 3. COBERTURA Y PROPUESTA DE ADAPTACION</b>	<b>62</b>
3.1 Marco de referencia	62
3.2 Estudio de la demanda	64
3.2.1 Ambientación	64
3.2.2 Servicios ofrecidos	67
3.2.2.1 Preproducción	67
3.2.2.2 Producción	68
3.2.2.3 Postproducción	70
3.3 Cobertura	71
3.3.1 Eventos	71
3.3.2 Puntos principales	73
3.4 Propuesta de adaptación	73
3.4.1 Cableado estructurado	74
3.4.1.1 Edificio de Ingenierías	75
3.4.1.2 Sector Medicina	76
3.4.1.3 Sector Educación	77
3.4.1.4 Sector Santo Domingo	78
3.4.1.5 Sector Vicerrectoría de Investigaciones	79
3.4.1.6 Sector del Carmen	80
3.4.2 Adaptación	81
<b>CAPITULO 4. PLANEACION Y DISEÑO DEL CIRCUITO CERRADO DE TELEVISION SOBRE FIBRA ÓPTICA</b>	<b>83</b>
4.1 Planeación.	83
4.1.1 Requerimientos de desarrollo	84
4.1.2 Requerimientos de instalación	84
4.1.3 Requerimientos de infraestructura.	85
4.1.4 Requerimientos de seguridad	86
4.1.5 Requerimientos de interfaces y compatibilidad	87
4.1.6 Requerimientos de soporte y mantenimiento	87
4.1.7 Requerimientos de sostenimiento	87
4.2 Diseño del circuito cerrado de televisión sobre fibra óptica	88
4.2.1 Consideraciones iniciales	88

4.2.1.1	Consideraciones de diseño del sistema	88
4.2.1.2	Alternativas de solución	89
4.2.2	Primera alternativa: Video sin compresión	89
4.2.2.1	Características funcionales de la tecnología	90
4.2.2.2	Modos de presentación	91
4.2.2.3	Definición de los elementos de la red a utilizar	92
4.2.2.4	Identificación de los elementos a utilizar	97
4.2.2.5	Costos	99
4.2.2.6	Ubicación de los elementos.	101
4.2.2.7	Planos del cableado de distribución.	103
4.2.3	Segunda alternativa: Video sobre IP.	104
4.2.3.1	Características funcionales de la tecnología.	105
4.2.3.2	Definición de los elementos de la red a utilizar.	106
4.2.3.3	Identificación de los elementos a utilizar.	106
4.2.3.4	Costos.	107
4.2.3.5	Ubicación de los elementos.	108
4.2.4.	Ventajas y desventajas de cada alternativa	109
4.2.4.1	Primera Alternativa: Video sin compresión.	109
4.2.4.2	Segunda Alternativa: Video sobre IP.	110
4.2.5	Conclusiones de diseño	111

## Listado de figuras

### **CAPITULO 1. CARACTERISTICAS DE TRANSMISION DE LA FIBRA OPTICA<sup>0</sup>**

Figura 1.1. Espectro de atenuación para los mecanismos de perdidas intrínsecas en vidrio puro de GeO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> .	4
Figura 1.2. Espectro de absorción para el grupo de hidroxilo en sílice	6
Figura 1.3. Espectro de atenuación de una fibra monomodo de ultra bajas perdidas	7
Figura 1.4. Energía radiada desde la fibra óptica por curvatura	9
Figura 1.5. Interferencia ínter-símbolo debido al ensanchamiento del pulso	12
Figura 1.6. Duración del nivel del bit para un código sin y con retorno a cero	13
Figura 1.7. Ensanchamiento del pulso para los diferentes tipos de fibra óptica	14
Figura 1.8. Coeficiente de la dispersión de guía de onda contra frecuencia	20
Figura 1.9. Dispersión por guía de onda y por material contra longitud de onda	20
Figura 1.10. Dispersión total contra longitud de onda para fibras de varios diámetros	21
Figura 1.11. Característica de dispersión contra longitud de onda para fibras monomodo	22
Figura 1.12. Espectro de la dispersión espontánea no estimulada	26
Figura 1.13. Coeficiente de ganancia Raman en función de la frecuencia	27

### **CAPITULO 2. TRANSMISION DE TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA.**

Figura 2.1. Esquema típico de un canal de TV NTSC.	31
Figura 2.2. Montaje típico de un sistema de transmisión de televisión sobre fibra óptica.	31
Figura 2.3. Principio de funcionamiento de la transmisión sobre fibra óptica	36
Figura 2.4. Comportamiento típico de la relación S/N sobre un enlace AM de video sobre fibra óptica	36
Figura 2.5. Comportamiento típico de la relación S/N sobre un enlace FM de video sobre fibra óptica	38
Figura 2.6a. Plan de frecuencias para WDM normalizado por la ITU	40
Figura 2.6b. Plan de frecuencias para SCM para USA y EUROPA	42
Figura 2.7. Transmisión de señales analógicas en forma digital.	43
Figura 2.8. Recepción de señales analógicas en forma digital.	44
Figura 2.9. Comportamiento típico de la relación S/N sobre un enlace digital de video sobre fibra óptica	45
Figura 2.10. Comparación del ancho de banda del cable coaxial y la fibra.	46
Figura 2.11. Montaje típico de un sistema de transmisión de televisión unidireccional	48

---

<sup>0</sup> Las figuras del capítulo 1 fueron tomadas de la dirección web:  
[http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com\\_Opt\\_I/progr.html](http://www.iuma.ulpgc.es/users/jrsendra/Docencia/Com_Opt_I/progr.html)

sobre fibra óptica.	
Figura 2.12. Montaje típico de un sistema de transmisión de televisión unidireccional sobre una Red basada en IP.	60
	61
<b>CAPITULO 3. COBERTURA Y PROPUESTA DE ADAPTACION</b>	
Figura 3.1. Conexión entre los edificios de la Universidad del Cauca mediante fibra óptica	
Figura 3.2. Cableado del sector de Ingenierías	74
Figura 3.3. Cableado del sector de Medicina	75
Figura 3.4. Cableado del sector de Educación	76
Figura 3.5. Cableado del sector de Santo domingo	77
Figura 3.6. Cableado del sector de Vicerrectoría de investigaciones	78
Figura 3.7. Cableado del sector del Carmen	79
	80
<b>CAPITULO 4. PLANEACION Y DISEÑO DEL CIRCUITO CERRADO DE TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA</b>	
Figura 4.1. Esquema típico de un sistema de transmisión de televisión sobre fibra	
Figura 4.2. Esquema del backbone de fibra óptica de la Universidad del Cauca	90
Figura 4.3. Ubicación de los puntos de transmisión/recepción del CCTV.	92
Figura 4.4. Lógica de conexión entre transceivers y el enrutador de video	96
Figura 4.5. Conexión física entre transceivers y el enrutador de video	101
Figura 4.5. Notaciones en el anexo 5.	102
Figura 4.6. Facilidades para la transmisión de video sobre redes basadas en IP.	103
	105

## **Listado de Tablas**

<b>CAPITULO 1. CARACTERISTICAS DE TRANSMISION DE LA FIBRA OPTICA</b>	
Tabla 1.1. Absorción correspondiente a las impurezas del vidrio	5
<b>CAPITULO 2. TRANSMISION DE TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA</b>	
Tabla 2.1. Formatos del Video Digital.	47
<b>CAPITULO 3. COBERTURA Y PROPUESTA DE ADAPTACION</b>	
Tabla 3.1. Eventos más comunes realizados por facultad	72
Tabla 3.2. Auditorios correspondientes a las facultades	72
Tabla 3.3. Resumen puntos de red del sector de Ingenierías.	75
Tabla 3.4. Resumen puntos de red del sector de Medicina.	77
Tabla 3.5. Resumen puntos de red del sector de Educación.	78
Tabla 3.6. Resumen puntos de red del sector de Santo Domingo.	79
Tabla 3.7. Resumen puntos de red del sector de la Vicerrectoría de Investigaciones	80
Tabla 3.8. Resumen puntos de red del sector del Carmen	81
<b>CAPITULO 4. PLANEACION Y DISEÑO DEL CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN SOBRE FIBRA OPTICA</b>	
Tabla 4.1. Nivel de compresión, resolución y Ancho de banda, del video MPEG.	105
Tabla 4.2. Auditorios de la Universidad del Cauca, con puntos de red.	108



## **Listado de Anexos**

- Anexo 2. Red de distribución por fibra óptica en el backbone de la Red de Datos de la Universidad del Cauca.
- Anexo 2. Aplicaciones del CCTV de la Universidad del Cauca.
- Anexo 3. Disponibilidad Comercial.
- Anexo 4. Recomendaciones de instalación para la alternativa de video sin compresión.
- Anexo 5. Planos de diseño del CCTV según la alternativa de video sin compresión.

# CAPITULO 1

---

## CARACTERISTICAS DE TRANSMISION DE LA FIBRA OPTICA

### 1.1 Introducción.

Los mecanismos básicos de transmisión de los tipos de fibra óptica existentes deben ser tenidos en cuenta considerando todos los factores que afectan el desempeño de fibras ópticas como medio de transmisión. Esas características son de suma importancia cuando se investiga la conveniencia de la fibra óptica con propósitos de comunicaciones. Las características de transmisión más importantes son la atenuación (o pérdidas) y el ancho de banda.

El enorme ancho de banda potencial de las comunicaciones ópticas ayudó a fortalecer el nacimiento de la idea de que una guía de onda dieléctrica hecha de vidrio pudiera ser usada para transportar señales de comunicaciones esto ocurrió, en el famoso periódico de Kao y Hockman y wertz en 1966. Sin embargo, a la vez la idea se encontró un tanto ridícula, cómo un bloque de vidrio podría soportar transmisión óptica para mejorar en unos cuantos metros la transmisión, antes de que la señal se atenuara a niveles inaceptables. No obstante, la investigación cuidadosa de la atenuación mostró que ésta se debía en gran parte a la absorción dentro del vidrio, causada por impurezas tales como el hierro, cobre, manganeso y otros metales de transición presentes en la tercera fila de la tabla periódica, en ese momento la investigación se dirigió hacia una nueva generación de vidrio puro, para uso en comunicaciones por fibra óptica. Un descubrimiento más grande se dio en 1970 cuando la primera fibra óptica con una atenuación inferior a 20 dB/km fue reportada, este nivel de atenuación fue visto como el mínimo absoluto que tenía que lograrse antes de que un sistema de fibra óptica pudiera competir de alguna forma con los sistemas de comunicaciones existentes. Desde 1970 se han hecho significativas mejoras llevando a fibras de vidrio basadas en sílice con pérdidas menores a 0.2 dB/km en el laboratorio, desde aquí las fibras con pérdidas bajas han sido incorporadas dentro de los sistemas de comunicaciones ópticas alrededor del mundo, es mas, como el limite inferior fundamental para la atenuación en fibras de

vidrio de sílice ha sido alcanzado, las actividades se concentran en la investigación de otros sistemas materiales que puedan presentar pérdidas sustancialmente inferiores cuando operan a longitudes de onda extensas; tales fibras transmitiendo en medio-infrarrojo (y posiblemente en alto-infrarrojo) podrían eventualmente proveer comunicaciones con un tramo largo sin repetidores asumiendo que, además de las consideraciones del material, los requerimientos de fuente y detector ópticos pueden lograrse satisfactoriamente.

La otra característica de vital importancia es el ancho de banda de la fibra. El cual es limitado por la dispersión de la señal dentro de la fibra, y determina el número de bits de información transmitido en un periodo de tiempo dado. Por consiguiente, una vez la atenuación fue reducida a niveles aceptables la atención se dirigió hacia las propiedades dispersivas de la fibra, llevando a sustanciales mejoras dando fibras de anchos de banda de varios giga hertz sobre un número superior de kilómetros.

Para apreciar esos avances y los posibles desarrollos, las características de transmisión de las fibras como la atenuación; se consideran con mayor profundidad.

## **1.2 Atenuación.**

La atenuación o pérdidas de transmisión de la fibra óptica ha probado ser uno de los más importantes factores en producir su amplia aceptación en telecomunicaciones. Como canal la atenuación determinó ampliamente la máxima distancia de transmisión previa a la restauración de la señal, las comunicaciones por fibra óptica se volvieron especialmente atractivas cuando las pérdidas de transmisión de las fibras fueron reducidas por debajo de aquellas de los conductores metálicos (menores a 5dB/Km).

La atenuación de la señal dentro de la fibra óptica, como con los conductores metálicos, está usualmente expresada en la unidad logarítmica decibel. El decibel, el cual es usado para comparar dos niveles de potencia, puede ser definido para una longitud de onda óptica particular como la relación entre la potencia óptica de entrada (transmitida) a la fibra  $P_i$  y la potencia óptica de salida desde la fibra (recibida)  $P_o$  así:

$$\text{Número de decibeles (dB)} = 10 \log_{10} (P_i/P_o). \quad (1.1)$$

Esta unidad logarítmica tiene la ventaja de que las operaciones de multiplicación y división se reducen a adición y sustracción, aunque las potencias y las raíces se reducen a multiplicación y división. Sin embargo la adición y la sustracción requieren una conversión a valores numéricos los cuales pueden ser obtenidos mediante la relación:

$$P_i/P_o = 10^{(dB/10)} \quad (1.2)$$

En comunicaciones por fibra óptica la atenuación se expresa usualmente en decibeles por unidad de longitud (dB/Km)

$$\alpha_{dB}L = 10 \log (P_i/P_o). \quad (1.3)$$

Donde  $\alpha_{dB}$  es la atenuación de la señal por unidad de longitud en decibeles y L el es largo de la fibra.

Varios mecanismos son responsables de la atenuación de la señal dentro de las fibras ópticas. Esos mecanismos están influenciados por la composición del material, la técnica de preparación y purificación, y la estructura de la guía de onda. Esos mecanismos pueden ser categorizados dentro de varias áreas, las cuales incluyen absorción del material, dispersión del material (dispersión lineal o no lineal), pérdidas por curvatura y micro curvatura, pérdidas por el modo de acoplamiento a radiación, y pérdidas debidas a modos quebrados. También hay pérdidas en los conectores y en las uniones. Sin embargo, en este capítulo se tratan solamente las características de la fibra, las pérdidas en conectores y uniones son objeto de otro estudio. Es instructivo considerar en detalle los mecanismos de perdidas dentro de una fibra óptica para tener un entendimiento de los problemas asociados con el diseño y fabricación de guías de onda con bajas perdidas.

### **1.3 Perdidas por absorción del material en fibras de vidrio de sílice.**

La absorción del material es un mecanismo de perdidas relacionado con la composición del material y los procesos de fabricación de las fibras, lo cual resulta en disipación de parte de la potencia transmitida como calor en la fibra óptica. La absorción de la luz puede ser intrínseca (causada por la interacción con uno o mas de los principales componentes del vidrio) o extrínseca (causada por impurezas dentro del vidrio).

### 1.3.1 Absorción intrínseca

Un vidrio de sílice absolutamente puro tiene una pequeña absorción intrínseca debida a la estructura básica del material en la región cercana al infrarrojo, sin embargo, se tienen dos mecanismos principales de absorción intrínseca a longitudes de onda ópticas, las cuales dejan una ventana de baja absorción intrínseca en el rango de longitudes de onda sobre los 0.8 hasta 1.7  $\mu\text{m}$ , como se ilustra en la figura 1.1, la cual muestra una posible atenuación óptica contra la longitud de onda para vidrio absolutamente puro. Puede observarse que hay un margen de absorción fundamental, cuyos picos están centrados en la región de longitud de onda ultravioleta; esto se debe a la estimulación de las transiciones del electrón dentro del vidrio por una excitación de alta energía. La parte posterior de ese pico puede extenderse dentro de la región de la ventana a las longitudes de onda inferiores, como se ilustra en la figura 1.1, también en el infrarrojo y en el espectro lejano al infrarrojo normalmente a longitudes de onda por encima de 7  $\mu\text{m}$ , se presentan las bandas fundamentales de absorción a partir de la interacción de fotones con la vibración molecular dentro del vidrio, los cuales dan picos de absorción que de nuevo se extienden dentro de la región de la ventana. Las bandas de absorción fuerte ocurren debido a la oscilación de unidades estructurales tales como Si-O (9.2  $\mu\text{m}$ ), P-O (8.1  $\mu\text{m}$ ), B-O (7.2  $\mu\text{m}$ ) y Ge-O (11  $\mu\text{m}$ ) dentro del vidrio y por consiguiente, por encima de 1.5  $\mu\text{m}$  las colas de esos picos de absorción en el espectro lejano al infrarrojo tienden a causar mas pérdidas que en el vidrio puro.

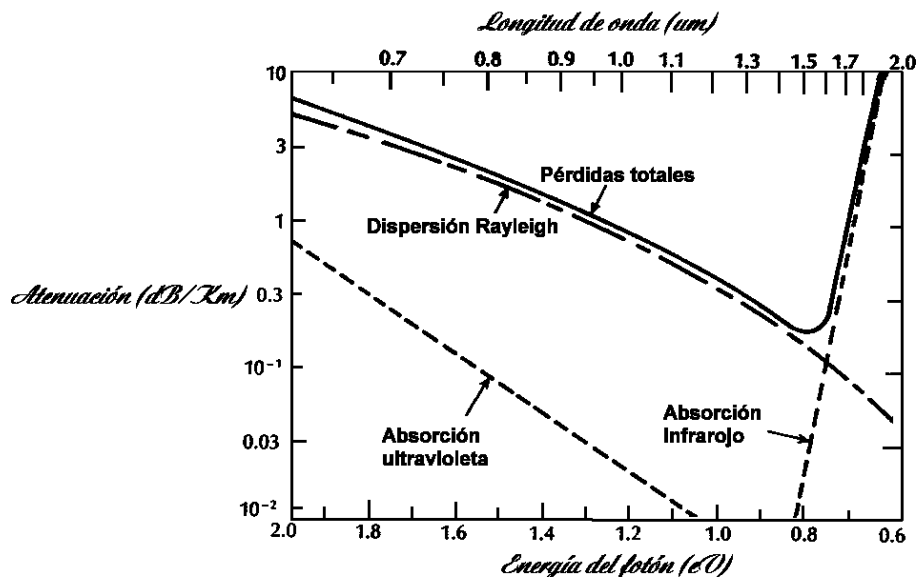


Figura 1.1 Espectro de atenuación para los mecanismos de pérdidas intrínsecas en vidrio puro de  $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$

Sin embargo, los efectos de esos procesos pueden ser minimizados por la escogencia adecuada de las composiciones de núcleo y revestimiento. Por ejemplo, en algunos vidrios sin óxido tales como fluoruros y cloruros, los picos de absorción infrarrojo ocurren a longitudes de onda muy grandes lo cual es bueno dentro del espectro lejano al infrarrojo (hasta 50  $\mu\text{m}$ ), dando menores atenuaciones a longitudes de onda de transmisión largas comparadas con los vidrios óxidos.

### 1.3.2 Absorción extrínseca

En fibras ópticas prácticas preparadas con técnicas convencionales de fusión, una fuente de atenuación de la señal es la absorción extrínseca a partir de la transición de impurezas metálicas. Algunas de las más comunes impurezas metálicas encontradas en el vidrio son mostradas en la tabla 1.1, junto con las pérdidas por absorción causadas por una parte en  $10^9$ . Puede notarse que ciertas impurezas, a saber cromo y cobre, en su peor estado de valencia causan atenuaciones que exceden a 1 dB/Km; en la región cercana al infrarrojo la combinación de elementos de transición puede ser reducida a niveles aceptables (por ejemplo una parte en  $10^{10}$ ) mediante técnicas refinamiento de vidrio tales como la fase de vapor por oxidación, la cual elimina ampliamente los efectos de esas impurezas metálicas.

IONES DE IMPUREZAS	LONGITUD DE ONDA PICO (NM)	UNA PARTE EN $10^9$ (DB KM. <sup>-1</sup> )
Cr <sup>3+</sup>	625	1.6
C <sup>2+</sup>	685	0.1
Cu <sup>2+</sup>	850	1.1
Fe <sup>2+</sup>	1100	0.68
Fe <sup>3+</sup>	400	0.15
Ni <sup>2+</sup>	650	0.1
Mn <sup>3+</sup>	460	0.2
V <sup>4+</sup>	725	2.7

Tabla 1.1 Absorción correspondientes a las impurezas del vidrio

Sin embargo, otro mecanismo importante de pérdidas extrínsecas es causado por la absorción debida al agua (como el hidroxilo o Ion OH) disuelta en el vidrio. Esos grupos de hidroxilo están siempre presentes dentro de la estructura de los vidrios y tienen vibraciones fundamentales extendidas, las cuales se presentan a longitudes de onda entre 2.7 y 4.2  $\mu\text{m}$  dependiendo de la posición del grupo en la red de vidrio. Las vibraciones fundamentales dan el riesgo de armónicos que aparecen casi armónicamente a 1.38, 0.95 y 0.72 $\mu\text{m}$ , como se ilustra en la figura 1.2. esta

muestra el espectro de absorción para el grupo de hidroxilo en sílice. Además, las combinaciones entre armónicos y la vibración fundamental del dióxido de silicio  $\text{SiO}_2$  ocurren a 1.24, 1.13 y  $0.88\mu\text{m}$ , completando el espectro de absorción mostrado en la figura 1.2.

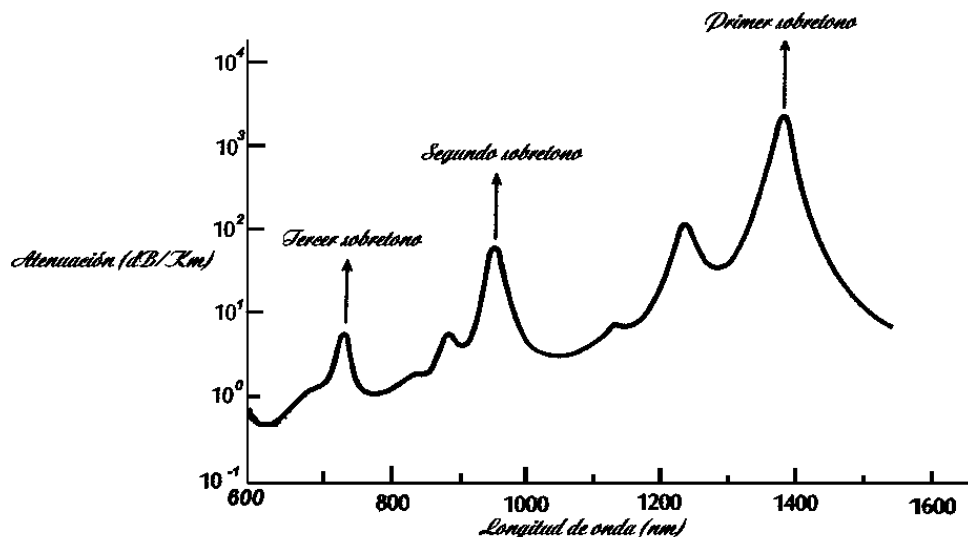


Figura 1.2 Espectro de absorción para el grupo de hidroxilo en sílice

Puede observarse en la figura 1.2 que la única banda de absorción significativa en la región por debajo de  $1\mu\text{m}$  es el segundo armónico a  $0.95\mu\text{m}$  el cual causa atenuación de cerca de  $1\text{dB/Km}$  por una parte por millón (ppm) de hidroxilo.

A mayores longitudes de onda el primer armónico a  $1.38\mu\text{m}$  y su banda a  $1.24\mu\text{m}$  son fuertes absorbentes dando atenuación de cerca de  $2\text{ dB/Km}$  ppm y  $4\text{ dB/Km}$  ppm respectivamente. Dado que la mayoría de las resonancias son bastante puntiagudas, la ventana más estrecha se da en las longitudes de onda mayores alrededor de  $1.3$  y  $1.55\mu\text{m}$  la cual básicamente no es afectada por la absorción de OH una vez que las impurezas han sido reducidas por debajo de una parte en  $10^7$  según se ilustra en la figura 1.3, la cual muestra el espectro de atenuación de una fibra monomodo de pérdidas ultra bajas. Puede verse que la mínima atenuación para esta fibra ocurre a una longitud de onda de  $1.55\mu\text{m}$  y es de  $0.2\text{ dB/Km}$  y es la aproximación a la mínima atenuación posible de cerca de  $0.18\text{ dB/Km}$  a esta longitud de onda.

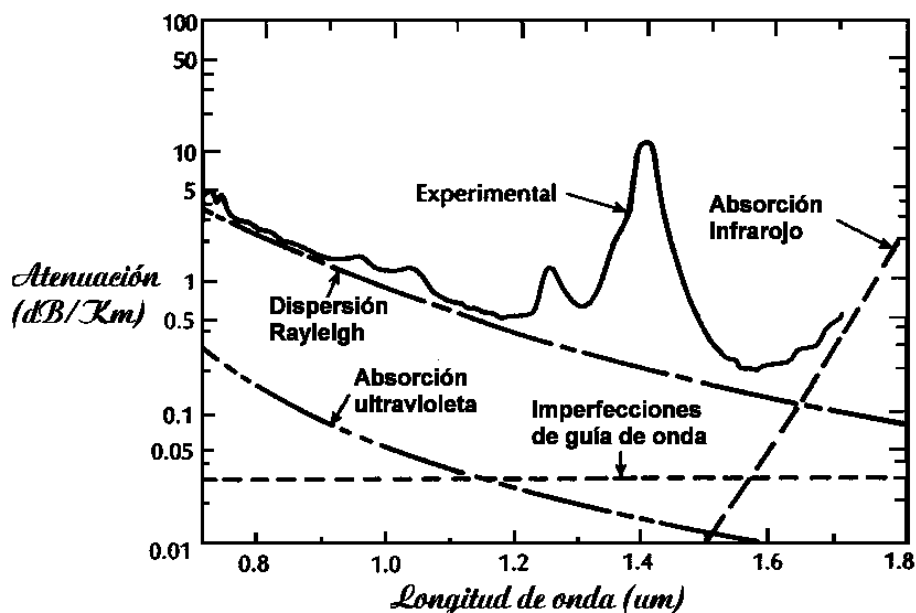


Figura 1.3 Espectro de atenuación de una fibra monomodo de ultra bajas pérdidas

#### 1.4 Pérdidas por dispersión lineal

Los mecanismos de dispersión lineal causan la transferencia lineal (proporcionalmente al modo de potencia) de alguna o toda la potencia contenida dentro de un modo de propagación hacia otro modo diferente. Este proceso da como resultado la atenuación de la luz transmitida como la transferencia puede ser a modo resquebrajado o de radiación los cuales no continúan la propagación dentro del centro de la fibra, sino que son radiados desde la fibra. Debe notarse que como con todos los procesos lineales no hay cambio de frecuencia dentro de la dispersión.

La dispersión lineal debe ser categorizada dentro de los dos principales tipos: Rayleigh y Mie. Ambas resultan de las propiedades físicas no ideales de la fibra manufacturada lo cual es difícil y en ciertos casos imposible de erradicar.



### 1.5 Perdidas por dispersión no lineal.

Las guías de onda ópticas no siempre se comportan como canales completamente lineales cuyo incremento en la potencia óptica de salida es directamente proporcional a la potencia óptica de entrada. Ocurren distintos efectos no lineales al interior de la fibra, lo que en el caso de la dispersión causa una atenuación desproporcionada, usualmente a niveles de potencia óptica altos; esta dispersión no lineal ocasiona que la potencia óptica de un modo se transfiera en cualquier dirección (adelante o atrás) en el mismo o en otros modos, a diferente frecuencia dependiendo en gran medida de la densidad de potencia óptica dentro de la fibra y de que solamente se haga significativo por encima del nivel umbral de potencia.

Los tipos más importantes de dispersión no lineal dentro de las fibras ópticas son causados por la dispersión Brillouin y Raman, ambas son usualmente observadas a densidades de potencia óptica altas en fibras mono modo largas; esos mecanismos de dispersión en realidad dan ganancia óptica pero con un cambio en frecuencia, así contribuyen a la atenuación en la transmisión de la luz a una longitud de onda específica. Sin embargo, puede notarse que tal fenómeno no lineal puede utilizarse para dar amplificación óptica en el contexto de técnicas ópticas integradas, además esos procesos no lineales son explorados con más detalle en la siguiente y en una sección posterior.

### 1.6 Perdidas por curvatura de la fibra

Las fibras ópticas sufren pérdidas por radiación en sus curvaturas o curvas en su camino, esto se debe a la energía en el campo evanescente de la curvatura excediendo la velocidad de la luz en el revestimiento y por lo tanto el mecanismo de dirección es inhibido, lo que ocasiona que la energía de la luz sea radiada desde la fibra. La ilustración de esta situación se muestra en la figura 1.4, la parte del modo que está en el lado externo de la curvatura debe viajar más rápido que el que está en el interior para que el frente de onda se mantenga perpendicular a la dirección de propagación. Por lo tanto, parte del modo en el revestimiento necesita viajar más rápido que la velocidad de la luz en ese medio; como esto no es posible, la energía asociada con esta parte del modo se pierde a través de radiación. Las pérdidas se representan usualmente por un coeficiente de atenuación por radiación el cual tiene la forma:

$$\alpha_r = C_1 \exp(-C_2 R)$$

donde R es el radio de curvatura de la curvatura de la fibra y  $C_1$ ,  $C_2$  son constantes independientes de R. Además las pérdidas por curvamiento ocurren en fibras multimodo a radios de curvatura críticos los cuales pueden estimarse por medio de:

$$R_c = [(3n_1^2\lambda) / (4\pi (n_1^2 - n_2^2)^{3/2})] \quad (1.4)$$

Puede verse que las pérdidas potenciales por macro curvatura pueden reducirse por:

- (a) diseño de las fibras con diferencias de índice refractivo altas;
- (b) operando a la menor longitud de onda posible.

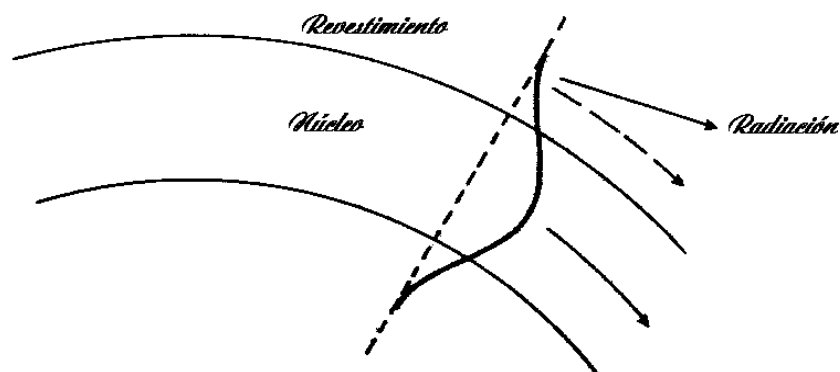


Figura 1.4 Energía radiada desde la fibra óptica por curvatura

Los criterios anteriores para la reducción de pérdidas por curvatura también se aplican a fibras monomodo. Una estimación del radio de curvatura crítico  $R_{cs}$  para fibras monomodo se puede hacer a partir de la relación:

$$R_{cs} = 20\lambda / (n_1 - n_2)^{3/2} [2.784 - .0996(\lambda/\lambda_c)]^{-3} \quad (1.5)$$

El radio de curvatura crítico para modos guiados puede hacerse extremadamente pequeño (por ejemplo  $9\mu\text{m}$ ), a pesar de que esto esté en conflicto con las preferencias de diseño y las características operacionales. No obstante, para propósitos prácticos, el radio de curvatura crítico es

relativamente pequeño (aun cuando se considera el caso de una fibra monomodo de una gran longitud de onda, se encontró alrededor de 34mm) para evitar atenuación severa de los modos guiados en las curvas de la fibra. Sin embargo, los modos de propagación cercanos al corte, los cuales no están completamente guiados dentro del centro de la fibra, pueden radiarse a grandes radios de curvatura. Así es esencial que las curvas agudas, con radio de curvatura próximo al radio de curvatura crítico se eviten cuando los cables de fibra óptica se instalen. Finalmente, es importante que las curvaturas microscópicas con radios de curvatura próximos al radio de la fibra no se produzcan en el proceso de cableado. Las llamadas micro curvaturas que causan significativas pérdidas en la fibra se discuten en secciones posteriores.

### 1.7 Dispersión

La dispersión de las señales ópticas transmitidas causan distorsión para la transmisión analógica y digital a lo largo de las fibras ópticas y cuando se considera la principal aplicación de la transmisión por fibra óptica la cual involucra algunas formas de modulación digital, entonces los mecanismos de dispersión dentro de la fibra causan ensanchamiento de los pulsos de luz transmitidos que están viajando a través del canal. Este fenómeno es ilustrado en la figura 1.5, donde puede observarse que cada pulso se ensancha y traslapa con sus vecinos, eventualmente se hace indistinguible en la entrada del receptor; el efecto es conocido como interferencia íter símbolo (ISI por sus siglas en ingles) así un numero mayor de errores puede encontrarse en el canal digital óptico a medida que la interferencia íter símbolo se hace mas pronunciada. La tasa de error es también función de la atenuación de la señal en el enlace y la subsecuente relación señal al ruido (SNR) en el receptor; sin embargo, la dispersión de la señal solo limita el máximo ancho de banda asequible con una fibra óptica particular al punto donde los símbolos individuales no pueden ser distinguidos.

Para que los pulsos de luz no se traslapen en un enlace de fibra óptica la tasa de bit digital  $B_T$  debe ser menor que el recíproco de la duración del pulso ensanchado (a través de la dispersión)  $2\tau$ . Por lo tanto:

$$B_T \leq 1/2\tau \tag{1.6}$$

Se asume que el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión en el canal es  $\tau$  lo que fija la duración del pulso de entrada la cual también es  $\tau$ . Por consiguiente da un estimativo conservador

de la máxima tasa de bit que puede obtenerse en un enlace de fibra óptica  $1/2\tau$ .

Un estimativo mas exacto de la máxima tasa de bit para un canal óptico con dispersión puede obtenerse considerando que los pulsos de luz a la salida tienen una forma Gaussiana con un ancho rms de  $\sigma$ . Diferente a la ecuación 1.6, este análisis permite la existencia de una cierta cantidad de señales traslapadas en el canal, aunque evitando cualquier falla en SNR que ocurra cuando la interferencia ínter símbolo se haga pronunciada. La máxima tasa de bits se da aproximadamente por:

$$B_T(\text{max}) \approx 0.2/\sigma \text{ [bits/s]} \quad (1.7)$$

Debe notarse que ciertas fuentes dan el termino constante en el numerador de la ecuación 1.7 como 0.25, por ejemplo. Sin embargo, se toma el estimativo mas conservador dado, siguiendo a Olshansky y Gambling. La ecuación 1.7 da una aproximación razonablemente buena para otras formas de pulsos que se pueden dar dentro del canal como resultado de varios mecanismos de dispersión dentro de la fibra. También,  $\sigma$  puede asumirse para representar la respuesta rms al impulso para el canal.

La conversión de la tasa de bits al ancho de banda en hertz depende del formato de codificación digital usado. Cuando se emplea un código sin retorno a cero para conductores metálicos, el nivel del uno binario es mantenido por todo el periodo del bit  $\tau$ . En este caso hay dos periodos de bits en una longitud de onda (por ejemplo: dos bits por segundo por hertz), como se ilustra en la figura 1.6(a) por consiguiente el máximo ancho de banda  $B$  es la mitad de la máxima tasa de datos o:

$$B_T(\text{máx.}) = 2B \quad (1.8)$$

Sin embargo, cuando se considera un código con retorno a cero, como se muestra en la figura 1.6(b), el nivel de uno binario se mantiene solo para parte del periodo del bit (usualmente la mitad). Para este esquema de señalización la tasa de datos es igual al ancho de banda en hertz (por ejemplo: un bit por segundo por hertz) y así  $B_T = B$  y el ancho de banda  $B$  para conductores metálicos se define usualmente por el punto eléctrico de 3 dB (las frecuencias a las cuales la potencia eléctrica ha caído a la mitad de su valor máximo constante), sin embargo, cuando se

considera el ancho de banda óptico a 3 dB de la fibra se encuentra que es significativamente mas grande que el ancho de banda eléctrico correspondiente los 3 dB por razones obvias. Por consiguiente, cuando las limitaciones en el ancho de banda de la fibra debidas a la dispersión están declaradas (por ejemplo: ancho de banda óptico), es usualmente con la estimación de un código con retorno a cero donde el ancho de banda se considera igual a la tasa de bits digital. Cuando se consideran dispositivos electro-ópticos y sistemas de fibra es usual declarar el ancho de banda eléctrico a 3 dB, esta viene siendo la mas común medida cuando se unen enlaces de fibra óptica a equipos eléctricos terminales.

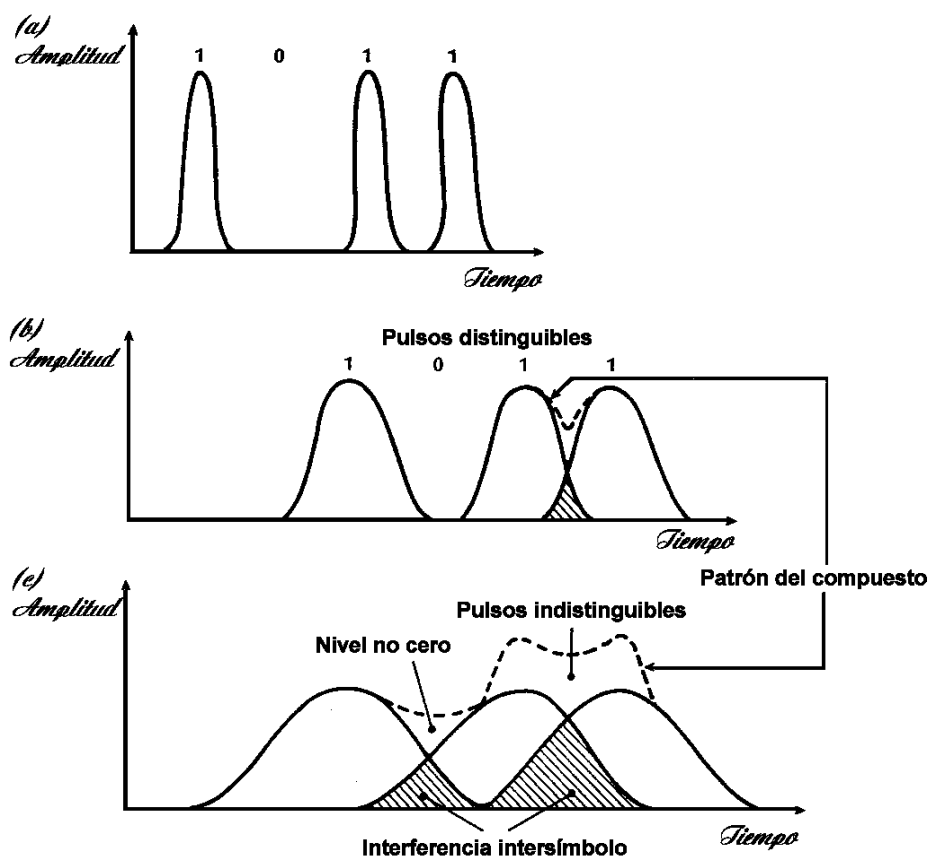


Figura 1.5 Interferencia íter-símbolo debido al ensanchamiento del pulso

Desafortunadamente, los términos de las medidas del ancho de banda no siempre son claras y el lector de estas debe estar atento a estas omisiones pues pueden llevar a confusión cuando se especifiquen los componentes y materiales para sistemas de comunicaciones por fibra óptica.

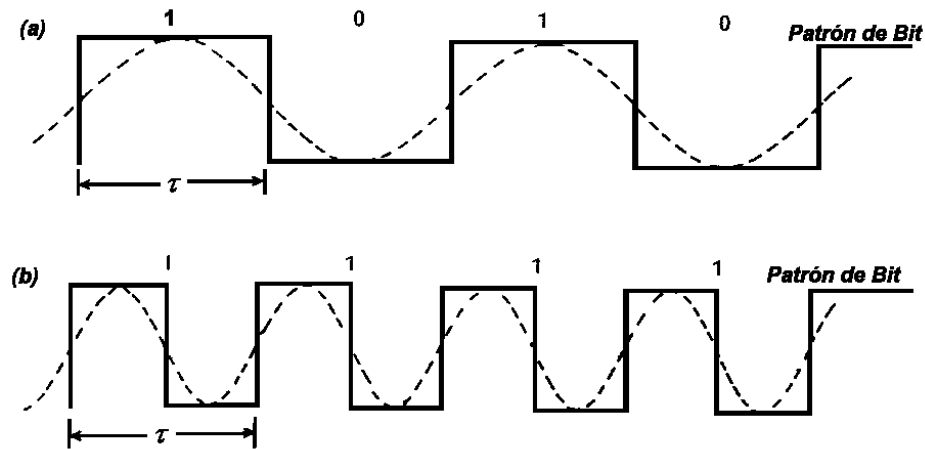


Figura 1.6 Duración del nivel del bit para un código sin y con retorno a cero

La figura 1.7 muestra las tres estructuras de fibra óptica más comunes, índice de paso multimodo, índice graduado multimodo y índice de paso monomodo, mientras que esquemáticamente se ilustra el ensanchamiento del pulso respectivo asociado con cada tipo de fibra. Puede observarse que las fibras de índice de paso multimodo exhibe la mayor dispersión de los pulsos de luz transmitidos y que las fibras de índice graduado multimodo dan un considerablemente mejor desempeño. Finalmente, las fibras monomodo dan el mínimo ensanchamiento de los pulsos y así es capaz de transmitir mayores anchos de banda el cual esta actualmente en el rango de Giga hertz, mientras que la transmisión mediante fibras de índice de paso multimodo esta limitada usualmente a anchos de banda de unas pocas decenas de mega hertz. Sin embargo, la medida del ensanchamiento del pulso depende de la distancia que el pulso viaja dentro de la fibra, y por consiguiente para un enlace de fibra óptica dadas las restricciones sobre el ancho de banda disponible se determinan por la distancia entre repetidores regenerativos. Así la medida de las propiedades dispersivas de una fibra particular se determina usualmente como el ensanchamiento del pulso en tiempo sobre una unidad de longitud de la fibra (ns/Km)

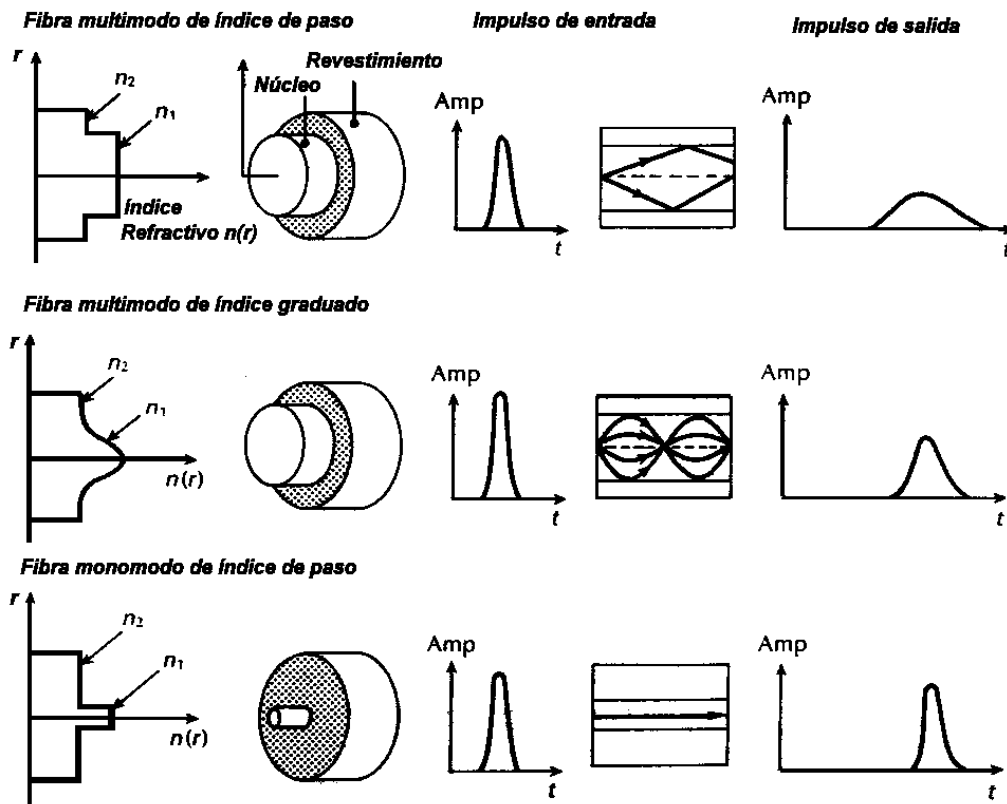


Figura 1.7 Ensanchamiento del pulso para los diferentes tipos de fibra óptica

Por consiguiente, el número de pulsos de señal óptica que pueden transmitirse en un periodo dado, y por lo tanto la capacidad de portar información de la fibra, está restringida por la cantidad de dispersión del pulso por unidad de longitud. En ausencia de modo de acoplamiento o de filtrado, el ensanchamiento del pulso aumenta linealmente con la longitud de la fibra y así el ancho de banda es inversamente proporcional a la distancia. Esto lleva a la adopción de un parámetro más usual para la capacidad de transportar información de una fibra óptica el cual es conocido como el producto ancho de banda-longitud ( $B_{\text{opt}} * L$ ). Los mejores productos ancho de banda-longitud para las tres fibras mostradas en la figura 1.7 son 20 MHz\*Km, 1 GHz\*Km y 100 GHz\*Km para fibras de índice de paso multimodo, índice graduado multimodo y índice de paso monomodo respectivamente.

En orden para apreciar las razones de las diferentes medidas del ensanchamiento del pulso dentro de varios tipos de fibras ópticas, es necesario considerar los mecanismos dispersivos comprometidos. Eso incluye material de dispersión, dispersión en la guía de onda, dispersión

intermodal y el perfil de la dispersión el cual es considerado en la siguiente sección.

### **1.8 Dispersión intramodal**

La dispersión intramodal o cromática puede darse en todos los tipos de fibra y es resultado del ancho espectral finito de la fuente óptica. Dado que las fuentes ópticas no emiten solo una frecuencia sino una banda de frecuencias (en el caso de la inyección láser corresponde a solo una fracción de un porcentaje de la frecuencia central, mientras que para el LED es probablemente un porcentaje más significativo), entonces pueden haber diferencias de retardo entre los diferentes componentes espectrales de la señal transmitida. Esto ocasiona el ensanchamiento de cada modo transmitido y por consiguiente dispersión intramodal. Las diferencias de retardos pueden ser causadas por las propiedades dispersivas del material de la guía de onda (dispersión por material) y también los efectos de guía dentro de la estructura de la fibra (dispersión de la guía de onda).

### **1.9 Dispersión intermodal**

El ensanchamiento del pulso debido a la dispersión intermodal (algunas veces referidas como dispersión modal) resulta de las diferencias de retardos de propagación entre modos dentro de una fibra multimodo. Como los diferentes modos que constituyen un pulso en una fibra viajando a lo largo del canal a diferentes velocidades de grupo, el ancho del pulso a la salida es dependiente de los tiempos de transmisión de los modos lentos y rápidos. Estos mecanismos de dispersión dan la diferencia fundamental en la dispersión global para los tres tipos de fibra mostrados en la figura 1.7. así las fibras multimodo de índice gradual exhiben una gran dispersión intermodal lo cual da un gran ensanchamiento del pulso. Sin embargo, la dispersión intermodal en fibras multimodo puede ser reducida adoptando un perfil de índice refractivo optimo lo cual es provisto por el perfil parabólico de fibras de índice mas graduado. Por consiguiente, el ensanchamiento global del pulso en fibras multimodo de índice graduado es menor que el obtenido en fibras multimodo de índice de paso. Así las fibras de índice graduado con una fuente multimodo dan una amplia ventaja en ancho de banda sobre fibras multimodo de índice de paso.

Bajo la operación netamente monomodo no hay dispersión intermodal y por lo tanto el



ensanchamiento del pulso se debe solamente a los mecanismos de la dispersión intramodal. En teoría, este es el caso con fibras monomodo de índice de paso donde solo un modo se propaga. Por lo tanto ellas exhiben el menor ensanchamiento del pulso y tienen los mayores anchos de banda, pero en general son solo operadas con fuentes monomodo.

### 1.10 Dispersión global en la fibra

la dispersión global en fibras multimodo comprende tanto la intramodal como la intermodal. El ensanchamiento global del pulso  $\sigma_T$  esta dado por:

$$\sigma_T = (\sigma_c^2 + \sigma_n^2)^{1/2} \quad (1.9)$$

donde  $\sigma_c$  es el ensanchamiento intramodal o cromático y  $\sigma_n$  es el ensanchamiento intermodal causado por las diferencias entre los modos. El termino intramodal  $\sigma_c$  consiste en el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión por material y por guía de onda. Sin embargo, dado que la dispersión por guía de onda es generalmente despreciable comparada con la dispersión por material en fibras multimodo, entonces  $\sigma_c \approx \sigma_m$ .

#### 1.10.1 Fibras monomodo

El ensanchamiento del pulso en fibras monomodo es debido casi completamente a la dispersión intramodal o cromática, como solamente un modo se puede propagar. Por consiguiente el ancho de banda esta limitado por el ancho espectral finito de la fuente. La situación en fibras multimodo es distinta, los mecanismos que dan dispersión intramodal en fibras monomodo tienden a interrelacionarse de manera compleja. El tiempo de transito o retardo de grupo específico  $\tau_g$  para un pulso de luz propagándose a lo largo de una unidad de longitud de una fibra monomodo puede estar dada por:

$$\tau_g = \frac{1}{c} \frac{d\beta}{d\kappa} \quad (1.10)$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío,  $\beta$  es la constante de propagación para un modo dentro del centro de la fibra de índice refractivo  $n_1$  y  $k$  es la constante de propagación del modo en el vacío.

El parámetro total de dispersión de primer orden o dispersión cromática de una fibra monomodo,  $D_T$ , esta dado por la derivada del retardo de grupo específico con respecto a la longitud de onda  $\lambda$  así:

$$D_T = \frac{d\tau_g}{d\lambda} \quad (1.11)$$

Al igual que el parámetro de dispersión por material este se expresa comúnmente en unidades de ps/nm Km. Cuando la variable  $\lambda$  es reemplazada por  $\omega$ , entonces el parámetro de dispersión total esta dado por:

$$D_T = -\frac{\omega}{\lambda} \frac{d\tau_g}{d\omega} = -\frac{\omega}{\lambda} \frac{d^2\beta}{d\omega^2} \quad (1.12)$$

La fibra exhibe dispersión intramodal cuando  $\beta$  varia alinealmente con la longitud de onda.  $\beta$  puede expresarse en términos de la diferencia de índice refractivo  $\Delta$  y de la constante de propagación normalizada  $b$  como:

$$\beta = kn_1[1 - 2\Delta(1 - b)]^{1/2} \quad (1.13)$$

El ensanchamiento rms del pulso causado por la dispersión intramodal en una fibra de longitud  $L$  esta dado por la derivada del retardo de grupo con respecto a la longitud de onda como:

$$\text{ensanchamiento total rms del pulso} = \frac{\sigma_\lambda L 2\pi}{c\lambda^2} \frac{d^2\beta}{d\kappa^2} \quad (1.14)$$

Donde  $\sigma_\lambda$  es el ancho espectral rms de la fuente centrada a una longitud de onda  $\lambda$ .

Cuando la ecuación 1.9 se sustituye dentro de la ecuación 1.10, el cálculo detallado de la primera y segunda derivada con respecto a  $K$  da la dependencia del ensanchamiento del pulso sobre las propiedades del material y sobre la constante de propagación  $b$ . Esto eleva tres efectos interrelacionados que comprometen términos de productos cruz. Sin embargo, la expresión final puede separarse en tres componentes de la dispersión en forma tal que uno de los efectos domina cada termino. Los efectos dominantes son:

1. el parámetro de dispersión por material  $D_M$  definido por  $\lambda/c * |d^2n/d\lambda^2|$  donde  $n = n_1$  o  $n_2$  para el centro de la fibra y el revestimiento respectivamente.
2. el parámetro de dispersión por guía de onda  $D_W$ , que puede obtenerse de la ecuación 1.12 se define como:

$$D_W = -\left(\frac{n_1 - n_2}{\lambda c}\right)V \frac{d^2(Vb)}{dV^2} \quad (1.15)$$

donde  $V$  es la frecuencia normalizada para la fibra. Dado que la constante de propagación normalizada  $b$  para una fibra especifica solo depende de  $V$ , entonces el coeficiente normalizado de dispersión de guía de onda  $Vd^2(Vb)/dV^2$  también depende de  $V$ . Esta ultima función es otro parámetro universal que juega un rol importante en la teoría de fibras monomodo.

3. un perfil del parámetro de dispersión  $D_P$  que es proporcional a  $d\Delta/d\lambda$ .

Esta situación es diferente en las fibras multimodo donde la mayoría de modos se propagan lejos del corte y por tanto la mayor parte de la potencia se transmite en el centro de la fibra. En el caso multimodo la combinación de los componentes de dispersión pueden simplificarse y separados en dos términos intra modales que dependen tanto de la dispersión por material como de la de guía de onda. También, especialmente cuando se considera fibras multimodo de índice de paso, el efecto del perfil de dispersión es insignificante; aunque la dispersión por material y por guía de onda tienden a dominar en las fibras monomodo, la combinación de perfiles no debería ignorarse; Sin embargo, el perfil del parámetro de dispersión  $D_P$  puede ser bastante pequeño, especialmente a longitudes de onda largas por tanto a menudo es desatendido en cálculos de la dispersión total dentro de la fibra monomodo.

Estrictamente hablando, en fibras monomodo con una potencia de perfil de índice refractivo la combinación de los términos de dispersión podrían ser empleados. No obstante, es útil considerar la dispersión total de primer orden  $D_T$  en una fibra monomodo practica como contiene:

$$D_T = D_M + D_W + D_P \quad (ps \text{ nm}^{-1} km^{-1}) \quad (1.16)$$

Lo cual es simplemente la adición de la dispersión por material  $D_M$ , la dispersión por guía de onda  $D_W$  y el perfil de dispersión  $D_P$ . Sin embargo, en fibras monomodo estándar la dispersión total tiende a ser dominada por la dispersión por material de sílice fusionado. Puede observarse que la característica de dispersión va hasta cero a una longitud de onda de  $1.27\mu m$ . Este punto de dispersión por material cero puede ser cambiado en cualquier parte del rango de longitudes de onda de  $1.2$  a  $1.4\mu m$  por la adición de dopantes adecuados. Sin embargo, el punto de dispersión por material cero solo no representa un punto de ensanchamiento de pulso cero dado que la dispersión del pulso esta influenciada por la dispersión de guía de onda y por el perfil de dispersión.

Con dispersión por material cero la extensión del pulso está fijada por el coeficiente de la dispersión de guía de onda  $Vd^2(Vb)/dV^2$ , que se ilustra en la figura 1.8 como una función de la frecuencia normalizada para el modo  $LP_{01}$ . Puede verse que en la región monomodo donde la frecuencia normalizada es menor que  $2.405$  la dispersión por guía de onda es siempre positiva y tiene un máximo a  $V = 1.15$ . En este caso la dispersión de guía de onda va a cero fuera de la región monomodo real a  $V = 3.0$ . Sin embargo, un cambio en los parámetros de la fibra o en la longitud de onda de operación altera la frecuencia normalizada y por tanto la dispersión de guía de onda.

La dispersión total en la fibra, la cual depende de la composición del material de la fibra y de las dimensiones, puede ser minimizada por el cambio de material y la dispersión de guía de onda mientras se limita el perfil de dispersión. Para longitudes de onda superiores al punto de dispersión por material cero, el parámetro de dispersión por material es positivo mientras que el parámetro de la dispersión de guía de onda es negativo, como se muestra en la figura 1.9. sin embargo la dispersión total  $D_T$  es aproximadamente igual a la suma de la dispersión por material  $D_M$  y la dispersión de guía de onda  $D_W$ . Por consiguiente para una longitud de onda particular, diseñado  $\lambda_0$ , el cual es ligeramente superior que la longitud de onda del punto ZMD, la dispersión de guía de onda compensada por la dispersión por material y el parámetro de dispersión de primer orden se hace cero.

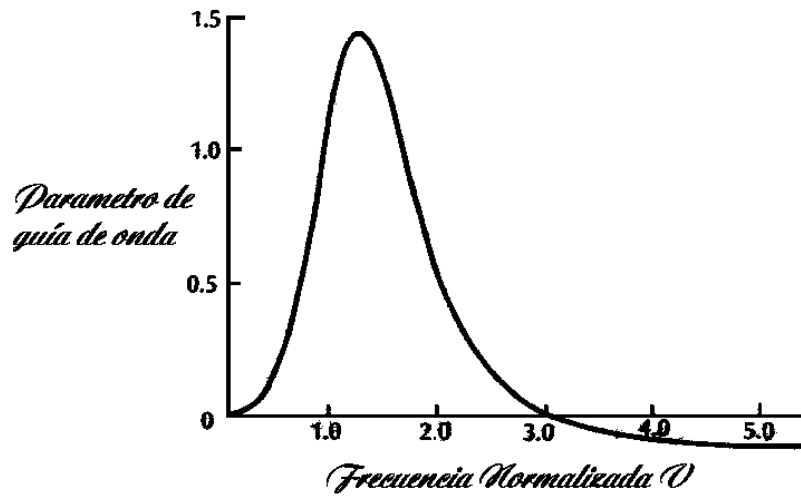


Figura 1.8 Coeficiente de la dispersión de guía de onda contra frecuencia

La longitud de onda a la que la dispersión de primer orden es cero  $\lambda_0$  puede ser seleccionado del rango 1.3 a 2  $\mu\text{m}$  por el control cuidadoso del diámetro del centro de la fibra y el perfil. Este punto se ilustra en la figura 1.10 donde la dispersión total de primer orden como una función de la longitud de onda es mostrada para tres fibras monomodo con diámetros centrales de 4, 5 y 6  $\mu\text{m}$

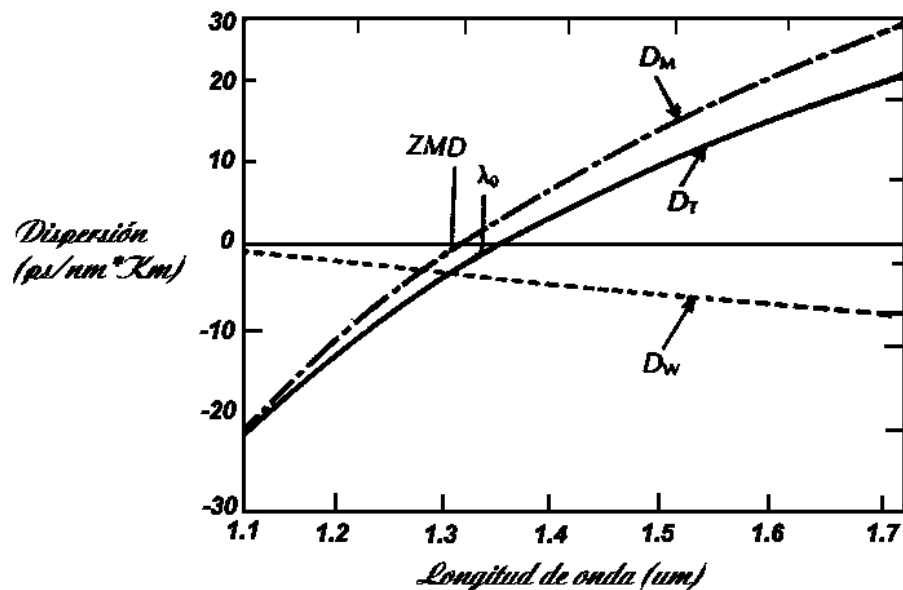


Figura 1.9 Dispersión por guía de onda y por material contra longitud de onda

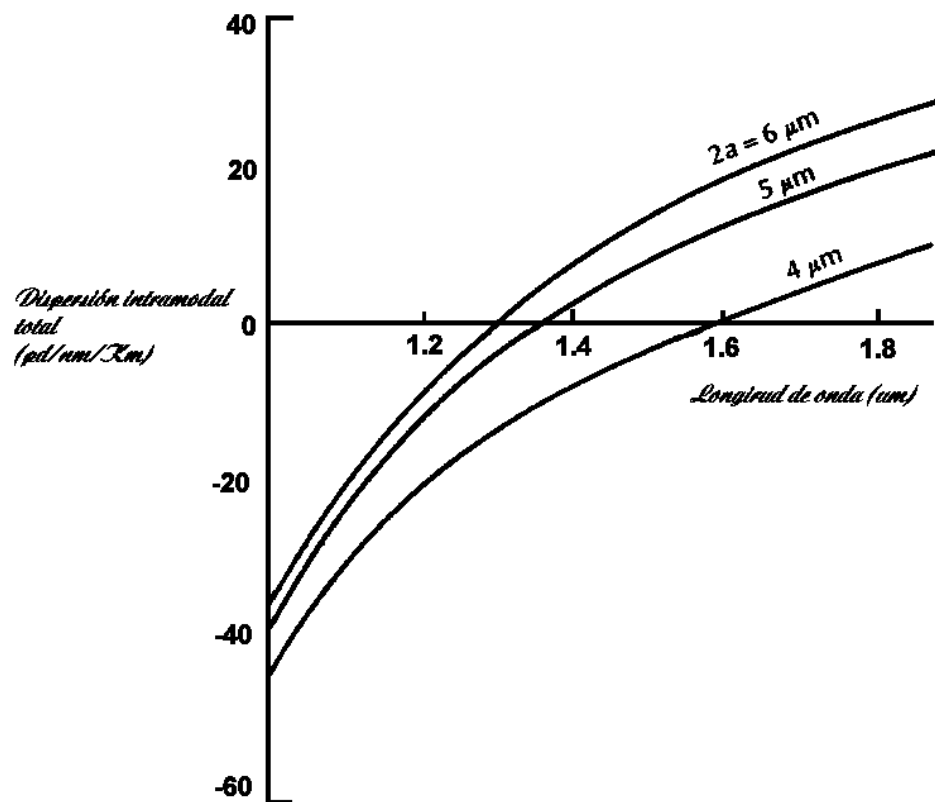


Figura 1.10 Dispersión total contra longitud de onda para fibras de varios diámetros

El efecto de la interacción de la dispersión por material con la de guía de onda sobre  $\lambda_0$  se demuestra también en la característica de dispersión contra longitud de onda para fibras monomodo con centro de sílice mostrada en la figura 1.11. puede notarse que el punto ZMD ocurre a una longitud de onda de  $1.27\mu\text{m}$  pero que la influencia de la dispersión de guía de onda cambia la dispersión total mínima hacia longitudes de onda mayores dando un  $\lambda_0$  de  $1.32\mu\text{m}$ . La longitud de onda a la que la dispersión de primer orden es cero  $\lambda_0$  puede extenderse a longitudes de onda de  $1.55\mu\text{m}$  y mas allá por la combinación de tres técnicas. Estas son:

- Decremento de la frecuencia normalizada (valor de V) para la fibra.
- Incrementando la diferencia del índice refractivo  $\Delta$  para la fibra.
- Dopando adecuadamente el sílice con germanio.

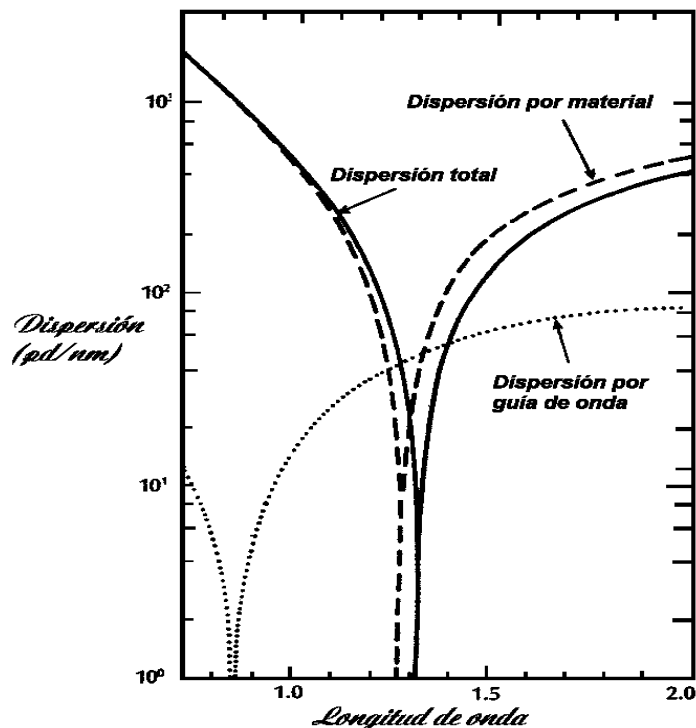


Figura 1.11 Característica de dispersión contra longitud de onda para fibras monomodo

Esto permite productos ancho de banda longitud para fibras monomodo por encima de 100 GHz/km con una leve desventaja por la atenuación aumentada debido a la dispersión Rayleigh dentro de la fibra dopada.

Para fibras monomodo optimizadas para la operación a longitud de onda de  $1.3\mu\text{m}$ , el CCITT recomienda que el máximo valor de la dispersión cromática  $D_t$  no exceda  $3.5\text{ ps/nm Km}$ . en el rango de longitudes de onda de  $1.285$  a  $1.330\mu\text{m}$ . Además, para la misma fibra  $D_t$  debería ser menor que  $20\text{ ps/nm Km}$ . a una longitud de onda de  $1.55$ . Por consiguiente aunque la longitud de onda de dispersión cromática de primer orden cero se llama a menudo longitud de onda de dispersión cero, es más correcto referirse a ella como la longitud de onda de dispersión mínima debido a los efectos significantes de segundo orden.

La variación de la dispersión intramodal con longitud de onda se caracteriza usualmente por el parámetro de dispersión de segundo orden o divergencia de dispersión  $S$  el cual esta expresado

como:

$$S = \frac{dD_T}{d\lambda} = \frac{d^2\tau_g}{d\lambda^2} \quad (1.17)$$

Mientras que el parámetro de dispersión de segundo orden  $D_t$  puede verse relacionado solamente con la segunda derivada de la constante de propagación  $\beta$  con respecto a la frecuencia angular en la ecuación 1.12, la divergencia de dispersión puede mostrarse para relacionarla a la segunda y a la tercera derivada como sigue:

$$S = \frac{(2\pi c)^3}{\lambda^4} \frac{d^3\beta}{d\omega^3} + \frac{4\pi c}{\lambda^3} \frac{d^2\beta}{d\omega^2} \quad (1.18)$$

Podría notarse que aunque hay dispersión de primer orden cero a  $\lambda_0$ , esos efectos cromáticos de orden superior imponen limitaciones sobre los posibles anchos de banda que pueden ser alcanzados con fibras monomodo. Por ejemplo, un límite inferior fundamental para el ensanchamiento del pulso en fibras basadas en sílice de alrededor de  $2.50 \cdot 10^{-2}$  ps/nm Km. es sugerida a una longitud de onda de  $1.273 \mu\text{m}$ . Sin embargo, ellos pueden causar dispersión, especialmente en el caso de tensión mecánica de entre 2 y 40 ps/km. Si se evita la tensión mecánica, la dispersión del pulso alrededor del límite inferior puede obtenerse en la región de longitudes de onda grandes. En contraste el mínimo ensanchamiento del pulso a la longitud de onda de  $0.85 \mu\text{m}$  esta cerca de 100 ps/nm/km.

Un valor importante de la divergencia de dispersión se obtiene a la longitud de onda de mínima dispersión intramodal  $\lambda_0$  tal que:

$$S_0 = S(\lambda_0) \quad (1.19)$$

donde  $S_0$  es llamado la divergencia de dispersión cero, de las ecuaciones 1.11 y 1.17, se determina solamente por la tercera derivada de  $\beta$ . Los valores típicos de la divergencia de la dispersión para fibras monomodo estándar a  $\lambda_0$  están en la región de 0.085 a 0.092 ps/nm<sup>2</sup>km. Además, para tales fibras el CCITT ha recomendado recientemente que  $\lambda_0$  se encuentre en el rango de  $1.295$  a  $1.322 \mu\text{m}$  con  $S_0$  menor que 0.095 ps/nm<sup>2</sup>km. La dispersión cromática total a una longitud de onda



arbitraria puede ser estimada cuando los dos parámetros  $\lambda_0$  y  $S_0$  están especificados de acuerdo a:

$$D_T(\lambda) = \frac{\lambda S_0}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (1.20)$$

### 1.11 Polarización

Las fibras ópticas cilíndricas generalmente no mantienen el estado de polarización de la luz a la entrada por mas de unos pocos metros, por lo tanto para muchas aplicaciones que involucran la transmisión por fibra óptica se utiliza alguna forma de modulación de la intensidad de la fuente óptica. De esa manera la señal óptica es detectada por un fotodiodo el cual no percibe la polarización o fase de la onda de luz dentro de la fibra. No obstante, los sistemas y aplicaciones que han sido investigados podrían requerir los estados de polarización de la luz de entrada para mantenerse en distancias significantes, y por tanto las fibras han sido diseñadas para este propósito. Esas fibras son monomodo y la conservación del estado de la polarización esta descrita en términos de un fenómeno conocido como “doble refracción modal” que podría describirse como el anisotropismo del índice refractivo el cual varia como función de la polarización.

### 1.12 Fenómenos no lineales

Aunque los trabajos iniciales concernientes a los efectos ópticos no lineales usaron centros de fibras multimodo relativamente largos, actualmente tales fenómenos han alcanzado gran importancia dentro del desarrollo de fibras monomodo de bajas perdidas. Los diámetros de centro pequeños, junto con las largas distancias de propagación pueden obtenerse con esas fibras, y han posibilitado la observación de ciertos fenómenos no lineales a niveles de potencia de unos pocos mili vatios; los cuales están bien dentro de la capacidad de láser's semiconductores. La atenuación de la fibra asociada con dispersión no lineal junto con otros procesos no lineales puede ser empleado también en aplicaciones importantes de fibras monomodo.

El interés ha crecido en torno al uso de fibras como un medio de interacción para dispersión Brillouin y Raman así como también la propia modulación de fase y la mezcla de cuatro ondas. El último proceso, sin embargo, requiere al menos dos modos de propagación en regla para satisfacer las condiciones de congruencia de fase asociadas, a menos que esta tome lugar cerca de la longitud de onda de dispersión cromática cero.

Anteriormente se indicó que cuando una onda óptica está dentro de un medio como la fibra los fotones incidentes pueden ser dispersos, produciendo un fonón emitido a frecuencias acústicas por excitación proveniente de la vibración molecular, junto con otro fotón a frecuencia cambiada. En términos de mecánica cuántica este proceso puede ser descrito como la molécula absorbiendo el fotón a la frecuencia original mientras emite un fotón a la frecuencia cambiada y simultáneamente hace la transición entre estados de vibración. El fotón disperso emerge por consiguiente a una frecuencia cambiada por debajo o por encima de la frecuencia del fotón incidente con la diferencia de energía entre los dos fotones siendo depositados o extraídos desde el medio de dispersión. Una frecuencia de fotón cambiada hacia arriba solamente es posible si el material abandona la energía cuántica igual a la diferencia de energía entre el fotón incidente y el dispersado. El material debe estar por tanto en un estado térmicamente excitado antes de que el fotón incidente llegue, y a temperatura ambiente, la intensidad de dispersión cambiada hacia arriba es más débil que una cambiada hacia abajo. La anterior onda dispersa es conocida como la componente Stokes mientras que la más reciente es referida como componente anti-Stokes. En contraste con la dispersión lineal, la cual es indicada para ser elástica porque la onda dispersa tiene la misma frecuencia que la onda incidente, esos procesos no lineales de dispersión son claramente inelásticos. Un esquema del espectro obtenido de esos procesos inelásticos de dispersión se muestra en la figura 1.12. podrá notarse que el esquema representa el espectro de la dispersión espontánea antes que uno estimulado.

El cambio de frecuencia asociado con la dispersión inelástica puede ser pequeña (menor que  $1 \text{ cm}^{-1}$ ), el cual caracteriza la dispersión Brillouin con un fonón de frecuencia acústica. Los cambios de frecuencia grandes (superiores a  $100 \text{ cm}^{-1}$ ) caracterizan el régimen Raman donde el fotón es disperso por la vibración molecular local o por los fonones de frecuencia óptica. Una característica interesante de esos procesos inelásticos de dispersión es que ellos no solamente provocan un cambio de frecuencia sino que para intensidad de incidencia suficientemente alta ellos proveen ganancia óptica a la frecuencia cambiada. La frecuencia óptica incidente se conoce también como frecuencia bomba (pump)  $\omega_p$ , la cual da las componentes Stokes ( $\omega_s$ ) y anti-Stokes ( $\omega_a$ ) de la radiación dispersa. Para una fibra típica, una potencia bomba (pump) cercana a un vatio en 100 m

de fibra produce una ganancia Raman cercana a un factor de 2. En contraste, el pico de la ganancia Brillouin es mayor en más de dos órdenes de magnitud que la ganancia Raman, pero el cambio de la frecuencia Brillouin y la ganancia de ancho de banda es mucho menor. Además, la ganancia Brillouin solamente existe para propagación de la luz en dirección opuesta a la luz pump mientras la amplificación Raman ocurrirá para la propagación de la luz en cualquier dirección.

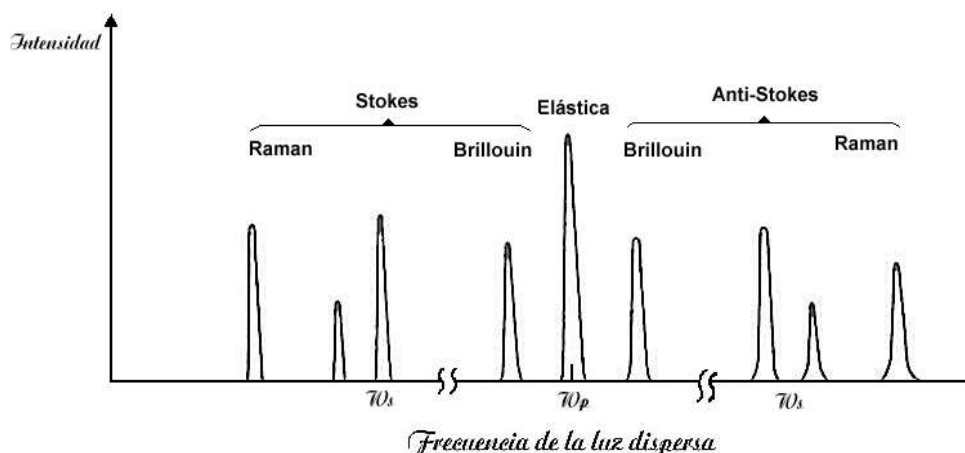


Figura 1.12 Espectro de la dispersión espontánea no estimulada

La ganancia Raman también se extiende sobre un ancho de banda sustancial, como puede observarse en la figura 1.13. por lo tanto, con una fuente pump adecuada, una fibra puede funcionar como un amplificador óptico de relativamente alta ganancia, ancho de banda extendido y bidireccional. Aunque dado su gran pico de ganancia, se puede esperar que la amplificación Brillouin domine sobre la amplificación Raman. Actualmente este no es el caso porque el ancho de banda estrecho asociado con los procesos Brillouin los cuales están a menudo en el rango de 20 a 80 MHz. Fuentes láser semiconductor pulsadas generalmente tienen un ancho de banda de gran extensión y por consiguiente demuestran ser pumps ineficientes para tales espectros estrechos de ganancia.

Los efectos no lineales los cuales pueden ser fácilmente descritos por la intensidad dependiente del índice refractivo de la fibra son referidas comúnmente como alinealidades Kerr. El índice refractivo de un medio resulta de un campo óptico aplicado perturbando los átomos o moléculas de el medio para inducir una polarización oscilante, la cual entonces radia, produciendo un campo global perturbado. A bajas intensidades la polarización es una función lineal del campo aplicado y por consiguiente la perturbación resultante del campo puede ser descrita de una manera realista por un

índice refractivo constante. Sin embargo, a intensidades ópticas altas las perturbaciones no permanecen como funciones lineales del campo aplicado y pueden observarse las alinealidades Kerr. Típicamente, en las regiones de longitudes de onda visible e infrarroja las alinealidades Kerr no muestran una dependencia fuerte sobre la frecuencia de la luz incidente porque la frecuencia resonante de las oscilaciones tiende a estar en la región ultravioleta del espectro.

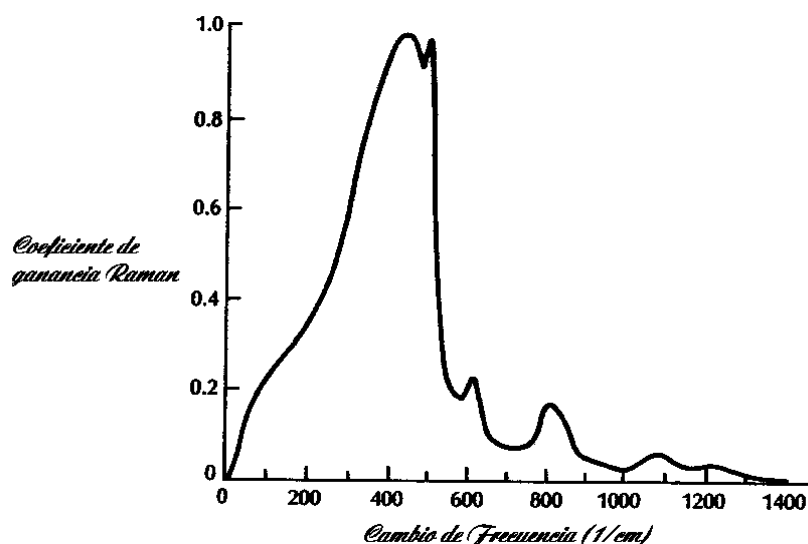


Figura 1.13 Coeficiente de ganancia Raman en función de la frecuencia

La intensidad dependiente del índice refractivo provoca una intensidad dependiente del cambio de fase en la fibra y por consiguiente, para un pulso de luz propagándose por la fibra, las alinealidades Kerr provocan una diferencia de fase en la transmisión para el pico del pulso comparado con los bordes de los pulsos de conducción y rastreo. Este efecto, el cual es conocido como modulación propia de la fase, provoca modificaciones en el espectro del pulso y como la frecuencia instantánea de una onda es el tiempo derivativo de su fase, entonces una variación temporal en la fase produce una variación temporal en la frecuencia; así la modulación propia de fase puede alterar y expandir el espectro de frecuencia del pulso. En adición a la modulación propia de la fase, o la alteración del pulso por el mismo, las alinealidades Kerr le permiten a un pulso ser modificado por otro pulso que puede estar en una polarización diferente o alternativamente solo a un modo diferente de la fibra.

Aunque la modulación propia de fase puede usarse para cambio de frecuencia, esta ha encontrado su mayor aplicación para la compresión del pulso dentro de la transmisión en fibras monomodo; en este contexto la modulación propia de fase efectivamente impone un chirrido, o un barrido de

frecuencia, sobre el pulso, este fenómeno combinado con la dispersión de la velocidad de grupo ocurriendo dentro de la fibra permite pulsos ópticos para ser comprimidos y emplearse, por ejemplo, un par de rallas de difracción en las cuales la longitud de onda superior de la luz viajando en la frontera del pulso sigue un camino mas largo que con la longitud de onda de luz menor en la parte posterior del pulso y por consiguiente, la parte posterior del pulso alcanza la parte frontal del pulso y ocurre la compresión; además, para formas del pulso criticas y a niveles de potencia óptica altos, tal compresión del pulso puede obtenerse en la misma fibra el cual forma parte básica de la propagación llamada Soliton; tales pulsos no lineales pueden propagarse sin ningún cambio dispersivo y por tanto son de gran interés en las comunicaciones, sin embargo, dado que la propagación Soliton es el resultado de un fenómeno no lineal, este es críticamente dependiente de la intensidad del pulso. Desafortunadamente, aun con fibras de bajas perdidas, una propagación Soliton a lo largo de la fibra perderá energía gradualmente y por tanto sus características especiales; no obstante la estrategias para evitar estos inconvenientes están bajo investigación.

## CAPITULO 2

---

### TRANSMISION DE TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA.

#### Introducción

Durante el último cuarto del siglo, la comunicación por fibra óptica se ha aclamado como el mejor método para transmitir video, audio, datos y varias otras señales analógicas, ya que la fibra ofrece muchas ventajas, sobre el par de cable trenzado y el cable coaxial; entre ellas la inmunidad a la interferencia eléctrica y un mayor ancho de banda como se mencionó en el capítulo anterior. Por éstas y muchas otras razones, los sistemas de transmisión por fibra óptica se han integrado cada vez más en una amplia gama de aplicaciones a través de muchas industrias.

Sin embargo, mientras la transmisión por fibra óptica ha mejorado dramáticamente por encima de los estándares obtenidos para los medios de transmisión convencionales basados en cobre, la tecnología de fibra óptica ha continuado usando las mismas técnicas tradicionales de señalización analógicas usadas en sus antecesores de cobre. Ahora, una nueva generación de productos que emplean señalización digital pura para transmitir información analógica ofrecen la oportunidad de elevar el estándar una vez más, trayendo la transmisión por fibra óptica a un nuevo nivel mas completo.

Tradicionalmente existen tres modos de transmisión que pueden ser utilizados para el transporte de una señal banda ancha de televisión en un sistema de fibra óptica: AM, FM y digital. En el modo AM (“Amplitude Modulation”) se transportan portadoras de vídeo AM BLV (AM Banda lateral Vestigial), es decir, en el formato que acepta un receptor TV estándar; ello significa que no es necesario ningún tipo de procesamiento de los canales en los extremos del trayecto óptico. En el modo FM (“Frequency Modulation”) se transportan portadoras de vídeo moduladas en frecuencia, por lo que cada canal requiere un procesamiento especial para la conversión desde/a el formato normal; este modo de transmisión requiere un mayor ancho de banda que en el modo AM.

Sin embargo tecnologías como la Multiplexación por División de Longitud de Onda WDM (Wavelength Division Multiplexing) representan un nuevo acercamiento para la distribución de datos de entretenimiento y educación sobre una urbanización residencial o construcción institucional muy grande. Este acercamiento confía en la modulación directa o externa de un rayo óptico que usa como entrada las señales analógicas de RF (Televisión). Aquí, los componentes deben monitorearse cuidadosamente para minimizar los efectos de la no linealidad producida por el deterioro de la relación señal a ruido (SNR), debido a la mezcla de distorsiones por intermodulación de segundo y tercer orden, las cuales deben permanecer lo suficientemente bajas para no afectar la señal principal. Este requisito impone rigurosas pautas en el comportamiento de moduladores y receptores externos.

En la transmisión Digital, se digitaliza la señal analógica de televisión y se transmite sobre el canal de fibra óptica. Aquí se transportan con modulación QAM ("Quadrature Amplitude Modulation") paquetes MPEG con codificación FEC (Forward Error Correction) añadida; donde la elevada eficiencia espectral, fuerte resistencia a interferencias y gran flexibilidad son sus principales características.

## **2.1. Generalidades sobre la transmisión de señales de Televisión**

### **2.1.1. La señal de televisión**

La señal de televisión es una compleja onda electromagnética de variación de tensión o intensidad, compuesta por:

- 1) Una serie de fluctuaciones correspondientes a las fluctuaciones de la intensidad de luz de los elementos de la imagen a explorar; Las frecuencias de dicha señal oscilan entre 3 y 4 MHz, dependiendo del contenido de la imagen.
- 2) Una serie de impulsos de sincronización que adaptan el receptor a la misma frecuencia de barrido que el transmisor; son picos pequeños de energía eléctrica generados por los correspondientes osciladores en la estación emisora. Estos impulsos controlan la velocidad del barrido horizontal y vertical tanto de la cámara como del receptor.
- 3) Una serie adicional de los denominados impulsos de borrado; anulan el haz de electrones en la cámara y en el receptor durante el tiempo empleado por el haz de electrones en volver desde el final de una línea horizontal hasta el principio de la siguiente, así como desde la parte inferior del esquema vertical hasta la parte superior. La sincronización y estructura de estos impulsos resultan extremadamente complejas.

4) Una señal de frecuencia modulada (FM) que transporta el sonido que acompaña a la imagen.

Los tres primeros elementos conforman la señal de vídeo.

### **2.1.2. El principio de transmisión de Televisión**

El principio de transmisión de TV consiste en dividir en pequeños elementos la imagen a transmitir por medio de un conversor electroóptico, generalmente una cámara, que transforma cada uno de los elementos individuales en señales eléctricas de magnitud proporcional a su brillo, posteriormente esta señal es transmitida en su frecuencia original o modulando una portadora de Radio Frecuencia. Después del procesamiento adecuado en el extremo receptor, la citada información se aplica a otro conversor electroóptico pero a la inversa, y reproduce la distribución de brillo de la imagen original sobre una pantalla.

La sensación de continuidad se consigue con la generación de un determinado número de cuadros por segundo. La imagen a transmitir se divide en un número de líneas que son barridas de izquierda a derecha y de arriba abajo. A tal fin, el haz de barrido es desviado horizontal y verticalmente, haciendo que los haces de lectura y escritura se mantengan en fase, barriendo elementos de imagen que se correspondan entre sí, por medio de *pulsos de sincronismo*.

### **2.1.3. Transmisión del video - Modulación**

Para transmitir más de una señal de televisión (más de un canal) se recurre a la modulación de una portadora para enviar la información. La manera más sencilla y con menor ancho de banda, es la modulación de amplitud con banda lateral única (BLU). Pero en el caso de señales de televisión, al alcanzar frecuencias muy bajas, resulta imposible la eliminación completa de una de las 2 bandas, pues no se consigue un filtro de corte tan abrupto. Por lo tanto se recurre a la modulación con *banda lateral vestigial* (BLV). Según el CCIR, en norma B, se dispone de un ancho de banda de 7MHz y en norma G, de 8MHz (UHF). En la demodulación se recurre al método de frecuencia intermedia, siendo esta de 38.9MHz.

Para conseguir la señal de video modulada en amplitud con banda lateral vestigial, luego de modulada la señal, se filtra la banda lateral inferior hasta un cierto límite (este filtrado de la banda lateral inferior obedece a razones históricas, cuando los filtros existentes se diseñaban así; hoy es posible implementar filtros con idéntica facilidad para filtrar cualquiera de las 2 bandas).



La polaridad de la modulación es negativa, lo que significa que los puntos más brillantes corresponden a valores bajos de amplitud de portadora y los picos de sincronismo a los valores de mayor amplitud de la misma. De esta manera se consigue optimizar el uso del transmisor, requiriendo máxima potencia solo por breves periodos de tiempo.

### 2.1.5. Transmisión del sonido

La señal de sonido se transmite por medio de modulación de frecuencia de una portadora de Radio Frecuencia. La desviación de frecuencia es de 50Khz. En la mayoría de los televisores, para recuperar el sonido se usa el método de interportadora, esto es, a partir de la diferencia entre las portadoras de video y de sonido que es de 5.5MHz. Esta señal es de frecuencia constante y no es afectada por los errores de sintonía o las variaciones del oscilador local.

### 2.1.6 Canales

La emisión de televisión presenta una serie de problemas específicos siendo el principal, el del ancho de banda. Modular una onda electromagnética implica generar una serie de frecuencias denominadas bandas laterales que corresponden a la suma y a la diferencia entre la frecuencia de radio, o portadora, y las frecuencias moduladoras. Esta gama de frecuencias de una sola señal de televisión es de unos 4 MHz.

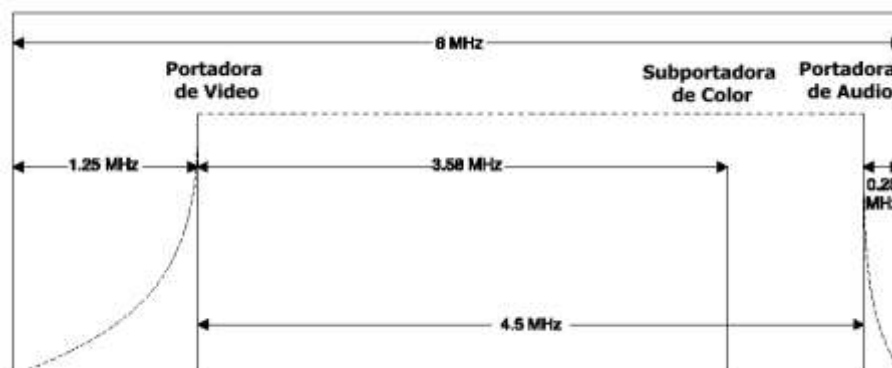


Figura 2.1. Esquema típico de un canal de TV NTSC.

A fin de disponer de un número suficiente de canales para dar cabida a una serie de emisoras de televisión en una misma zona geográfica, es preciso utilizar frecuencias de transmisión relativamente elevadas para las portadoras de televisión. En Estados Unidos, por ejemplo, el número de canales asignados a las emisiones de televisión asciende a 68. Esta cifra se desglosa en 12 canales en la banda de frecuencias muy elevadas (VHF) y 56 en la banda de las ultraelevadas

(UHF).

### **2.1.7. Emisión de alta frecuencia**

Las señales de alta frecuencia poseen un alcance relativamente limitado y a menudo no cubren mucho más de la distancia visible entre estaciones debido a la curvatura de la tierra. Así pues, la zona de servicio de una emisora de televisión está limitada a unos 56 km, dependiendo de la altura de las antenas emisora y receptora, por lo tanto la cobertura total para un país de cierta extensión requiere muchas estaciones repetidoras de televisión con cierta distancia de separación.

Otro problema de la utilización de altas frecuencias para la emisión de televisión consiste en que a dichas frecuencias, las ondas de radio se comportan casi como ondas luminosas y se reflejan en objetos sólidos, como montañas o edificios. A menudo, alguno de estos reflejos de una emisora se captan en un determinado punto de recepción, originando imágenes múltiples en la pantalla del receptor debido a la diferencia de distancias y tiempos de viaje de las señales reflejadas antes de llegar al receptor.

El problema de las señales reflejadas, así como el de la recepción de las señales de televisión a distancias superiores al alcance normal, han quedado resueltos en gran medida a la utilización de antenas receptoras direccionales con una ganancia muy elevada para amplificar señales débiles. La orientación correcta de la antena direccional permite seleccionar una de las señales reflejadas y eliminar las otras, suprimiendo así las imágenes múltiples en un punto concreto.

### **2.1.8. Televisión por satélite**

Además del cable y las estaciones repetidoras terrestres, el satélite artificial constituye otro medio de transmisión de señales a grandes distancias. Un repetidor de microondas en un satélite retransmite la señal a una estación receptora terrestre, que se encarga de distribuirla a nivel local.

Desde el punto de vista de la transmisión, la comunicación vía satélite presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Posibilidad de efectuar transmisiones de televisión punto a punto de larga distancia.
- ✓ Amplia cobertura para la radiodifusión de televisión.
- ✓ Posibilidad de llegar a lugares muy remotos, económicamente difíciles de alcanzar con otros medios de comunicación.
- ✓ Posibilidad de recibir transmisiones en vivo desde distintos lugares del planeta.

Los problemas principales de los satélites de comunicaciones para la transmisión son la distorsión y el debilitamiento de la señal al atravesar la atmósfera, además al tratarse de distancias tan grandes se producen retrasos, que a veces originan ecos, por lo cual ciertos satélites repetidores de televisión actualmente en órbita están concebidos para retransmitir señales de una estación comercial a otra.

### 2.1.9 Sistemas de Transmisión de Televisión

Desde la introducción de la teledifusión en color, primero en E.U. y después en Europa, se han establecido normas técnicas para la transmisión que fueron determinadas por la frecuencia de suministro eléctrico en los distintos continentes. Sin embargo, surgieron otras diferencias durante el desarrollo de la teledifusión en color, con el desafortunado resultado de que no hay una norma internacional única. Aun más, los estándares existentes (formatos PAL, SECAM, NTSC) son incompatibles entre sí.

No conviene tratar aquí tales formatos de transmisión, por no ser objetivo del documento, El lector podrá leer mas sobre televisión estándar en otros libros especializados<sup>14</sup>.

#### 2.1.10. Parámetros a considerar en la transmisión de señales de video

Hay tres conceptos importantes que son aplicados a cualquier sistema de transmisión de video, y cada uno de estos parámetros tiene un gran impacto en la calidad de funcionamiento del sistema.

✓ **Relación señal a Ruido (S/N):** Define la habilidad del sistema de mantener la claridad y un buen detalle o resolución contenida dentro de la imagen de video. Se expresa en decibeles (dB). Como esta es la relación entre el nivel de la señal de video y el nivel de ruido eléctrico introducido por el enlace de transmisión, el mayor nivel de la relación S/N representa un mejor funcionamiento del sistema de transmisión.

✓ **Ganancia Diferencial:** Define la fidelidad o exactitud del nivel de contraste del video, desde el negro hasta el blanco, y es expresado como el porcentaje de desviación o de error en amplitud de cambio en el nivel de la señal de video, con el mas bajo valor de porcentaje indicando el mejor funcionamiento.

✓ **Fase Diferencial:** Define la fidelidad o exactitud del color de la imagen de video. Por ejemplo, los tonos de la piel son particularmente difíciles de mantener exactamente en un sistema de televisión; un sistema capaz de ofrecer un funcionamiento de fase diferencial bueno proveerá un acertado rendimiento del color de la imagen. La fase diferencial esta expresada en grados eléctricos, donde los valores más bajos corresponden al mejor funcionamiento.

Estos y otros parámetros técnicos menos significativos son definidos por el estándar de la EIA/TIA (Electronics Industry Association/Televisión Industry Association) conocido como el EIA/TIA RS-250C.

#### 2.1.11. El estándar RS-250C

Este estándar describe los requerimientos técnicos para la transmisión de televisión en color, independientemente del medio; es decir el estándar RS-250C es aplicable como el método de transmisión de video para enlaces vía satélite, cable coaxial, microondas, fibra óptica, etc. Este es el estándar mas seguido por los fabricantes de productos para transmisión de video y televisión sobre fibra óptica, con el fin de cumplir los requerimientos de calidad y desempeño exigidos por el consumidor.

El estándar RS-250C esta dividido en tres categorías: transmisión de larga, mediana y corta Distancia.

##### ✓ **RS-250C Transmisión sobre distancias largas.**

Fue originalmente creada para establecer los requerimientos de transmisión para las redes de difusión de televisión sobre largas distancias en enlaces de cable coaxial y microondas. Se caracteriza por una relación S/N de 54 a 59 dB, fase diferencial máxima de 2.5 grados y ganancia diferencial máxima de 8%, y es capaz de proveer una transmisión de video de buena calidad a unos costos bajos en los equipos. Esta especificación es ampliamente utilizada dentro del mercado de la seguridad industrial, especialmente en aplicaciones de CCTV para vigilancia.

##### ✓ **RS-250C Transmisión sobre distancias Medias.**

Esta especificación fue creada para controlar los requerimientos de transmisión de video sobre distancias típicas de 20 o 30 millas. Es una especificación mas estricta en comparación a la especificación para largas distancias y se caracteriza por una relación S/N de 60 a 67 dB, fase

---

<sup>14</sup> Algunos libros como “Radio and television engineers' reference book” de J. P. Hawker y “Fundamentals of television engineering” de Glenn M. Gasford tratan de forma mas detalla el tema de la televisión.

diferencial máxima de 1,3 y ganancia diferencial máxima de 5%. Esta especificación es ampliamente usada en la comunidad de los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS) muy probablemente debido a la similaridad en distancias de transmisión, la alta calidad de transmisión del video lograda con unos equipos de costos razonables. También es usado en CCTV para vigilancia en aplicaciones de seguridad industrial de alta capacidad.

✓ **RS-250C Transmisión sobre distancias Cortas.**

Define estrictamente los requisitos de transmisión de video dentro de estudios de difusión o producción de televisión y es una verdadera especificación de la calidad en la transmisión de video. No fue posible lograr costos razonables hasta la reciente introducción de equipos de transmisión de video digitalmente codificado sobre fibra óptica, la especificación RS-250C para cortas distancias proporciona el más alto nivel de rendimiento posible en la transmisión de video y es caracterizada por una relación S/N mayor que 67 dB; una fase diferencial de 0.7 grados o mejor; y una ganancia diferencial de 2%, como máximo. Los equipos que cumplen esta norma están a la vanguardia en cuanto a calidad y desempeño de la transmisión de video sobre fibra óptica, se refiere. Adicionalmente, hasta la introducción de equipos de transmisión de video digitalmente sobre fibra óptica, era sumamente difícil lograr un desempeño de acuerdo al RS-250C para cortas distancias en un sistema capaz de despliegue en ambientes difíciles como los son las orillas de las carreteras o los ambientes externos a la planta física de las instalaciones.

## **2.2. Transmisión de Televisión sobre fibra óptica**

Como ya se dijo, la utilización de la fibra óptica como medio para distribuir señales de Televisión, ha subido de una manera impresionante en los últimos años, debido a las características que este medio presenta frente a la transmisión por otros medios. Siendo los principales impulsores de las tecnologías de transmisión de video sobre fibra óptica, los sistemas de CATV y CCTV para aplicaciones de seguridad que tradicionalmente han usado cable coaxial en sus redes de distribución, y que hoy día están migrando al cable de fibra óptica. Los nuevos proveedores de CATV instalan redes de fibra óptica, mientras que los ya existentes realizan la expansión de sus redes en fibra óptica conformando las que se han llamado redes híbridas (coaxial/fibra), para las cuales también se han hecho una serie de estudios para permitir la compatibilidad entre los dos medios. También los sistemas de CCTV (ya sean de seguridad, o educativos) de las corporaciones también han encontrado en la fibra el medio ideal para sus fines.

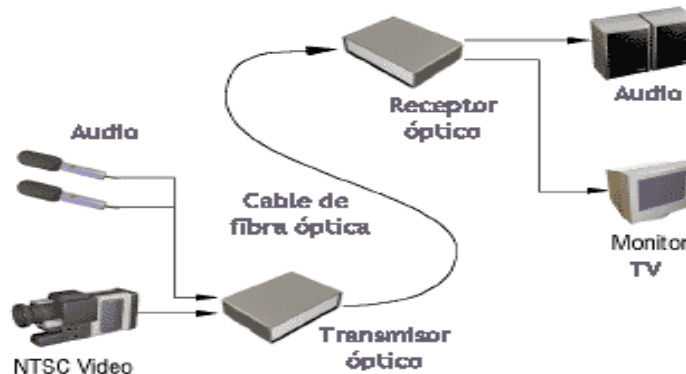


Figura 2.2. Montaje típico de un sistema de transmisión de televisión sobre fibra óptica.

Los fabricantes de equipos para esta clase de sistemas de transmisión de televisión en un sistema de fibra óptica, actualmente venden productos en los cuales emplean 3 modos de transmisión: transmisión analógica AM, FM y transmisión digital. Sin embargo la aparición de nuevas tecnologías como WDM o SCM representan una nueva alternativa para los sistemas de Transmisión de Televisión de gran cobertura y capacidad (de canales) debido al mejor uso que se da al medio.

### 2.2.1. Transmisión analógica sobre fibra óptica

Actualmente, la transmisión de señales analógicas de video sobre cable coaxial permiten alcanzar longitudes relativamente largas, debido a que estas señales de video analógico sólo tienen un ancho de banda de aproximadamente 4.5 MHz, por lo que la limitada capacidad del ancho de banda del cable coaxial no es gran problema. Así mismo al transmitir video analógico sobre fibra óptica, se dispone de una gran ancho de banda que permite la formación de redes de distribución de televisión (CATV, CCTV, etc.) de mayor capacidad de distribución y mayor área de cobertura.



Figura 2.3. Principio de funcionamiento de la transmisión sobre fibra óptica

Los sistemas de transmisión sobre una fibra óptica analógica se venden en versiones FM y AM. En

ambos tipos de sistemas, el transmisor óptico aloja en una señal analógica, señales de video banda base, audio o datos y las convierte a una señal óptica (has de luz). En este punto, los sistemas presentan diferencias en cuanto a la forma de modulación (AM o FM) y por lo tanto en el comportamiento de las señales transmitidas. En el lado del Receptor óptico se recuperan las señales de video banda base, audio o datos a partir de la señal óptica recuperada (figura 2.3).

### **2.2.1.1. Modulación de amplitud AM**

En un sistema AM (modulación de amplitud), la señal óptica se genera como un rayo de luz que varía en intensidad con respecto a las variaciones en la señal analógica (eléctrica) entrante original donde un diodo emisor de luz (LED) o un diodo láser sirve como fuente de la señal óptica. Infortunadamente, los LEDs y los diodos láser son dispositivos no lineales, lo que significa que es difícil controlar la luminosidad de su luz en forma continua controlada, desde completamente apagado hasta completamente encendido, con todas las variaciones entre ellas. Sin embargo, en un sistema AM, así es como se usan, por lo cual siempre se presentan varias distorsiones a la señal transmitida, tales como:

- Degradación de la relación señal a ruido, o SNR, a medida que la longitud del cable de fibra óptica aumenta.
- Ganancia diferencial No lineal y errores de fase de las señales de video.
- Escaso rango dinámico de las señales de audio.

La transmisión de video en AM se usa ampliamente dentro del mercado de la seguridad industrial para pequeñas y medias aplicaciones de seguridad y CCTV para vigilancia. Es bueno para la transmisión a cortas distancias y el sistema es capaz de proporcionar una calidad de video bastante buena y casi invariablemente de la calidad del RS-250C para transmisión de largas distancias.

Sin embargo, los equipos para transmisión de video en AM sólo están disponibles para fibra tipo multimodo que opere a una longitud de onda de 850nm, lo que limita la distancia máxima de transmisión utilizable. Más significativamente, es que la relación S/N en un sistema basado en AM se degrada linealmente a 2 dB por cada 1 dB de pérdidas por ruta óptica (figura 2.4), por lo tanto la calidad aceptable de transmisión de video sólo puede obtenerse para distancias relativamente cortas del cable de fibra óptica.

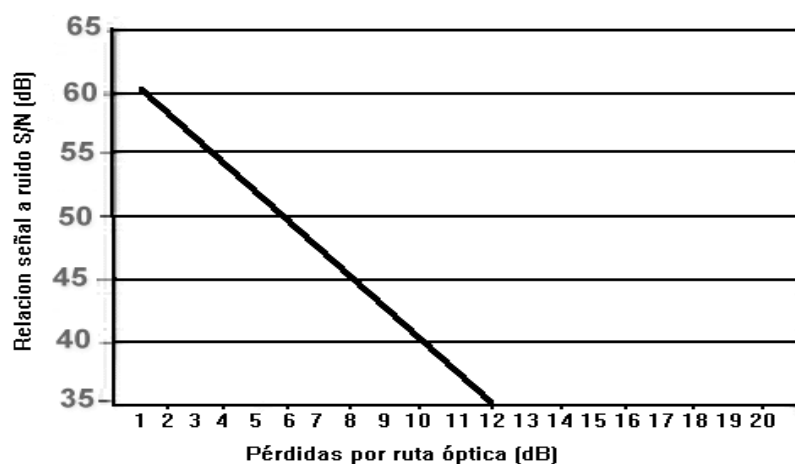


Figura 2.4. Comportamiento típico de la relación S/N sobre un enlace AM de video sobre fibra óptica

Los equipos de algunos fabricantes pueden requerir ajustes de ganancia del receptor durante la configuración inicial del equipo y pueden complicar el proceso de instalación. Por último, los productos AM no soportan los requerimientos de transmisión de video del RS-250C para Medias o Cortas distancias exigidos por las aplicaciones de seguridad industriales de hoy.

### 2.2.1.2. Modulación de Frecuencia FM

En un esfuerzo por mejorar el desempeño de los sistemas de transmisión AM basados en fibra óptica, se introducen las técnicas de FM. En estos sistemas, la señal es transmitida por la pulsación (encendido y apagado) de los LED's o diodos láser, con una velocidad de pulsación que varía con respecto a la señal entrante original.

Para quien esta familiarizado con la transmisión FM sobre otros medios diferentes a la fibra, el término "FM" puede ser un poco confuso, debido a que FM (Modulación de Frecuencia) podría interpretarse, dentro del contexto de la fibra óptica, como el resultado de que la señal es transmitida modulando la frecuencia de la luz por si misma, lo cual no es el caso, ya que un nombre más exacto para este tipo de sistemas es PPM (Modulación por Posición de Pulso), sin embargo, "FM" (y no "PPM") es el nombre asociado con estos tipos de sistemas en la industria. Simplemente hay que recordar que la frecuencia se refiere a la frecuencia de los pulsos en lugar de la frecuencia de la propia luz.

Un beneficio muy significativo de los sistemas FM es la aparente mejora en la relación señal a ruido S/N. Generalmente, la amplia desviación en frecuencia es el mayor contribuyente a la mejora de



S/N, por ejemplo, los moduladores FM proveen una mejora de mas de 20 dB en S/N y los moduladores de banda ancha proveen mejoras sobre 30. Esto se traduce en capacidad para proveer sistemas de fibra óptica multicanal sobre 50 Km entre terminales mientras se mantiene constante la relación S/N en 50 dB, lo cual resulta virtualmente imposible, técnica o económicamente, con otra técnica de transporte.

Mientras los sistemas de transmisión FM eliminan muchos de los problemas encontrados en los sistemas AM, que son el resultado de la dificultad en el control de la variación en el nivel de luminosidad de la luz que emana del diodo, los sistemas FM presentan sus propios problemas.

#### *Problemas de la modulación FM.*

Una distorsión común en los sistemas de FM se llama el *crosstalk* que ocurre cuando se transmiten múltiples portadoras de FM sobre una sola fibra óptica, como cuando se usa un multiplexor. El crosstalk se origina dentro de la unidad transmisora o receptora y es el resultado de una tendencia a la alineación de circuitos de filtrado críticos diseñados para mantener a cada portadora separada de las demás y cuando los filtros no funcionan apropiadamente, se presenta la interferencia entre portadoras y por tanto la distorsión de la señal. Los ingenieros de fibra óptica pueden diseñar sistemas de FM que minimizan la probabilidad de ocurrencia del crosstalk, pero cualquier mejora en el diseño también significa un aumento en el precio de los productos.

Otro tipo de distorsión se llama *intermodulación*. Como el crosstalk, este problema, ocurre en sistemas diseñados para transmitir señales múltiples sobre una sola fibra. Sin embargo, mientras el crosstalk normalmente ocurre sólo entre señales semejantes, como dos señales de video, la intermodulación puede ocurrir entre señales de diferentes tipos, como video y audio, o video y datos. La intermodulación se origina en la unidad transmisora y es, a menudo, el resultado de la no linealidad presente en un circuito común a las portadoras de FM, con lo cual dos (o más) señales entrantes interfieren entre sí antes de combinarse en una sola señal óptica, causando una reducción en la fidelidad de la señal óptica transmitida.

La transmisión de video en FM se usa ampliamente dentro del mercado de seguridad industriales y los sistemas de transporte inteligentes y proporciona un funcionamiento de la transmisión de video muy alta, que normalmente cumple con el estándar de calidad RS-250C para distancias medias y a costos razonables. Al contrario de los equipos AM, los productos FM están disponibles para uso en fibra multimodo o monomodo de 1300 nm, así como para fibra monomodo de 1550 nm y es comúnmente usado para distancias de transmisión de hasta 66 km (42 millas).

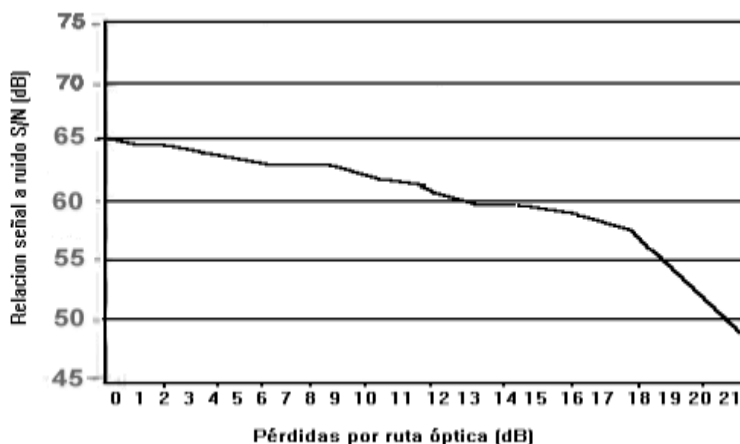


Figura 2.5. Comportamiento típico de la relación S/N sobre un enlace FM de video sobre fibra óptica

Generalmente estos equipos no requieren de ajustes por el usuario por lo cual se facilita la instalación. Aunque la FM puede proporcionar una calidad de transmisión alta, la relación S/N se degrada rápidamente en los niveles más altos de atenuación óptica o en cables de fibra óptica más largos y la interrelación entre la relación S/N vs. la atenuación óptica no es lineal, por lo que el comportamiento no es totalmente predecible o constante ( figura 2.5).

Adicionalmente, la calidad de Transmisión RS-250C para Cortas distancias es muy difícil de lograr con sistemas basados en FM, y el transmisor y receptor FM de video pueden ser susceptibles a la interferencia electromagnética y de frecuencias de radio de fuentes externas, como los teléfonos celulares, etc.

### 2.2.1.3. Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)

Aunque, las nuevas técnicas de transmisión de video en forma digital, estaban desplazando a la transmisión analógica de video, el surgimiento de WDM Y DWDM han permitido que la tecnología analógica no desaparezca totalmente, sino que por el contrario se ven nuevas y mejores alternativas para la distribución de video analógico sobre redes de fibra óptica.

En esta técnica de multiplexación, los diferentes canales (analógicos o digitales) que hay que transmitir, modulan, cada uno de ellos a una portadora óptica de longitud de onda diferente. La banda óptica total, compuesta por la suma de todas ellas se transmite por un enlace o sistema de distribución de fibra. En recepción para acceder a un canal hay que seleccionar su banda óptica,

rechazando las demás.

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM) se ha consolidado de forma indiscutible a lo largo de la presente década como la tecnología en la que se basarán los sistemas de transmisión de comunicaciones ópticas multicanal de banda ancha, como los sistemas de distribución de Televisión, que se instalarán a corto y medio plazo. Las razones son múltiples, pero cabe destacar como más importantes:

- a) Facilidad para implementar sistemas y redes modulares y escalables.
- b) Ancho de banda disponible prácticamente ilimitado.
- c) Empleo de componentes disponibles de forma comercial, casi en su práctica totalidad
- d) Posibilidad de combinación con otros esquemas de multiplexación eléctricos y ópticos.
- e) Posibilidad de transmisión de velocidades de hasta 40 Gb/s por cada longitud de onda.

Fruto de la consolidación incuestionable de esta técnica es la normalización a que ha sido sujeta la banda de comunicaciones ópticas en su tercera ventana para su empleo en productos comerciales por parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU). En la figura 2.6a se describe el plan de frecuencias propuesto en la recomendación ITU G.mcs.

La normativa contempla el empleo de canales digitales a 2.5, 5 10 y 20 Gb/s para modular a cada portadora óptica. En principio se contempla el empleo de sistemas de 8 y 16 longitudes de onda, para pasar posteriormente a sistemas de 32 y 64 portadoras ópticas. El espaciado entre canales puede ser tan grande como 200 GHz y tan pequeño como 50 GHz, pasando por un valor intermedio de 100 GHz que es el que se muestra en la figura 2.6a.

A pesar de las muchas ventajas digitales que daban por segura una desaparición de la transmisión analógica, la transmisión analógica multicanal sobre fibra óptica ha retomado fuerza con WDM. El mercado de la CATV está consumiendo grandes cantidades de enlaces analógicos multicanal VSB/AM, ya que estos enlaces transportan hasta 110 canales de televisión analógica por la longitud de onda sobre distancias que exceden los 60 km a costos por canal mas bajos que cualquier otra tecnología competente. A pesar del uso extendido de los enlaces de fibra óptica multicanal analógicos se deben considerar cuidadosamente muchos factores y deben analizarse para utilizar exitosamente dichos enlaces.

Esta tecnología esta popularizando la transmisión de video y audio de alta calidad sobre sistemas de fibra óptica en las redes de telecomunicaciones modernas. Los terminales de transmisión ópticos comercialmente están disponibles con tasas de datos de 1 Gb/s así como los codecs de video sin

comprimir con 10-bit de exactitud de muestreo digital y tasas de muestreo de mas de 17 MHz. Esto produce canales de video con anchos de banda de 7.5 MHz o mayor; relaciones señal a ruido del orden de 70 dB; y una ganancia de diferencial de color y de fase menor al 1 por ciento y 1 grado respectivamente.

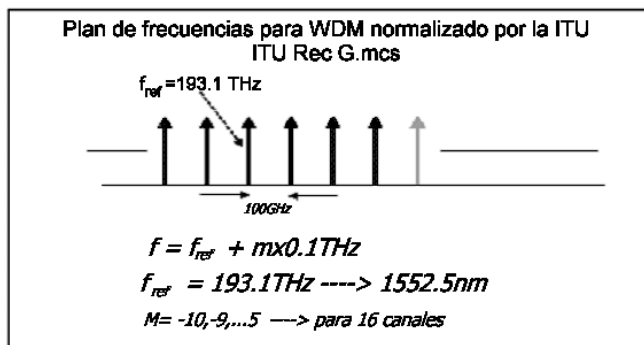


Figura 2.6a. Plan de frecuencias para WDM normalizado por la ITU

Este alto funcionamiento de los codecs de video requieren una tasa de datos por canal digital de 194 Mb/s y una tasa terminal de transmisión óptica de 1.5 Gb/s para transportar, por ej, ocho canales de video en una fibra (8 x 194 Mb/s), o mejor aun, ocho canales de video por longitud de onda óptica. Mientras esta capacidad por canal es satisfactoria para la mayoría de las aplicaciones de difusión de televisión, hay una necesidad ocasional por capacidad de canal adicional por fibra, particularmente en instalaciones donde la disponibilidad de fibra es limitada. Es práctico y conveniente emplear multiplexación por división de longitud de onda óptica (WDM) para doblar la capacidad de una sola fibra a 16 canales de 7.5 MHz de video de 10 bits o a 32 canales de 5.2 MHz, de video de 8-bit, o cualquier combinación entre 16 y 32 canales de 8 y 10 bits. WDM puede usarse para la transmisión unidireccional o bidireccional en una sola fibra, y actualmente hay numerosas instalaciones desplegadas con terminales WDM.

#### 2.2.1.4. Multiplexación por División de Subportadora (SCM)

Es una tecnología en la cual es preponderante los sistemas de distribución de televisión y en especial la CATV, aunque es más que previsible su extensión inmediata a aplicaciones de radio sobre fibra y, en concreto a telefonía móvil celular en los próximos años, debido a su comportamiento en cuanto a la relación S/N.

En la Multiplexación por División de Subportadora (SCM) los canales de información (analógicos o digitales) que se desean transmitir, modulan cada uno de ellos a una subportadora eléctrica de RF diferente. La información completa se agrupa (todavía en el dominio eléctrico) para formar una banda compuesta y esta señal modula, directamente o externamente, a una portadora óptica generada por un transmisor óptico (que incluye un láser de semiconductor) que envía la información al enlace o red de distribución de fibra. Una vez que la señal óptica llega a su destino, la detección elimina la portadora óptica, quedando la banda compuesta en la parte electrónica del receptor. El canal deseado se selecciona empleando cualquiera de los métodos tradicionales de demodulación de señales de RF.

En la figura 2.6b se muestra esquemáticamente un plan de frecuencias con sus parámetros más significativos y valores típicos, tanto para USA como para Europa.

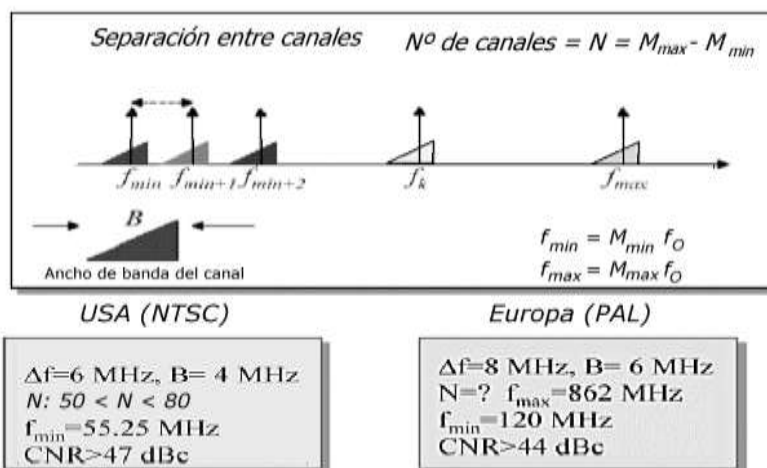


Figura 2.6b. Plan de frecuencias para SCM para USA y EUROPA

### 2.2.2. Transmisión digital sobre fibra óptica

Actualmente existen varias formas para transmitir televisión en forma digital sobre fibra óptica; se pueden usar métodos de codificación que permitan enviar la señal directamente sobre la fibra sin la necesidad de emplear la arquitectura de red existente, o por el contrario, se pueden usar tecnologías que basan el transporte de video y televisión en los recursos ofrecidos por los niveles de transporte de las diferentes arquitecturas LAN de alta velocidad e Internet.

### 2.2.2.1. Transmisión de Video Digitalmente codificado sobre fibra óptica

La última generación de equipos para la transmisión de video sobre fibra óptica emplean la codificación digital de la señal de video banda base analógica entrante (desde la cámara de CCTV) vía un conversor analógico a digital interno o CODEC (codificador/decodificador) dentro de la unidad transmisora óptica. Esta señal digitalizada modula un emisor LED o láser, se transmite ópticamente a través de la fibra óptica hasta la unidad receptora, donde la señal previamente digitalizada se convierte otra vez a una señal analógica de video banda base por un conversor digital a analógico.

#### ✓ Sistemas digitales de fibra.

Como en un sistema de fibra basado en señales analógicas, los transmisores en los sistemas digitales captan señales de video banda base, audio y datos, y los receptores entregan éstas señales en su formato original. La "diferencia digital" ocurre en cómo las señales se procesan y se transmiten entre el transmisor y el receptor.

En un sistema digital puro, las señales banda base entrantes inmediatamente se pasan a través de un conversor analógico a digital dentro del transmisor. Lo que convierte la señal o señales entrantes a una serie de 1's y 0's (Figura 2.7), llamado "flujo digital". Entonces, si más de una señal se ha procesado, el transmisor combina todos estos flujos digitales resultantes en un solo flujo digital. Dicho flujo combinado es generado mediante el encendido y apagado del diodo emisor a una velocidad muy alta, correspondiente a los 1's y 0's a transmitir.

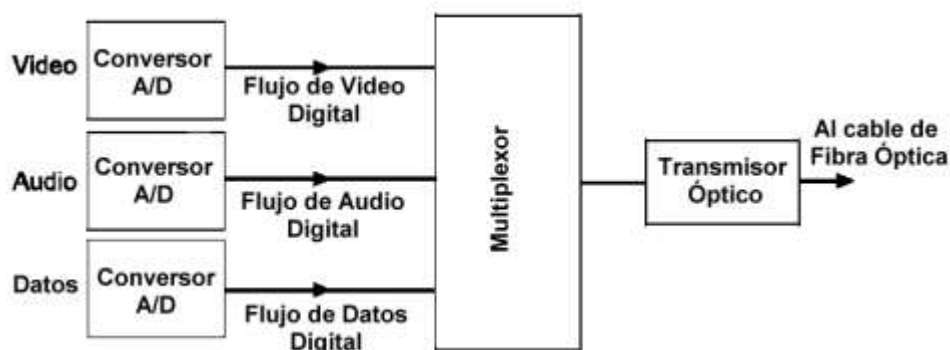


Figura 2.7. Transmisión de señales analógicas en forma digital.

En el extremo receptor, el proceso realizado por el transmisor se invierte, como se muestra en Figura 2.8. El flujo combinado de bits es separado en múltiples flujos de bits, representando cada

uno, una de cada una de las señales transmitidas. Entonces, éstos se pasan a través de un conversor digital a analógico, y el receptor entrega señales de video, audio y datos en el mismo formato analógico en el que las señales se originaron.

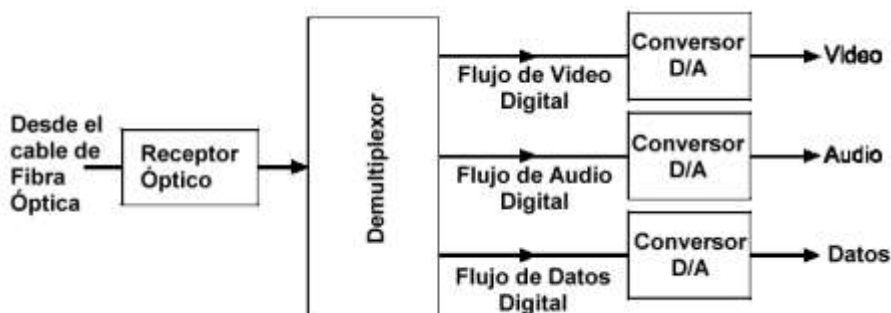


Figura 2.8. Recepción de señales analógicas en forma digital.

Como tal, este sistema es eléctricamente transparente desde la entrada de video del transmisor óptico, a través de la fibra, a la salida de video del receptor óptico, y es directamente compatible con cualquier cámara de TV NTSC, PAL, o SECAM disponible.

Cuando se habla de equipos de transmisión de video digitalmente codificado, la figura de mérito a ser considerado para la evaluación del producto es el número de bits utilizados por el sistema. El número de bits define el rango dinámico eléctrico del sistema y la relación S/N de extremo a extremo y determina el impacto en el comportamiento de la transmisión del video (figura 2.9). Cualquier sistema de 6 bits de resolución es considerado técnicamente inferior y puede esperarse que semejante sistema ofrezca imágenes por medio de componentes muy complejos y cierta degradación del video.

Por esta razón, el número mínimo de bits que deben utilizarse dentro de un sistema de transmisión de video digital es 8. Una resolución o codificación de 8 bits, proporcionará una calidad de transmisión de video que perfectamente cumple con los requisitos del RS-250C para distancias medias, y una codificación de 10 bits habilitará un funcionamiento que excede todos los requisitos del RS-250C para transmisión a cortas distancias, y aun hasta puede superar la verdadera calidad del video de difusión.

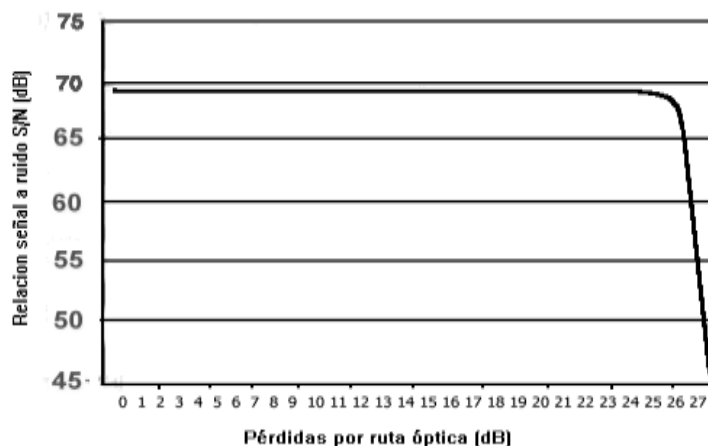


Figura 2.9. Comportamiento típico de la relación S/N sobre un enlace digital de video sobre fibra óptica

En esta técnica de transmisión, no se utiliza ningún tipo de compresión del video en los equipos, por lo cual, la transmisión del video es en tiempo real y con cero latencia, a una proporción de cuadros estándar de 30 cuadros por segundo, y con ningún artificio de pixelización u otros artificios en la señal de video que frecuentemente se asocian con los sistemas de video comprimidos como wavelet, T-1, M-JPEG, o MPEG-1.

Una vez la señal de video se digitaliza, el ancho de banda de la señal digital es mucho más grande. Una señal de video NTSC normal típicamente requiere de una tasa de bits serial de 143.2 Mb/s. La alta capacidad exigida por las normas de HDTV, como la norma SMPTE, requiere de una tasa de bits serial de 1485 Mb/s. En la transmisión de video se pueden usar algoritmos de compresión que reducen el ancho de banda en proporciones de 10 a 1 o incluso 100 a 1. Como, ciertamente, es el caso de las aplicaciones para distribución de señales digitales a gran escala donde se hace necesario el uso de unas altas tasas de compresión. Sin embargo, se observan objetos visuales perturbantes en señales NTSC normales digitalizadas que se han comprimido a una tasa de datos DS-3, una relación de compresión de sólo 4 a 1. Por lo cual para aplicaciones de video en tiempo real y donde la calidad de la imagen es muy importante, muchas veces, solo se usa un algoritmo de compresión de *lossless* que puede lograr sólo una relación de compresión de 2 a 1, así las tasas de transmisión de datos en serie todavía serán bastante altas.



**2.2.2.2. Formatos de video digitalizado y tasas de datos**

En el transcurso de los últimos años se han elaborado muchos estándares, de los cuales varios se han abandonado y varios más están ahora bajo consideración. La tabla 2.1 muestra algunas de las normas actuales más importantes.

Estándar	Tasa de datos	Word rate	Tasa de datos serial de 10-Bit
NTSC	14.318 MHz	14.318 M/s	143.18 Mb/s
PAL(4 f <sub>sc</sub> )	17.7 MHz	17.7 M/s	177 Mb/s
SMPTE 259 (4:2:2)	13.5 MHz	27 M/s	270 Mb/s
CCIR 656	13.5 MHz	27 M/s	270 Mb/s
EU95	72 MHz	144 M/s	1440 Mb/s
SMPTE HDTV	74.25 MHz	148.5 M/s	1485 Mb/s

Tabla 2.1. Formatos del Video Digital.

De las normas listadas, los primeros cuatros son actualmente los más activos. El EU95, una norma de HDTV digitalizada, es el enfoque de varias comunidades europeas realizadoras de programas.

Todas las normas listadas en la tabla 2.1 describen el proceso de conversión de una señal de video analógica a una señal digitalizada. Las normas describen la escala de factores, formato de las palabras y la estructura de los datos globales. Estas normas no describen cómo serializar los datos o como enviarlo sobre el cable coaxial o la fibra. El primer esfuerzo a esta definición está en el estándar SMPTE T14.224, “la Interfaz Digital Serial“ para componentes de 10-bit 4:2:2 y señales digitales NTCS 4f SC”.

En la industria de la transmisión muchos fabricantes producen equipos que trabajan con la norma SMPTE T14.224. Produciendo enlaces de fibra óptica compatible con el T14.224 se permite que el cliente pueda cambiar fácilmente entre cobre y fibra, facilitando así la integración de la fibra óptica a las tradicionales redes de distribución de televisión de cable coaxial. La Figura 2.10 muestra una comparación del ancho de banda de un cable coaxial típico y los cables de fibra óptica, se ve la respuesta en frecuencia del cable coaxial, fibra multimodo y fibra monomodo.

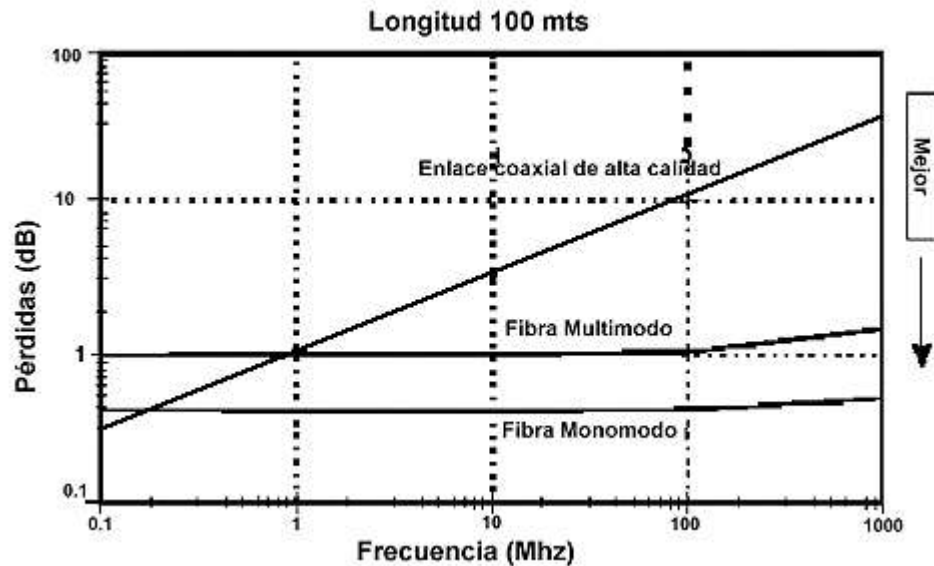


Figura 2.10 - Comparación del ancho de banda del cable coaxial y la fibra.

### 2.2.2.3. Ventajas de los Sistemas Digitales de fibra

El proceso digital puro ofrece muchas ventajas sobre los tradicionales sistemas de AM y FM, que van desde un mejor funcionamiento y flexibilidad del sistema, hasta unos bajos costos de instalación. Examinemos algunos de éstos en detalle y discutamos los beneficios directos para el instalador del sistema y el usuario del mismo.

#### ✓ Coherencia en el funcionamiento

Al contrario de los sistemas de AM y FM, la transmisión digital pura garantiza que la fidelidad, de las señales de video banda base, audio y los datos, permanecerá constante a lo largo del presupuesto óptico total disponible para el sistema, cuando se transmiten una o múltiples señales a través de la fibra, sobre cortas o largas distancias (hasta la distancia más larga permitida por el sistema). Éste es un atributo de la "tecnología digital" y simplemente no puede ser igualado por sistemas analógicos.

En sistemas convencionales, la potencia de la señal en el extremo receptor es función de cuan lejos la señal se ha transmitido, y también, al combinarse múltiples señales, como video y audio, se produce una desmejora en las especificaciones de funcionamiento globales del sistema.

Similarmente, los sistemas analógicos de múltiples canales, tales como una portadora que lleva cuatro canales de video o audio, puede restringir el ancho de banda asignado a cada señal con el fin

de acomodar todas las demás señales a ser transmitidas o el multiplexor puede agregar una portadora óptica adicional para apoyar todos los canales aumentando así el costo del sistema. En un sistema digital, ninguno de estos arreglos es necesario, si se envía uno o cuatro señales sobre una sola fibra, la fidelidad de cada señal se conserva.

✓ **Baja distorsión de señal**

Como se dijo antes, la transmisión AM y FM están sujetas a una variedad de problemas de distorsión de la señal, los cuales ocurren en varios puntos a lo largo del proceso de transmisión como resultado de la tecnología usada para convertir y combinar las señales banda ancha entrantes en una señal óptica para la transmisión, y reconvertirlas a su forma original.

En un sistema digital puro, no hay oportunidad para que ocurra distorsión en el proceso de transmisión o por resultado del método de modulación. La única distorsión de señal que se presenta es una función del proceso de conversión de analógico a digital y viceversa, aunque ninguna conversión es perfecta, el estado de los conversores A/D y D/A de hoy, están tan avanzados que aun los conversores de más bajo costo pueden producir una calidad de video y audio que lejanamente exceden la calidad alcanzable por los sistemas transmisión AM y FM convencionales.

✓ **Simple Equilibrado de Costo y Calidad**

Esta es una característica importante de los sistemas digitales puros; en los sistemas tradicionales hay muchas consideraciones que los diseñadores del sistema y los integradores deben evaluar para determinar cuánto debe gastarse para lograr un cierto nivel de funcionamiento, mientras que al usar un sistema digital puro, esta tarea se simplifica mucho ya que la calidad de la señal banda base es ahora una función del diseño del transmisor y el receptor, y no esta sujeto a la longitud de onda óptica, al método de modulación o el tipo de fibra empleada.

Al evaluar el costo de sistemas de transmisión, los problemas de diseño que más impactan al nivel de funcionamiento es la calidad de la conversión A/D y D/A, y la velocidad con que el diodo puede operar. Los mejores conversores y los diodos más rápidos aumentan el costo de las unidades de transmisión.

✓ **Multiplexación versátil de las señales**

En un sistema digital puro, todas las señales entrantes - video, audio o datos- son convertidas a las mismas unidades básicas de 1's y 0's. Y por tanto el sistema de transmisión puede procesarlos todos de la misma manera. Esto permite una flexibilidad sin precedentes en el diseño del sistema. Por ejemplo, pueden sustituirse bits que representan una señal del audio por bits que representan una señal de datos, y fácilmente se pueden combinar cadenas de bits pertenecientes a diferentes señales

(audio, video y/o datos) en un mismo bloque de bits, así mismo como combinar señales del mismo tipo. En sistemas AM y FM convencionales, la multiplexación de muchas señales de video, audio y datos incrementan el costo e impone límites a la tecnología.

✓ **Mayor extensión del sistema**

Una ventaja más para un sistema de fibra óptica digital puro, es la habilidad de regenerar una señal transmitida sin incurrir en cualquier degradación adicional a la señal de video banda base, audio o datos original, lo cual es realizado por los repetidores.

Cuando la luz viaja a lo largo de una fibra de gran longitud, su poder óptico se atenúa gradualmente, lo que conlleva a que los rayos de luz pierdan la característica de poder ser detectados por el receptor. Poniendo un repetidor en la fibra en un punto previo a donde la luz disminuye demasiado para ser detectada, el repetidor regenera y restaura la señal digital a su forma original. Es importante recordar que las señales de video banda base, audio o datos nunca son realmente regenerada en un repetidor; sólo es procesado el flujo de datos que representan la señal o señales originales. De esta manera, la calidad de la señal banda base original no se degrada, sin tener en cuenta cuántas veces la señal sea regenerada y sobre cuan grande sea la distancia.

Las ventajas que esto ofrece al diseñador del sistema son obvias. No sólo se pueden cubrir grandes distancias que fácilmente exceden la capacidad de cualquiera Sistema de AM o FM, sino que el diseñador también puede asegurar que la calidad de la señal recibida siempre será consistente y reunirá los requisitos de funcionamiento de su aplicación.

#### **2.2.2.4. Sistemas de una sola fibra**

##### *Ventajas de los Sistemas de una sola Fibra*

En una evaluación puntual de los equipos de transmisión por fibra óptica, es importante considerar el costo total del sistema y no sólo de los equipos terminales. Estos costos deben considerarse también para las nuevas instalaciones donde se hace necesario un nuevo tendido de cable de fibra óptica.

Hoy, un solo cable de fibra óptica cuesta aproximadamente US\$500 por kilómetro. Esto no incluye costos de instalación, terminación y mantenimiento. Para instalaciones nuevas, el uso de menos fibra se traducirá dramáticamente en bajos costos para el proyecto total. Para los sitios donde el cable se ha instalado previamente, la habilidad para hacer un mejor uso de la fibra existente, en

lugar de instalar más, puede reducir grandemente los gastos.

Los sistemas de transmisión digital puros ofrecen tremendas ventajas sobre los tradicionales sistemas de AM y FM en su habilidad de poder transmitir por una sola fibra, esto es que pueden transmitir una o múltiples señales, en una o dos direcciones, sobre una sola fibra, a un precio y nivel de funcionamiento no igualada por los sistemas convencionales. Estas ventajas son particularmente evidentes en aplicaciones que requieren soporte dúplex.

#### ✓ **Duplexación usando transmisión analógica**

En sistemas punto a punto usados en aplicaciones de seguridad, transporte, videoconferencia, y audiovisuales, es común tener transmisión en ambas direcciones simultáneamente. En sistemas convencionales de AM y FM, la transmisión full dúplex es realizada usando cualquiera de dos fibras (una en cada dirección de transmisión) o sobre una fibra usando Multiplexación por división de onda (WDM). En WDM, una señal se transmite en una dirección a una longitud de onda y en la dirección opuesta a una longitud de onda diferente. Es evidente que los sistemas que emplean sólo una fibra tienen un factor económico en su contra, debido al costo adicional asociado con la necesidad de un acoplador óptico dentro del equipo que ópticamente multiplexa, o realiza WDM, a las dos señales que viajan en direcciones opuestas.

En sistemas dúplex AM y FM sobre una fibra, las dos longitudes de onda usadas para la transmisión bidireccional normalmente es como sigue:

Sistemas Multimodo: 850 y 1300 nm.

Sistemas Monomodo: 1300 y 1550 nm.

Deben usarse longitudes de onda diferentes para que las señales que viajan en direcciones opuestas no interfieran entre sí y para que el fotodiodo receptor a cada extremo del sistema pueda diferenciar entre la señal entrante y la saliente. Poniendo a punto al receptor a sólo una frecuencia, este acepta la señal deseada y rechaza todo lo demás.

En situaciones que requieren de la transmisión bidireccional, el costo de un sistema de una fibra que use WDM generalmente es menor al costo de instalar una segunda fibra a lo largo de la ruta total de transmisión. Sin embargo, también hay problemas asociados con esta tecnología.

Debido al uso de longitudes de onda diferentes para la transmisión en cada dirección, el sistema presenta un funcionamiento asimétrico. A cualquier nivel de funcionamiento dado, el trayecto de

longitud de onda más alto puede transmitir sobre distancias más largas que el trayecto de más baja longitud de onda. No es de sorprender, que los componentes necesarios para soportar la longitud de onda mas alta sean, por consiguiente, más costosos. Sin embargo, el diseñador del sistema debe usar las especificaciones del trayecto de longitud de onda más bajo para garantizar el mismo nivel de funcionamiento y calidad en ambas direcciones. De tal manera que el costo del sistema incluye el gasto para soportar la longitud de onda más alta, aunque la aplicación no puede aprovechar las capacidades de la longitud de onda más alta.

✓ **Duplexación usando un sistema digital puro de una fibra.**

En un sistema de transmisión digital puro sobre fibra óptica, los problemas asociados con la discriminación de las longitudes de onda no existe. Aunque la transmisión y recepción de las señales coexisten en cada diodo receptor, la naturaleza digital de las señales hace fácil para el receptor el detectar solamente la señal deseada y rechazar la señal interferente. Por consiguiente, la misma longitud de onda puede usarse para la transmisión en cada dirección.

Entonces, no hay necesidad de usar, y pagar por, un sistema que soporte longitudes de onda más altas que las que se usarán.

Es claro que un sistema digital puro de fibra ofrece muchas ventajas sobre un sistema punto a punto convencional AM y FM. Calidad más alta, más bajo costo del sistema y mayores distancias de operación son simplemente algunos de los muchos beneficios que esta alternativa ofrece.

### **2.2.3. Televisión sobre redes de fibra óptica que involucran Múltiples Capas Físicas**

Como otra alternativa tecnológica para la transmisión de señales de televisión con fines de ofrecer entretenimiento, distribución de información, capacitación, educación y seguridad, usando como soporte las redes de fibra óptica, se presentan los sistemas de video conferencia interactiva sobre la línea telefónica y sobre Internet, que han demostrado ser una herramienta eficaz que han causado incrementos en las ganancias y aumento en la eficiencia de las corporaciones que han instalado esta clase de sistemas en su empresa. Pero el video sobre RDSI o sobre Internet aun no cumplen las expectativas de calidad de imagen que la gente esta acostumbrada a observar en la Televisión normal.

Muchas corporaciones que han desarrollado redes con una alta funcionalidad de banda ancha

(ATM, Gigabit Ethernet, SONET, Wireless, y WDM) que cuentan con la capacidad total de soportar video y al financiar los costos para lograr una buena calidad en la codificación y decodificación del video han llevado a un rápido desarrollo del video digital. Hoy, los equipos para video digital son baratos y el costo de los equipos para redes de alta velocidad han caído hasta el punto donde empieza a ser competitivo con los equipos de conmutación de video análogos tradicionales, lo cual a llevado en el incremento de la demanda de video en red en aquellas corporaciones que cuentan con una buena infraestructura y velocidad en sus redes.

Es importante considerar, las ventajas de una degradación mínima en la señal de video en aquellas redes que emplean múltiples arquitecturas de la capa física para la transmisión de video digitalmente codificado sobre fibra óptica, como por ejemplo, muchos de los grandes sistemas ATMS (Gestión de Tráfico Avanzada) utilizan tres o mas capas discretas entre la cámara de CCTV en el campo, y el monitor de CCTV localizado en el otro extremo del enlace de video sobre fibra óptica. Estas capas pueden estar formadas por la cámara de CCTV, por un codec T-1 o los codec fraccionarios T-1 localizados remotamente; un switch ATM o un SONET OC-12, OC-48 o un switch Ethernet, un multiplexor de banda ancha de video modulado en frecuencia FM, un conmutador matriz de video y por último los monitores del CCTV. Como cada capa física sucesiva dentro de la red introduce su propia distorsión o degradación al video, se vuelve sumamente importante que el ingeniero de diseño considere la topología de la red de comunicaciones que le proporcione una mínima degradación a la señal de video en todos los niveles de la red.

Esto es especialmente crítico en la primera capa física dentro de la red, o sea el enlace de video entre la cámara y la próxima capa en cascada, ya que una vez la “eléctricamente frágil” señal de video de la cámara se degrada, ya no puede restaurarse. Un enlace de transmisión de video digital capaz de proporcionar un funcionamiento con una relación S/N de por lo menos 67 dB sería una opción optima, y aseguraría una transmisión esencialmente transparente.

### **2.2.3.1. Video Networking**

Aunque, el crecimiento de Internet ha despertado el interés en el video, y la disponibilidad de RDSI y Módems de alta velocidad que han permitido la distribución de video sobre grandes distancias, el estado actual de la tecnología de compresión de video, hace que la calidad del video aun no sea la ideal para aplicaciones profesionales o comerciales de tiempo real con tasas de transmisión de datos sobre 2Mbps bits por segundo. A tasas inferiores, se hace notable la ausencia de movimiento continuo, haciendo que esto solo sea aceptable para videoconferencias de charlas dirigidas, presentación de diapositivas y sistemas de seguridad, pero muy inaceptable para la distribución de

entretenimiento o contenido educacional y más aun cuando no se cuenta con redes de alta capacidad. Pocas compañías se arriesgan a transmitir video usando las redes de baja velocidad de sus corporaciones.

El video en tiempo real sobre Internet puede ser caracterizada como una serie de imágenes fijas acompañadas de audio de pobre calidad, lo cual no es idóneo para un sistema de Televisión. En realidad esto no tiene que ver con la tecnología de compresión usada ni tampoco con el ancho de banda de acceso a Internet, sino que se debe a que en Internet no se puede tener control sobre el retardo y la latencia. Un paquete de video puede llegar al punto terminal experimentando algunos segundos de retardo en la red, mientras que otros experimenten retardos de tan solo unos milisegundos. Además, el video en tiempo real tiene poca tolerancia a la perdida de paquetes ni tampoco tiempo de permitir la retransmisión de paquetes perdidos, razón por la cual, en negocios de video de alta calidad se usan redes de enlaces punto a punto dedicados y conexiones telefónicas REDSI. Aunque, bajas tasas de transmisión de datos (256, 128, o aun 56 Kbps) producen una calidad aceptable para conferencias privadas, estas no pueden producir imagen y sonido de calidad para servicios de entretenimiento (Televisión). Sin embargo la tecnología ADSL de alta velocidad se presenta como una alternativa muy eficiente para prestar servicios de difusión de televisión ya que elimina los cuellos de botella al permitir a los usuarios un rápido y fiable acceso los contenidos de Internet.

#### ✓ **Redes LAN**

En redes de área local, el video sobre un Ethernet de medio compartido y a través de los enrutadores suscritos puede ser problemático. El flujo de video da poca oportunidad para que otro tráfico entre a la red, y a su vez este puede tener efectos adversos sobre el flujo de video circulante, motivo por el cual los gestores de las redes se niegan a transmitir video sobre las redes de las corporaciones por el temor a saturar la red y obstaculizar las aplicaciones de datos mas importantes.

#### -- **Ethernet**

Actualmente los switches Ethernet han hecho práctico el transporte de video de alta calidad, debido a sus características de conmutación de nivel 3 y la capacidad de manejar colas de espera por prioridad que permiten que el tráfico de video y datos compartan la misma red sin mayor problema, y también gracias a los avances en tecnologías creadas para brindar una mayor calidad en los servicios sobre redes IP, como DiffServ y MPLS entre otras. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las redes Ethernet están construidas con concentradores no inteligentes que difunden todo el tráfico a todos los puertos, lo cual puede afectar de forma critica el throughput de la red.



Actualmente se pueden crear redes de distribución de televisión con una calidad relativamente buena, por medio de codecs de video conectados a los concentradores de la red, ya que en el mercado se pueden encontrar productos que consumen desde 1Mbps hasta 3Mbps o más dependiendo de la calidad del video.

## -- ATM

Los switches ATM típicamente han sido empleados en la conectividad de redes de alta velocidad, para portadoras de acceso y para la interconexión de estaciones de trabajo y servidores de alta funcionalidad dentro de ciertas redes de empresas.

ATM es orientada a conexión y tiene la ventaja de proveer coherencia en la distribución de datos, muy baja latencia y bajo incremento en los costos de los nuevos servicios. Usando redes ATM existentes es muy fácil transmitir video de alta calidad a cualquier punto de la red sin el temor de que el video afecte al resto del tráfico de la red, debido a la habilidad de ATM para proveer la Calidad del Servicio (QoS) necesaria por los datos sensibles al retardo, como el video y el audio.

Sin embargo, aun las redes ATM de alta velocidad no pueden soportar video sin compresión; la única forma para hacer práctico el transporte de señales de televisión sobre las redes más modernas es realizando una compresión de las señales, lo cual implica una disminución en la calidad de la imagen del video. Esta compresión de video ha sido estandarizada y es descrita en las series de recomendaciones de la ANSI, ISO y la ITU.

### ✓ **Compresión de la imagen**

Una imagen de televisión consiste de una serie de cuadros presentado a una velocidad de 30 por segundo (en realidad 29.97 por segundo) en el formato NTSC; para convertir un cuadro en formato digital se debe fraccionar en pixeles individuales, donde cada pixel usa dos bytes de almacenamiento para describir localización color e intensidad. Por ejemplo, si se usa una velocidad de muestreo según el estándar CCIR-601 se obtendrán 13.5 millones de pixeles por cuadro que requieren exactamente 699.840 bytes (720 pixeles x 486 líneas por 2 bytes por pixel) para digitalizar un cuadro y con una velocidad de 29,97 cuadros por segundos, la tasa de datos necesaria para presentar imágenes con calidad y movimiento de televisión es de 20.974.204,8 bytes por segundo. En efecto, la interfaz de datos seriales de video de la recomendación 601 opera a 270Mbps, lo cual permite ver la gran capacidad necesaria para la transmisión de datos de la televisión de difusión. Por lo cual, para hacer practico el transporte de video sobre las modernas redes digitales, se debe comprimir la imagen de tal forma que para lograr una alta calidad, la

compresión del video debe balancear varias opciones para reducir la gran cantidad de datos presentes en una imagen de video, sin sacrificar la calidad de la imagen o su movimiento, para lo cual existen varios métodos.

En general la compresión emplea técnicas sin pérdidas y con pérdidas; la primera produce datos que cuando son descomprimidos quedan exactamente a los originales y la segunda produce datos que al descomprimirse resultan en imágenes que lucen similares a la original. Además, de las técnicas de compresión de datos, también se usa la compresión entre cuadros que emplea un sistema de cuadros clave y cuadros delta para eliminar la información redundante entre cuadros y la compresión intracuadros que es realizada solamente con referencia a la información contenida dentro de un cuadro en particular y también se realiza sobre un cuadro delta que permanezca después la compresión entre cuadros.

#### ✓ **Estándares de compresión**

El interés en comprimir la información de la señal de vídeo se aprecia no sólo en la reducción de la tasa binaria para su transmisión sino también en posibilitar el tratamiento y almacenamiento de un volumen de información muy grande. Este interés ha motivado el desarrollo de técnicas sofisticadas de compresión que han derivado en varios estándares internacionales, entre los cuales, los más empleados son una familia desarrollada por el organismo llamado *Moving Pictures Expert Group* (MPEG).

#### -- **Norma MPEG-2**

La tarea básica de cualquier método MPEG es tomar las señales de audio y video y convertirlas en paquetes de información digital, de forma que puedan ser enviadas a través de redes de comunicaciones haciendo un uso más eficiente de los recursos. MPEG comprime las señales de audio y vídeo, desechando gran parte de la información redundante de las mismas, consumiendo menos ancho de banda y manteniendo la calidad de la transmisión desde la generación de la señal hasta su decodificación y representación en el destino, también determina la estructura que debe poseer la información de vídeo digital, audio y datos asociados.

La codificación establecida en el MPEG-1 reducía los estándares NTSC, PAL y SECAM a un formato único con muestreo 4:2:0, teniendo como aplicación fundamental el CD interactivo, con una tasa binaria de 1.5 Mbits/s. MPEG-2 está optimizado para transmisión de TV porque consigue velocidades entre 1.5 y 6 Mbits/s con baja degradación en la calidad de imagen, y además, soporta diferentes relaciones de aspecto (4:3, 16:9), formatos de vídeo (barrido entrelazado y progresivo), mejoras de la señal, etc.

### *Compresión de la información de vídeo .*

La compresión de la información de vídeo se realiza desde dos puntos de vista: *espacial* y *temporal*. El primero explota la existencia de información redundante dentro de una imagen fija cualquiera (elimina redundancias en zonas uniformes o con poco detalle) y la poca sensibilidad del ojo humano al color (elimina información no perceptible), y el segundo aspecto de la compresión se basa en la alta correlación existente entre imágenes sucesivas. Combinando ambas filosofías se consigue un nivel de compresión muy alto y, en función del nivel de calidad exigido, se trata de tener una pérdida de información imperceptible.

El estándar MPEG-2 se ha definido como una norma flexible, capaz de soportar o ser aplicado a un gran número de servicios. Con este objetivo se han desarrollado también diferentes algoritmos para abarcar todas las aplicaciones concretas conocidas, desde el video en baja definición (para videoconferencia) a la TV de alta definición, siempre dentro del mismo estándar. La implementación final de los codificadores y decodificadores no se ha introducido en la norma, sino sólo lo que deben hacer, dejando así libertad a los mercados para el desarrollo de la tecnología.

### *Codificación de audio en MPEG-2.*

El estándar MPEG-2 también propone la compresión de señales de sonido. Para ello se basa en la llamada *codificación perceptual*. Esta codificación se basa en el comportamiento de sistema auditivo humano, que no posee una resolución frecuencial y temporal ideal, sino que existen ciertos contenidos en frecuencia que pueden enmascarar (hacer inaudibles) a otros. Los codificadores empleados deberán no considerar aquellas zonas no perceptibles y así comprimir la señal digital.

Concretamente, en MPEG-2 se emplea la codificación llamada MUSICAM (*Masking-pattern Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing*), que descompone el espectro en 32 subbandas equiespaciadas y utiliza un modelo psicoacústico del oído humano para asignar dinámicamente el número de bits a cada subbanda.

### *Multiplexación en MPEG-2.*

Como cualquier señal digital, el canal de transmisión puede compartirse con otros programas o señales de audio y video. Por ello el MPEG-2 no solo contempla la compresión de las señales de audio y video de un programa, sino también la organización y empaquetado del múltiplex de uno o más programas, pudiendo ser separados en recepción.

Una vez realizada la compresión de las señales de audio y video, la trama binaria se organiza en paquetes de 188 bytes de longitud, de los cuales un byte es de sincronismo, 3 de cabecera y 184 de carga útil. A estos paquetes se les denomina paquetes de transporte MPEG-2 (MPEG-2 TS, por

Transport stream). Dentro del MPEG-2 TS también pueden ir otros datos digitales que no correspondan a video o audio.

También hay otros métodos no estandarizados, usados por algunos vendedores específicos, entre los cuales tenemos:

-- **Cuantización de vectores (VQ).**

VQ es una técnica lossy para compresión de video que usa un algoritmo computacionalmente concentrado pero de rápida descompresión.

-- **Indeo.**

Es una técnica desarrollada por Intel para video de baja velocidad y para captura de video en las maquinas Intel, es usada por VQ para la compresión intracuadros.

-- **Cinepak.**

Desarrollada por SuperMac Technologies y fue originalmente diseñado para los computadores Macintosh. emplea VQ para la compresión intracuadros.

-- **H.261.**

Es el estándar de compresión especificado por el estándar H.320 para video conferencia. Este soporta una rata de  $p \times 64$  Kbps donde  $p$  esta entre 1 y 30. H.261 es muy similar al estándar MPEG y esta optimizado para video conferencias de conversación dirigida (talking head) de baja velocidad y cambia calidad de imagen por calidad de movimiento, o sea que imágenes con alto movimiento tienen baja calidad.

El mercado ofrece múltiples alternativas que permiten la presentación del video transmitido en PC o televisores normales.

### **2.3. Aplicaciones de la Transmisión de video y audio sobre fibra Optica.**

Las aplicaciones que emplean la transmisión de televisión sobre fibra óptica, ya sea de forma analógica o digital, directamente sobre la fibra o sobre una plataforma de red de datos, son muchas. Entre las cuales podemos mencionar:

*CCTV y Control de Acceso:*

La transmisión de video sobre fibra es muy empleada en sistemas de video vigilancia de instalaciones empresariales y educativas, y de video/audio para intercomunicadores de voz bidireccional ubicados en los puntos de acceso a dichas instalaciones.

*Telemedicina:*

En medicina se usan para comunicar hospitales distantes, para ofrecer servicios de apoyo a cirugías y consultas medicas entre edificios distantes. Por ejemplo, un transceiver localizado en un Hospital Rural podría transmitir datos de la presión de sangre o glucosa suministrados por un equipo de supervisión, en forma de una señal óptica, sobre un cable de fibra, entonces, los datos podrían ser interpretados por doctores o personal especializado localizados en un hospital más grande, y enviar una respuesta etc...

*Aplicaciones Industriales:*

Estos sistemas son ideales para el uso dentro de las condiciones arriesgadas de los escenarios industriales. La fibra es un medio seguro e impenetrable para transmitir señales dentro de un ambiente industrial, debido a ventajas de la transmisión óptica como inmunidad a la interferencia, y la no existencia de peligro de generación de chispas eléctricas que activen una explosión y los beneficios de señalización digital.

*Educación a distancia:*

Establecimientos Educativos que no cuentan con una planta física suficiente, o que ofrecen servicios de educación a distancia, usan estos sistemas para la difusión de señales de televisión con contenido educativo sobre las redes de datos o Internet.

*Videoconferencia:*

Este tipo de equipos permiten la creación de múltiples salas de conferencia, a través de una red (bien sea Internet, LAN o RDSI), que por medio de un switch simple permiten al operador del sistema especificar la sala de conferencia que estará "al aire", y fácilmente asignar los recursos necesarios para dar acceso a los codec y las líneas de la red.

*Ambientes distribuidos de Campus:*

Usando estos sistemas, con una sola fibra de cable óptico se pueden conectar edificios separados por varios kilómetros, y por medio de la señales de televisión difundir las diferentes actividades de interés general que sucedan en cada edificio, sin necesidad de desplazamiento del personal.

*Televisión de difusión y por cable:*

Estas tecnologías permiten la transmisión de Video bidireccional sobre distancias cortas (hasta 10 Km) con fibra multimodo o para distancias largas (hasta 60 Km) con fibra monomodo. Además de las ventajas de la fibra frente al cable coaxial, la fibra facilita la multiplexación de muchas señales sobre una sola fibra lo que produce considerables ventajas económicas y una alta eficiencia en los sistemas de difusión masiva de televisión como la CATV.

*Teatros, salas de conciertos, estadios:*

El equipamiento de un sitio grande para eventos, como un teatro, sala de concierto o estadio con un sistema de información de audio/video sofisticado puede permitir beneficios como la eliminación de ruidos en el audio. Al acompañarse con otros productos, se pueden agregar efectos o información generada por computador al video y al audio que se distribuye en los monitores, pantallas y altavoces ubicados a lo largo de la arena del lugar.

Ejemplo practico:

Para ilustrar un ejemplo de uso de estos sistemas de distribución de televisión sobre una red LAN y directamente sobre el medio, veamos los siguientes diagramas:

Ejemplo 1:

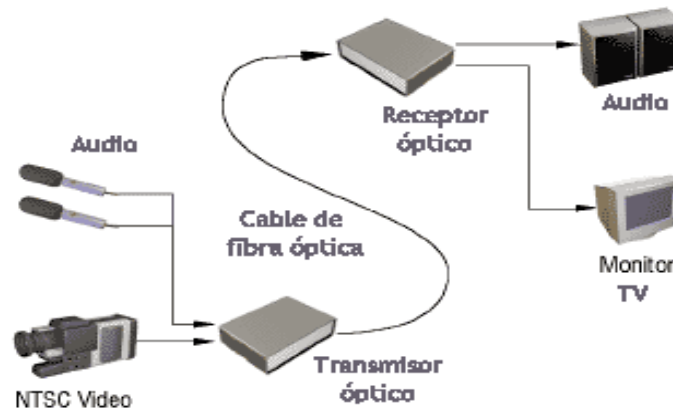


Figura 2.11 . Montaje típico de un sistema de transmisión de televisión unidireccional sobre fibra óptica.

En la figura 2.11 se observa un sistema de distribución de video en tiempo real usando tecnologías (analógica o digital) de transmisión directa sobre la fibra por medio de técnicas de modulación que lo permitan. Estos sistemas pueden ser de uno o varios canales de TV que se envían en la fibra por medio de codec/multiplexores de video.

Ejemplo 2:

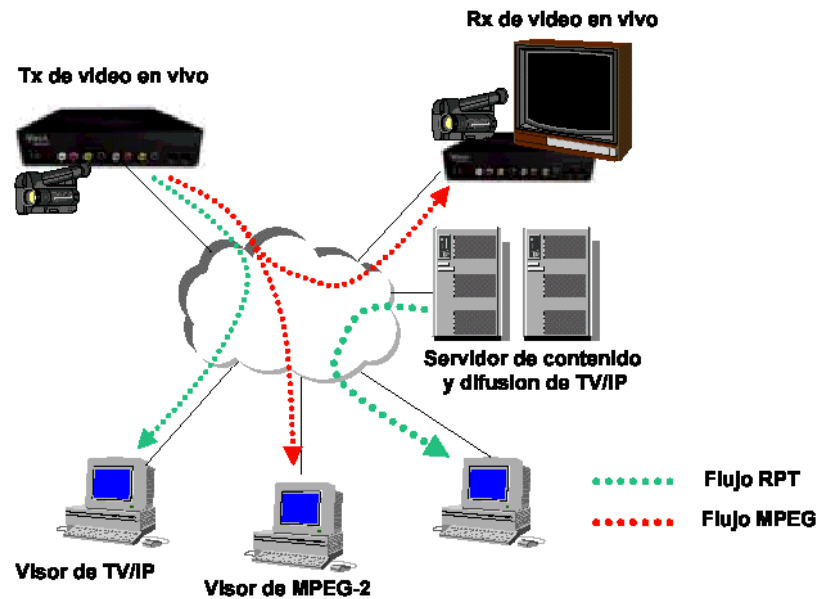


Figura 2.12. Montaje típico de un sistema de transmisión de televisión unidireccional sobre una Red basada en IP.

En la figura 2.12 se observa una configuración típica de un sistema de distribución de video y audio sobre una red de área local. Diferentes fabricantes ofrecen tecnologías que permiten el uso de uno o más protocolos de compresión del video para la transmisión de las señales. También se observa en la figura 1.12 un transmisor de video en vivo que tiene la capacidad de transmitir el video digital en dos formatos diferentes con el fin de que la imagen se pueda observar en Televisores normales y en PCs. Además, las tecnologías digitales permiten el almacenamiento del video en servidores de video para la transmisión en diferido, por lo cual también se muestra un servidor de video para IP.

# CAPITULO 3

---

## COBERTURA Y PROPUESTA DE ADAPTACIÓN

### 3.1 Marco de referencia

El propósito fundamental de este trabajo es dotar a la Universidad del Cauca de los criterios y las pautas de diseño para la implementación de la infraestructura adecuada que permitirá la emisión televisada de los eventos y contenidos académicos y culturales que tengan lugar en cualquier dependencia de la Universidad del Cauca a través del Circuito Cerrado de Televisión.

Actualmente el porcentaje a nivel nacional de acceso por parte de los jóvenes colombianos entre 19 y 25 años a la educación superior es del 15.67% aproximadamente, y en particular para la zona pacífica es del 12.78% aproximadamente; que desde una perspectiva global, refleja la crítica situación concerniente a la cobertura educativa. Es allí precisamente donde la tele-educación emerge como una solución enfrentando técnicamente el problema. A nivel mundial la aplicación de la tele-educación y de procesos similares es una realidad ya hace muchos años, con visibles y satisfactorios resultados en torno a la situación que los generó. En Latinoamérica casos como el de la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Austral de Chile revelan el éxito de políticas educativas orientadas al aprovechamiento de los medios de comunicación en aplicaciones que permiten la divulgación del conocimiento de forma audiovisual.

En este contexto y teniendo en cuenta la apertura de programas nuevos dentro de la Universidad del Cauca y la subsecuente demanda de espacio físico capaz de albergar el número de estudiantes nuevos y actuales, se piensa en una solución que permita difundir el conocimiento en una modalidad diferente a la presencial evitando la construcción de nuevas aulas, esto conlleva un cambio de las estructuras metodológicas y conceptuales de la labor educativa; sin embargo, la difusión cognitiva a través de los medios de comunicación en particular la televisión, constituye un aporte muy importante al avance tecnológico y organizativo de la Universidad del Cauca; por esta razón en respuesta a la demanda regional y local de cobertura educativa y a la utilización adecuada de los recursos de comunicación se ha pensado en la planeación y el diseño de un circuito cerrado de televisión distribuido por fibra óptica con fines académicos.



Según las indagaciones, anterior a este trabajo, no se han realizado estudios, formulaciones o la conceptualización relacionados con un Circuito Cerrado de Televisión para la Universidad del Cauca o sistemas afines desde ninguna perspectiva, no obstante, se efectuaron en su momento trabajos de grado que tienen como tema central la televisión y sus diferentes ramas tecnológicas a continuación se presenta el listado de las tesis que hasta este momento han tratado la televisión:

Tesis relacionadas con el trabajo de grado actual

- ✓ Estudio técnico y recomendaciones legales para el montaje de un sistema radiador de señales internacionales de televisión./ Harold Jimmy Erasso S., Nestor Raúl Balanta O. Director: Luis A. Guerrero.  
Erasso S., Harold Jimmy. (T FIET 397)
- ✓ Estudio de Propagación del sistema de televisión internacional de Popayán./ Alfredo Polanco Polanco Huertas, Richard Fernando Ramírez Osorio. Director: Alfredo Montenegro M. Polanco Hurtado, Alfredo Polanco. (T FIET 484)
- ✓ Sistemas de comunicación en televisión directa por satélite./ Judy Cristina Realpe Chamorro, Mario Fernando Solarte Sarasty.  
Realpe Chamorro, Judy Cristina. (T FIET 571)
- ✓ Conceptualización del servicio de televisión por demanda sobre red inteligente./ Javier Eduardo Fernández Martínez, José Luiz Ortega Ortíz.  
Fernández Martinez, Javier Eduardo. (T FIET 573.)
- ✓ Diseño y Construcción de un Remisor de Televisión (Prototipo de Laboratorio)./ Eduardo Hurtado Ulchur.  
Hurtado Ulchur, Jorge Eduardo. (PI346. FIET)
- ✓ Simulación de los cálculos de cobertura en radiofrecuencia según Normativa Colombiana. Parte II: televisión VHS y UHF/ Andrés Eduardo Muñoz Rengifo, César Augusto Ospina Agudelo. Director: Aldemar Holguín.  
Muñoz Rengifo, Andrés Eduardo (T FIET 650)

### **3.2 Estudio de la demanda**

En esta sección se tratan todos los aspectos relacionados con las necesidades reales de la televisión con fines educativos al interior de la Universidad del Cauca, los servicios que podrá prestar el circuito cerrado de televisión y los sectores directamente beneficiados con el funcionamiento de este; a su vez se abordan los ejemplos mas conocidos en esta labor y las instituciones que actualmente están organizadas con propósitos de prestar servicios de educación a distancia mediante la televisión.

#### **3.2.1 Ambientación**

Actualmente el registro fílmico de la Universidad del Cauca adolece de la carencia de material audiovisual de apoyo suficiente, de las actividades académicas, lúdicas y culturales que se llevan y han llevado a cabo; casos como la grabación y emisión en vivo, de seminarios, charlas, simposios, eventos deportivos, eventos culturales o congresos realizados en el alma mater deberían formar parte de dicho registro convirtiéndose en una fuente de consulta y sistema de investigación incomparable. Por otra parte la información interinstitucional que a diario se genera, debe tener una difusión masiva con el objeto de mejorar la comunicación entre los entes constitutivos de la Universidad del Cauca, y posibilitar una mayor dinámica entre estos, que a su vez permita una labor más eficaz; al respecto cabe decir que es idóneo la transmisión de tales contenidos a través de un Circuito de Televisión privado el cual tendría la misión de fomentar la utilización de los medios de comunicación audiovisual como una forma de replantear el discurso global, acerca del acto y los procedimientos académicos y didácticos teniendo en cuenta que las nuevas tecnologías son herramientas que nos permiten analizar el mundo, y al tiempo, definirlo de manera particular y así se permitiría conocer de forma inmediata las directivas que se emiten desde las secciones administrativas de la Universidad del Cauca.

El objetivo general del Circuito Cerrado de Televisión de la Universidad del Cauca es estimular la introducción de modernas tecnologías audiovisuales en la docencia, investigación y extensión de la Universidad del Cauca, así como fomentar la producción y difusión de documentos fílmicos de carácter didáctico, académico, cultural y popular, ya sean estos regionales, nacionales o internacionales.

A continuación se aborda el tema de la tele-educación de forma tal que permita conceptualizar y entender las tecnologías, los actores implicados y el impacto social que envuelven esta modalidad educativa.

Podemos comenzar por decir que la tele-educación no es más que una adaptación tecnológica de la educación a distancia. El alemán Manfred Delling quien es toda una autoridad en educación a distancia, asegura que la educación a distancia tiene algo más de 100 años de existencia. Entendiéndose por educación a distancia todos aquellos procesos de enseñanza y aprendizaje en los cuales el alumno no está en el mismo espacio físico que el educador; es decir existe una distancia espacial y temporal entre los dos, por lo que el alumno y el maestro no están en contacto directo o presencial, sino que lo hacen utilizando un medio que salve esa distancia. El mismo Delling en el libro "Theories of distance education", señala que: "La educación a distancia es una actividad sistemáticamente planeada que incluye la selección, preparación didáctica y preparación de materiales de enseñanza, así como la supervisión y apoyo del aprendizaje de estudiantes los cuales son alcanzados por medio de al menos un recurso tecnológico, para salvar la distancia entre estudiantes y maestros...".

El primer medio usado para estos fines desde el siglo XIX, fue el correo postal a través del cual el alumno recibía las lecciones enviadas por el maestro y contestaba las tareas o las pruebas que le eran solicitadas. Con la aparición del teléfono y la radio, se pensó en la mejora de la cobertura de estos servicios. Y aunque la radio ha logrado mayor cobertura de manera más inmediata, y el teléfono es el más usual cuando se busca retroalimentación o aclaración de la información, el asunto de las tareas y los exámenes seguía dependiendo de la asincronía del correo.

Es hasta la década de los 80 y con más fuerza en los 90, que la educación a distancia recibe un apoyo trascendental con la popularización de los televisores a color (cuya aparición se dio en la década de los 70), de las computadoras personales (PC) y la telemática con sus servicios de redes de computadoras, mediante las cuales se puede establecer comunicación con personas que estén en cualquier parte del mundo mediante otra computadora conectada a Internet. Los servicios ofrecidos por la Red como son el correo electrónico, el talk (conexión entre computadoras punto a punto); el chat (conexión punto- multipunto); la transferencia de archivos (FTP); y desde luego el World Wide Web (WWW); así como las videoconferencias interactivas (conexión entre computadoras utilizando una línea telefónica dedicada) que permiten la transmisión de imagen, voz y datos, y que constituyen lo más cercano al trabajo presencial pues maestro y alumnos se ven, se oyen e interactúan aunque haya miles de kilómetros entre ellos.

Asesor es el nombre que ha recibido el profesor en los sistemas abiertos y a distancia, con la finalidad de diferenciar sus funciones: mientras que en la enseñanza tradicional la función del docente es básicamente la información, en los sistemas abiertos y a distancia su función es de guía, de orientación, de retroalimentación y de motivación. Aunque en los sistemas indicados se dan dos tipos de asesor, su función en esencia es la misma. Un asesor está dedicado a los aspectos disciplinarios y el otro se concreta a los aspectos psicopedagógicos. Algunos expertos señalan que una de las características de la educación a distancia, es la forma mediada de "conversación didáctica guiada": o sea el estudio a distancia, es esencialmente autoestudio, pero el estudiante no está solo; se beneficia del curso y de la interacción con tutores (asesores) y la organización que apoya.

Entonces, el asesor a distancia es un profesor designado por la institución que imparte la educación, encargado de orientar, motivar o guiar al estudiante en aspectos propios de la disciplina que se está estudiando o en temas relacionados con el cómo estudiar o cómo aprovechar mejor los materiales que se le proporcionan. En principio debe tener las mismas que se le pedirían a un profesor tradicional, pero además debe tener un entrenamiento especial en aspectos relacionados con los sistemas abiertos y a distancia. Por ejemplo, debe estar convencido de que éstas son estrategias pedagógicas válidas, confiables y con mucho futuro. También el asesor debe conocer, saber usar y saber resolver los posibles problemas que presenten los diferentes recursos de comunicación que le permitan realizar alguna de las siguientes actividades:

- ✓ Audio y video interactivo en dos vías enviado a múltiples sitios.
- ✓ Exposiciones sincrónicas y asincrónicas con estudiantes que pueden acceder a ellas mediante redes multimedia desde su hogar, su trabajo o desde cualquier lado.
- ✓ Discusiones electrónicas "en línea" uno a uno o uno a muchos.
- ✓ Charlas (Chats) informales

En resumen, el asesor a distancia, aunque es un profesor de carrera igual al que se desempeña en la educación presencial, requiere de habilidades adicionales a las de saber transmitir un contenido eficazmente. Necesita, entre otras cosas, haber sido él mismo un alumno de sistemas abiertos o a distancia, haber vivido la situación en la que se encuentran sus alumnos y así entender mejor sus necesidades.

Con lo mencionado anteriormente, entraremos a estudiar las posibilidades de servicio que ofrece un Circuito Cerrado de Televisión partiendo de las propiedades del mismo.

### 3.2.2 Servicios ofrecidos

Básicamente son tres grandes grupos dentro de los cuales se pueden clasificar los distintos servicios que se podría ofrecer tanto a la comunidad universitaria como al público que requiera que sus contenidos se difundan a través de este medio y al interior de la Universidad del Cauca a saber: Preproducción, producción y postproducción.

#### 3.2.2.1 Preproducción

Se define la Preproducción como todas las actividades previas encaminadas a lograr resultados óptimos en las grabaciones así como en los trabajos de producción dentro de tales actividades se encuentran: el casting, los ensayos, la adaptación de locaciones y la investigación periodística entre otros.

Las actividades anteriormente mencionadas son parte esencial en la organización de todo evento que requiera ser emitido por televisión; discriminando de si se trata de transmisión en vivo o en diferido. A continuación se describen los servicios que podrían prestarse desde el centro de producciones de la Universidad del Cauca.

- ✓ Para transmisiones en vivo:
  - ◆ Adecuación de las locaciones: auditorios, salones y estudios de grabación teniendo en cuenta la iluminación y la presentación del lugar acorde con el tipo de evento que se piensa emitir.
  - ◆ Casting: es la preselección del personal que presentara los eventos.
  - ◆ Investigación periodística, encaminada a mejorar el ambiente teórico al respecto del tema o temas tratados en los programas.
  
- ✓ Para transmisiones en diferido:
  - ◆ Tratamiento de los estudios: iluminación, sonido, y adaptación a los equipos.
  - ◆ Casting
  - ◆ Investigación periodística
  - ◆ Vehículos
  - ◆ Laboratorios
  - ◆ Ensayos

Con el cumplimiento cabal de dichos procesos se garantiza la ocurrencia mínima de errores durante los procesos de grabación y emisión de los eventos o de formación de documentos fílmicos de carácter institucional o académico.

### **3.2.2.2 Producción**

La fase de producción es donde todos los procesos anteriores confluyen en una clase de desempeño final.

Las producciones pueden ser transmitidas en vivo o grabadas. Con la excepción de noticias, shows, deportes en lugares remotos y algunos eventos especiales las producciones son típicamente grabados en videocintas para ser transmitidas o distribuidas posteriormente.

Grabar el show o el segmento ofrece la oportunidad de arreglar los problemas que pueden presentarse por medio del detenimiento de la cinta, rehaciendo el segmento o haciendo cambios durante la edición.

En la producción para el caso de la Universidad del Cauca, se reúnen todos los actores participativos como camarógrafos, productores-directores, ambientadores, luminotécnicos, guionistas, conferencistas, moderadores, entre otros, para hacer toda la realización del programa que se desea presentar. En estos momentos la cantidad de eventos importantes (seminarios, cursos, talleres, congresos, asambleas, conferencias, etc.) realizados por cada facultad es elevada, pero aun así solo algunos encuentran buena acogida y cuentan con publico suficiente en los lugares donde se realizan, esto, debido en parte a los costos y a los inconvenientes de tiempo de quienes desean asistir. Que mejor que una presentación audiovisual por medio del circuito cerrado de televisión del contenido del evento posterior y en mejores condiciones temporales y de costos. Para este tipo de acontecimientos la producción consistiría en adecuar correctamente los sitios (iluminación, sonido, ambientación y sistemas mecánicos de cámaras adecuados) para tal evento y hacer la grabación en videocinta del mismo dentro del tipo de video que puede producirse se tienen seis categorías básicas a saber:

- ✓ Videos educativos
- ✓ Videos institucionales
- ✓ Videos promocionales
- ✓ Spots publicitarios

- ✓ Documentales
- ✓ Programas de televisión

### **Videos Educativos**

Los Videos Educativos producidos por el Centro de Televisión que tendría la Universidad del Cauca se pueden clasificar en cuatro categorías:

- ✓ **Curriculares:**

Son aquellos que abordan temas requeridos en los planes de estudio y forman al alumno para lograr resultados académicos terminales y procesos de certificación.

- ✓ **Complementarios:**

Apoyan el desarrollo de temas curriculares para que el profesor haga uso del video de acuerdo con sus necesidades de enseñanza.

- ✓ **Capacitación:**

Comprende temáticas de interés particular en una área en la que se desea profundizar con fines de manejo teórico adecuado.

- ✓ **Educación para la comunidad:**

Presentan temáticas de interés general con un tratamiento didáctico y en función del desarrollo social.

### **Videos Institucionales**

Pueden clasificarse en dos categorías:

- ✓ **Internos:**

Se presentan los contenidos más importantes de nivel institucional para dar a conocer los resultados de la gestión administrativas así como las directivas que se emiten desde los organismos de control y administración. Y presentar a la comunidad universitaria las bondades de la Universidad del Cauca.

- ✓ **Externos:**

Similar a la presentación anterior solo que con instituciones con las que se tengan relaciones y que permitan el conocimiento de las actividades que se llevan a cabo en ellas con relación a áreas de interés en común. Cabe aclarar que de acuerdo a la

legislación vigente podrían transmitirse videos de instituciones privadas de carácter educativo o comercial.

### **Videos promocionales**

Mediante esta producción una empresa comercial o institución de educación puede mostrar sus productos o servicios de forma dinámica, efectiva y de alta recordación que sean de interés a la comunidad universitaria.

### **Spots Publicitarios**

Un spot o comercial de televisión busca insertar un mensaje o un producto en la conciencia de la comunidad. Para ello su tratamiento debe ser creativo, directo y de alta calidad audiovisual. En caso de que la legislación lo permita, se convertiría en un factor de ingresos fuerte en la Universidad del Cauca dadas las dimensiones de la misma.

### **Documentales**

Un documental busca rescatar la memoria, la obra, la actividad, la vida de una persona, actividad, o institución. Su tratamiento se basa en una investigación previa y utiliza recursos audiovisuales del tipo cinematográfico como el tipo de Fotografía y Registro.

### **Programas de Televisión**

El Centro de producción debe contar con un estudio o Set de televisión de dimensiones físicas suficientes, además de una parrilla de iluminación con capacidad de iluminación del estudio, ciclorama, andamio, y todo el soporte mecánico y eléctrico para el montaje y conexión de los dispositivos de producción. Permitiendo así la realización de todo tipo de programas como noticieros, obras culturales, entrevistas institucionales, entre otros.

#### **3.2.2.3 Postproducción**

Existen algunos servicios que pueden prestarse en la fase de postproducción pero que son dependientes en gran forma de la tecnología empleada como son:



- ✓ Edición fuera de línea (off-line):  
Cuando se hace edición sobre programas grabados en video cintas.
- ✓ Edición en línea (on line):  
Es la edición de programas de emisión en vivo.
- ✓ Edición no lineal
- ✓ Edición de Audio digital:  
Se hacen mezclas de fuentes sonoras con el propósito de ambientar las imágenes que están presentes en el video.

Todos estos servicios sumados a la generación de subtítulos, de efectos especiales, presentaciones y animaciones gráficas en dos y tres dimensiones dependen de los equipos que se posean. Aunque los anteriores son los servicios que técnicamente pueden prestarse en esta fase, la postproducción debe entenderse como todo trabajo posterior al trabajo de producción, como el desmantelamiento de los escenarios, el estudio del impacto social del programa hecho y por ultimo las tareas de edición que generan mucho valor agregado al producto (video) final.

### **3.3 Cobertura**

En este numeral se habla de los eventos más comunes así como de los lugares donde pueden presentarse a través del Circuito Cerrado de Televisión.

#### **3.3.1 Eventos**

Tras establecer las bases teóricas que esclarecen el ambiente en torno a la idea de la televisión educativa y de justificar la eventual aplicación en la Universidad del Cauca pasaremos a detallar el alcance de los servicios y la cobertura que tendría al interior de las diferentes instancias de la Universidad. En primera instancia se mencionan los eventos más comunes al interior de cada facultad.

En todas las facultades existe el interés académico por realizar eventos de carácter académico por parte de los diferentes grupos que trabajan en sus respectivas facultades por el bienestar continuado y el progreso de sus estudiantes. En la tabla 3.1 se muestra el tipo de eventos mas frecuente por facultad así como el área de interés que atañe; basados en los antecedentes cronológicos de los eventos realizados hasta el momento y en la frecuencia de los mismos.

PLANEACION Y DISEÑO DE UN CIRCUITO CERRADO DE  
TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA PARA LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

Facultad	Eventos	Interés
Derecho y Ciencia política	Seminarios, charlas temáticas y eventos feriales.	Área administrativa y cultura general
Ingeniería civil	Actividades lúdicas, seminarios.	Área ingeniería civil
Ingeniería electrónica y Telecomunicaciones.	Congresos, seminarios, simposios, cursos y talleres.	Área tecnológica, medicina y sociología.
Ciencias agropecuarias	Muestras agrícolas	Área agropecuaria
Ciencias de la salud	Seminarios, cursos y conferencias.	Área medica, tecnológica y social.
Ciencias contables, económicas y administrativas	Seminarios	Área administrativa
Ciencias naturales, exactas y de la educación	Cursos, talleres, ponencias y charlas.	Áreas básicas, social y deportiva.
Artes	Exposiciones y conciertos	Área de diseño y música
Ciencias humanas y sociales	Seminarios, conferencias y cursos.	Área social, tecnológica y cultural.

Tabla 3.1 Eventos más comunes realizados por facultad

Como ya se dijo algunas de las actividades mencionadas admiten una transmisión en vivo, en tanto que existen algunas que por su ubicación espacial solo permiten solamente transmisiones en diferido como es el caso de los eventos deportivos y en general las actividades que se lleven a cabo a distancias considerables de los centros de transmisión que, como se explicará posteriormente, residirán en el corazón de comunicaciones (centros de cableado y RACS) existente en cada facultad. Por otra parte los eventos que se transmitirán en vivo o en diferido buscan tener la mayor audiencia posible, es por eso que se ha pensado en la ubicación de los puntos de recepción y transmisión en los auditorios ubicados en cada facultad, lo cual permite mayores concentraciones de televidentes.

FACULTAD	AUDITORIOS
Derecho y Ciencia política	Parainfo Francisco José de Caldas y Sala Benjamín Iragorri
Ingeniería Civil	Gregorio Caicedo
Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.	Auditorio IPET "Francisco Lemos Arboleda"
Ciencias Agropecuarias	Auditorio Ciencias Agropecuarias
Ciencias de la Salud	Antonio Lemos y Torreón
Ciencias Contables, Económicas y Administrativas	Parainfo Francisco José de Caldas
Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación	Salas audiovisuales 1 y 2
Artes	Luis María Calderón
Ciencias Humanas y Sociales	Salas de proyección 1 y 2

Tabla 3.2 Auditorios correspondientes a las facultades

Es decir cada auditorio estará habilitado tanto para la transmisión como para la recepción televisada de eventos. A continuación se muestra el ordenamiento por facultad de los auditorios en cuyo interior se realizan periódicamente actividades académicas.

### **3.3.2 Puntos Principales**

En esta sección se indica la distribución de edificios<sup>15</sup> con el fin de dar una dimensión a la magnitud del diseño que se hará en el capítulo cuatro (IV). Además se muestra como están unidas las facultades o edificios de la Universidad del Cauca mediante enlaces de fibra óptica cuyo número de pares varía de acuerdo al tráfico que se genere en cada dependencia.

Como puede observarse en la figura 3.1 el número de pares de fibra óptica varía acorde con la dimensión del tráfico generado por facultad y en virtud del crecimiento proyectado de los programas que en cada edificación se acogen.

### **3.4 Propuesta de Adaptación**

En este apartado se presenta el estado y la configuración actual de la red de datos de la Universidad del Cauca con el fin de establecer su potencialidad ante la futura implementación del Circuito Cerrado de Televisión.

La infraestructura de la red de datos distribuida a lo largo de cada sector del campus universitario posee una configuración similar a una red híbrida con la salvedad que aquí la combinación es entre cable conocido como par trenzado no apantallado (Unshielded Twisted Pair – UTP) categoría 5 y fibra óptica, en una configuración que permite la conexión física de los edificios mediante la fibra y las conexiones internas a cada edificio mediante UTP categoría 5. En cada edificio la administración de la red de datos ha segmentado la red a través de dispositivos y centros de cableado principales y secundarios que alojan los equipos terminales conectados dentro de cada facultad de una forma ordenada y con un cableado estructurado certificado. Cuando las distancias a cubrir son superiores a las establecidas en las normas se conectan centros de cableado entre sí para soportar los terminales que se requiere.

---

<sup>15</sup> Para mayor información acerca de la ubicación de los auditorios al interior de las diferentes facultades por favor remítase al anexo uno (1) donde también se encuentra la configuración de la Red de Datos de la Universidad del Cauca.

PLANEACION Y DISEÑO DE UN CIRCUITO CERRADO DE TELEVISION SOBRE FIBRA OPTICA PARA LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

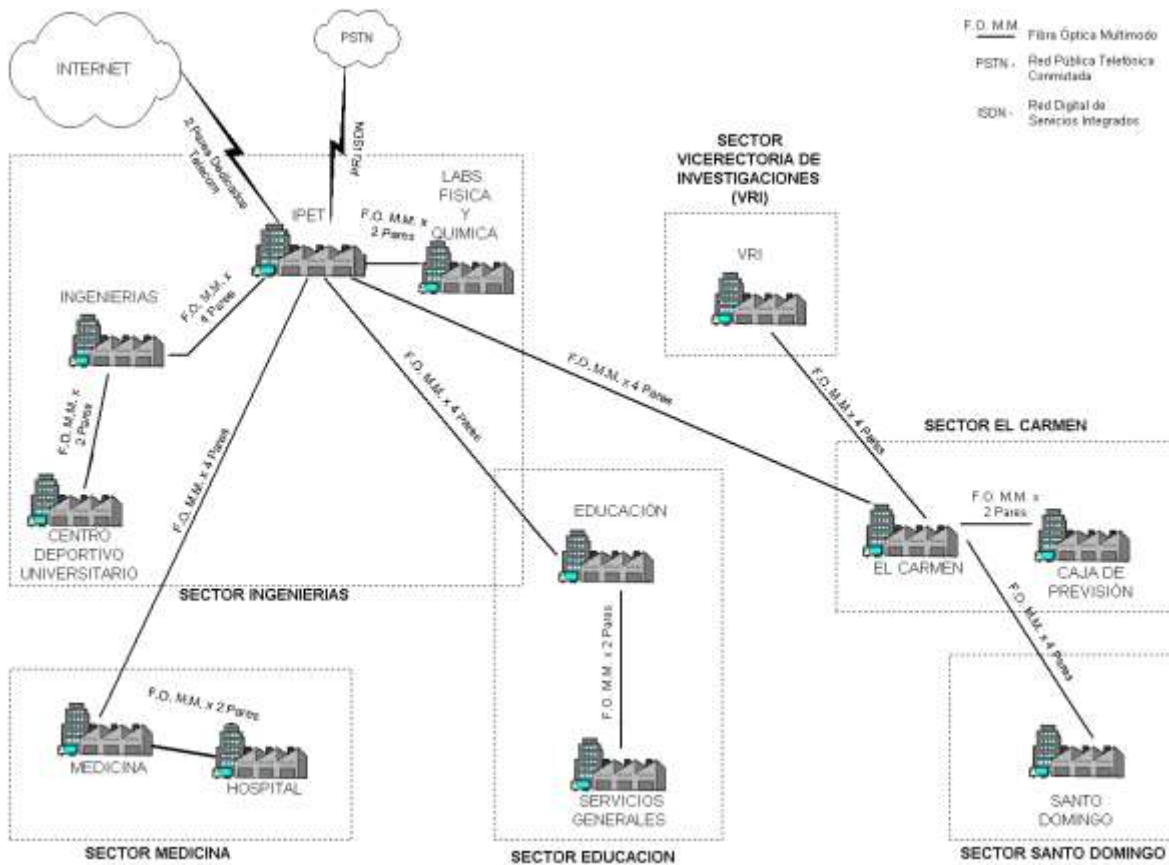


Figura 3.1 Conexión entre los edificios de la Universidad del Cauca mediante fibra óptica

### 3.4.1 Cableado estructurado

En este apartado se muestra de forma cuantitativa la estructura de cableado existente en cada sector de la Universidad del Cauca permitiendo conocer el ambiente tecnológico capaz de albergar el Circuito Cerrado de Televisión (CCTV)

## 3.4.1.1 Edificio de Ingenierías

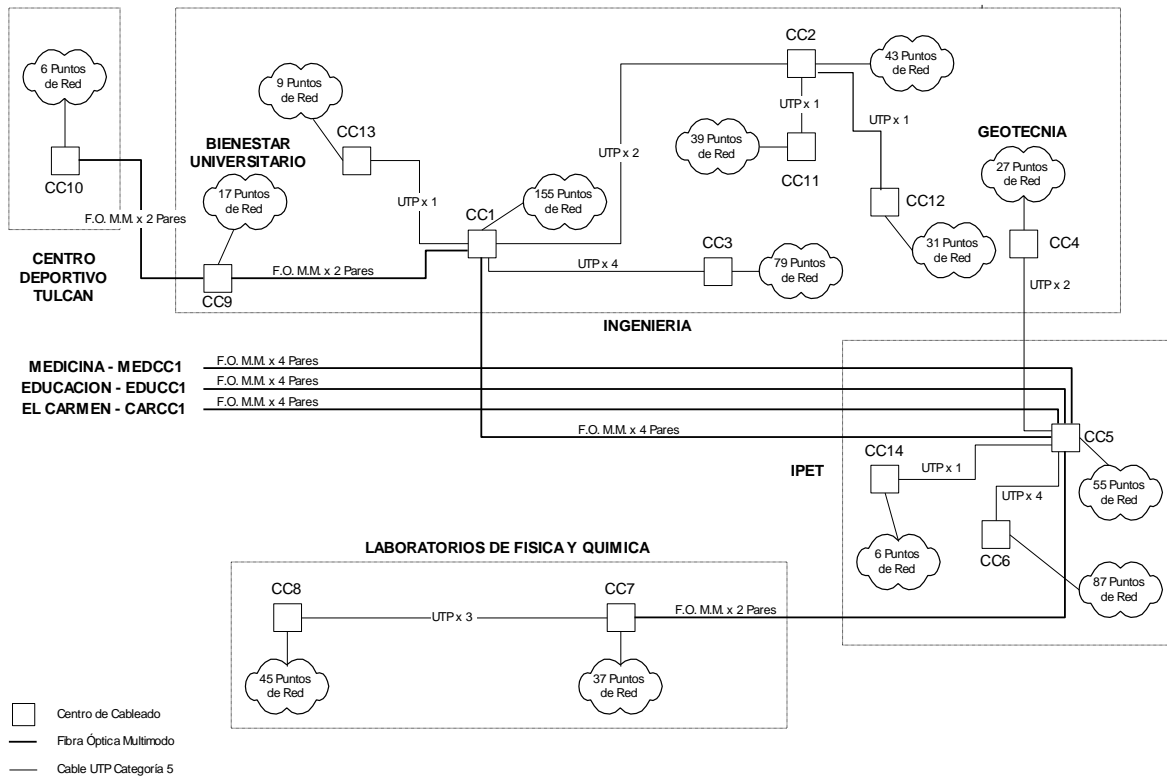


Figura 3.2 Cableado del sector de Ingenierías

La Tabla 3.3 resume la estructura del cableado de red del Sector de Ingenierías.

CENTRO DE CABLEADO	NÚMERO DE PUNTOS DE RED	UBICACIÓN FÍSICA
CC1	155	Edificio Ingenierías - Oficina 425
CC2	43	Edificio Ingenierías - Decanato Ingeniería Electrónica
CC3	79	Edificio Ingenierías - Salón Modelo de Transmisión
CC4	27	Edificio Ingenierías - Geotecnia
CC5	55	Edificio IPET - Administración Red de Datos
CC6	87	Edificio IPET - Salón 105
CC7	37	Edificio Laboratorios Física y Química – Sala de Sistemas Ing. Física

CC8	45	Edificio Laboratorios Física y Química – Departamento de Física
CC9	17	Bienestar Universitario - Enfermería
CC10	6	Centro Deportivo Universitario Tulcán
CC11	39	Edificio Ingenierías - Sala I de Informática
CC12	31	Edificio Ingenierías - Sala II de Informática
CC13	9	Edificio Ingenierías - Sala de Automática
CC14	6	Edificio IPET - Help Desk
<b>PUNTOS DE RED TOTALES</b>	<b>636</b>	

Tabla 3.3. Resumen Puntos de Red del Sector de Ingenierías.

### 3.4.1.2 Sector Medicina

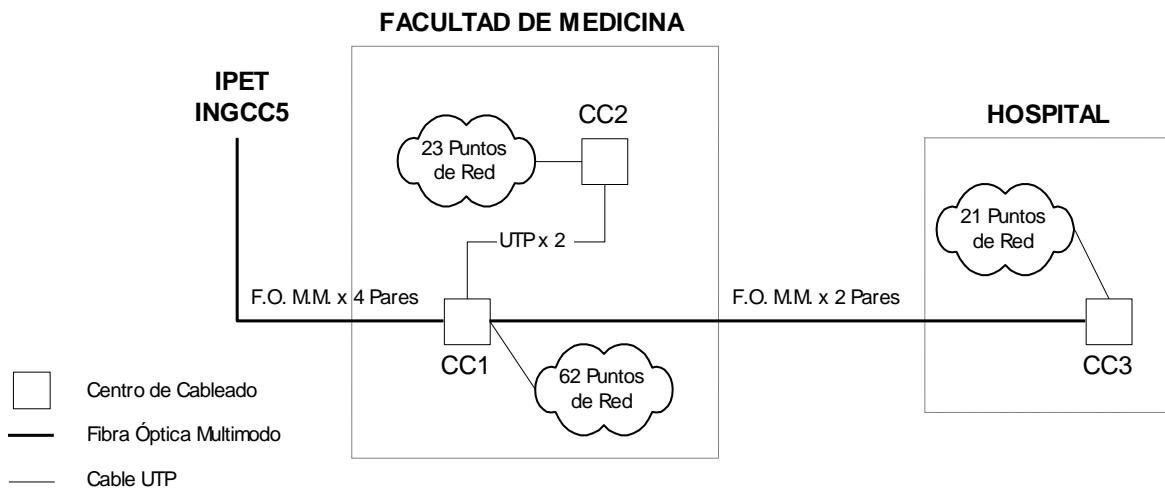


Figura 3.3 Cableado del sector de Medicina

La Tabla 3.4 resume la estructura del cableado de red del Sector de Medicina.

CENTRO DE CABLEADO	NÚMERO DE PUNTOS DE RED	UBICACIÓN FÍSICA
CC1	62	Facultad de Medicina - Biblioteca
CC2	23	Facultad de Medicina - Tercer Piso
CC3	21	Hospital Universitario San José – Tercer Piso
<b>PUNTOS DE RED TOTALES</b>	<b>106</b>	

Tabla 3.4. Resumen Puntos de Red del Sector de Medicina.

3.4.1.3 Sector Educación

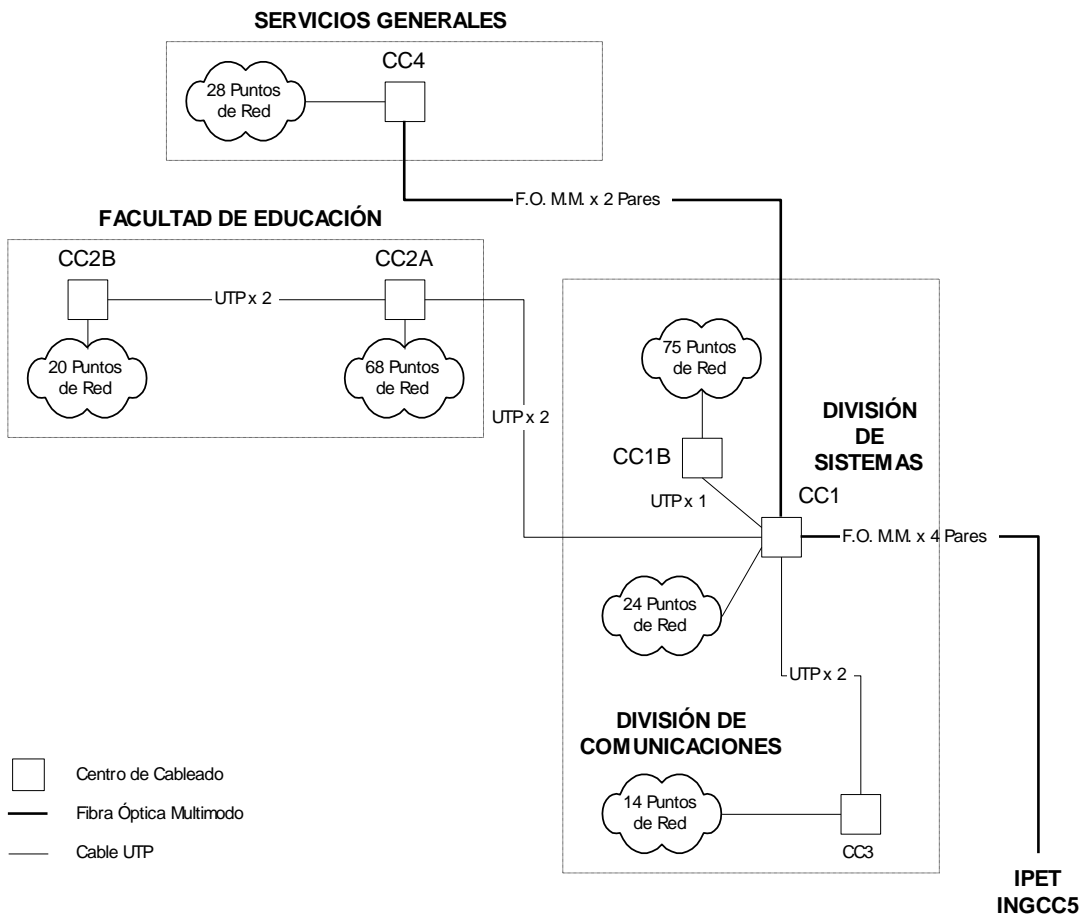


Figura 3.4 Cableado del sector de Educación

La tabla 3.5 presenta la estructura del cableado de red del sector de educación

CENTRO DE CABLEADO	NÚMERO DE PUNTOS DE RED	UBICACIÓN FÍSICA
CC1	24	División de Sistemas
CC1B	75	División de Sistemas
CC2A	68	Edificio Facultad de Educación
CC2B	20	Edificio Facultad de Educación
CC3	14	División de Comunicaciones
CC4	28	Edificio Servicios Generales
<b>PUNTOS DE RED TOTALES</b>	<b>229</b>	

Tabla 3.5. Resumen Puntos de Red del Sector de Educación.

#### 3.4.1.4 Sector Santo Domingo

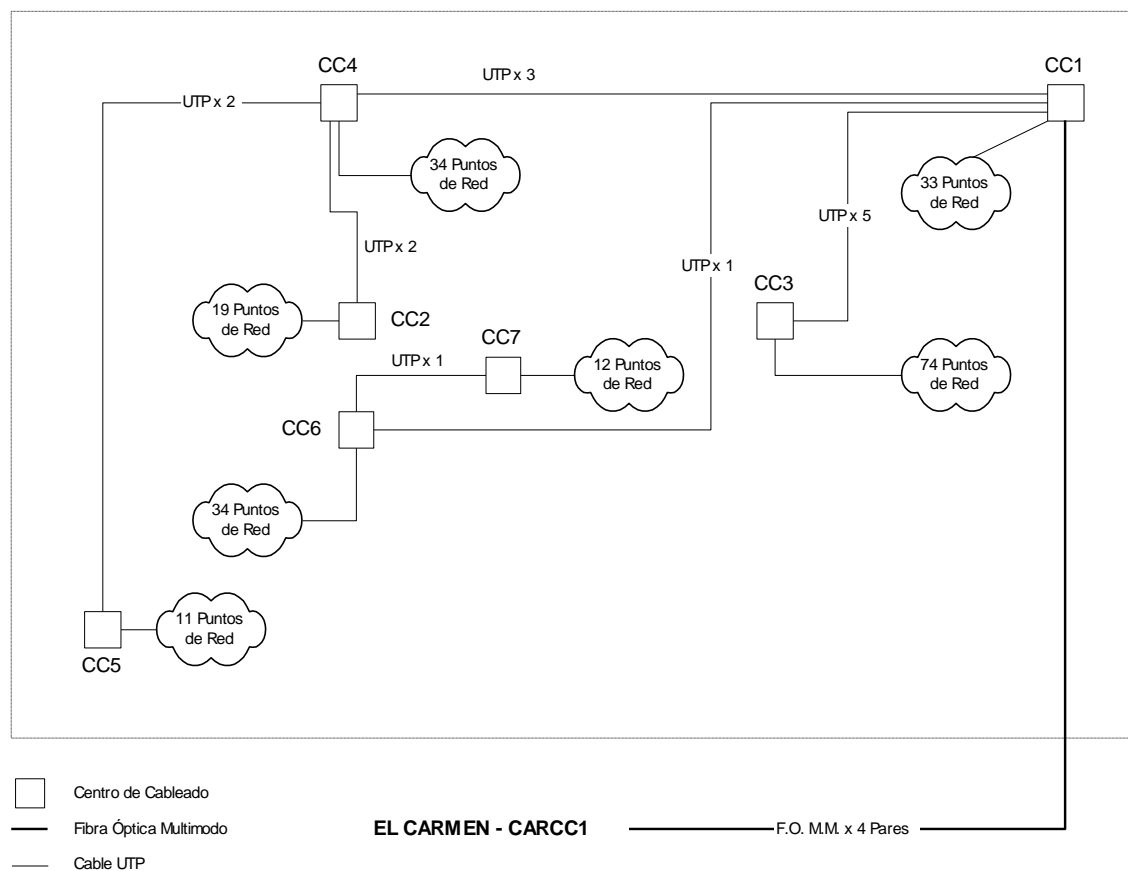


Figura 3.5 cableado del sector de Santo domingo



la tabla 3.6 resume la estructura del cableado de red del sector de santo domingo

CENTRO DE CABLEADO	NÚMERO DE PUNTOS DE RED	UBICACIÓN FÍSICA
CC1	33	Conmutador
CC2	19	Sala de Computo 2
CC3	74	Oficina Personal
CC4	34	Sala de Computo 1
CC5	11	Sala de Profesores
CC6	34	Sala de Informática
CC7	12	
<b>PUNTOS DE RED TOTALES</b>	<b>217</b>	

Tabla 3.6. Resumen Puntos de Red del Sector de Santo Domingo.

### 3.4.1.5 Sector Vicerrectoría de Investigaciones

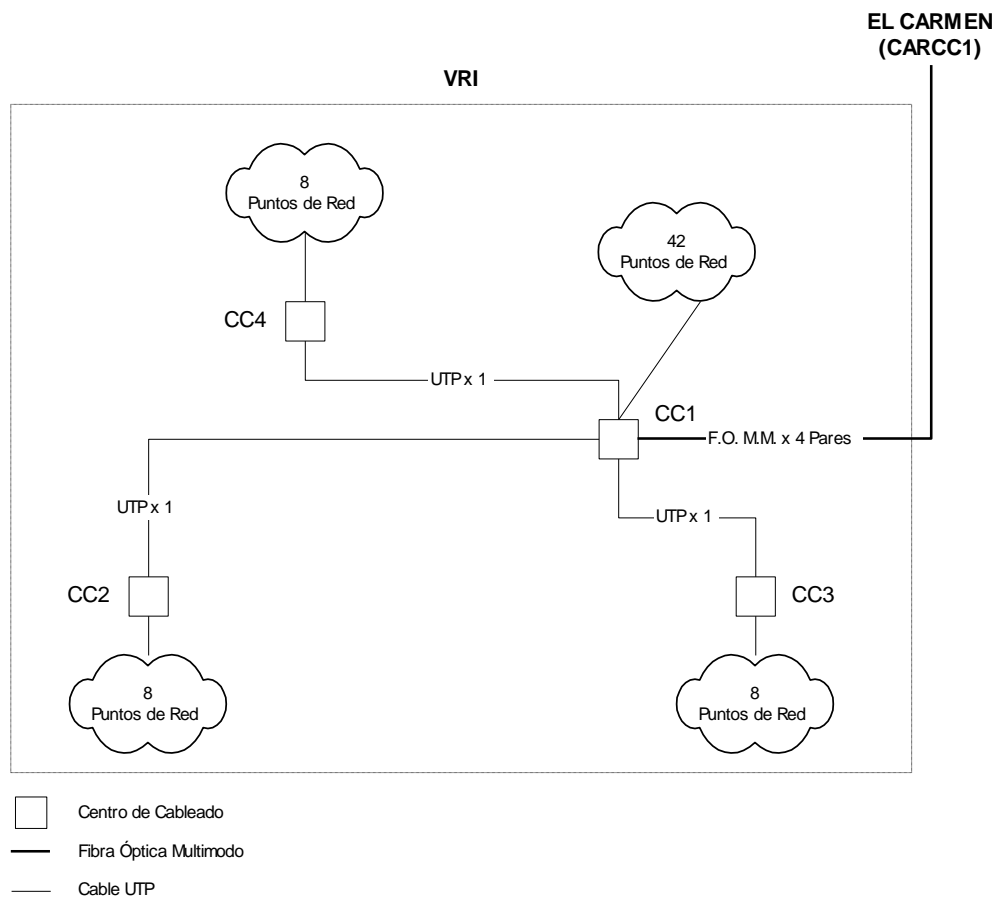


Figura 3.6 cableado del sector de Vicerrectoría de investigaciones

La tabla 3.7 resume la estructura del cableado de red del sector de la vicerrectoría de investigaciones.

CENTRO DE CABLEADO	NÚMERO DE PUNTOS DE RED	UBICACIÓN FÍSICA
CC1	42	Oficina 204
CC2	8	Oficina 212
CC3	8	Oficina 206
CC4	8	Oficina 310
<b>PUNTOS DE RED TOTALES</b>	<b>66</b>	

Tabla 3.7. Resumen Puntos de Red del Sector de la Vicerrectoría de Investigaciones (VRI).

3.4.1.6 Sector del Carmen

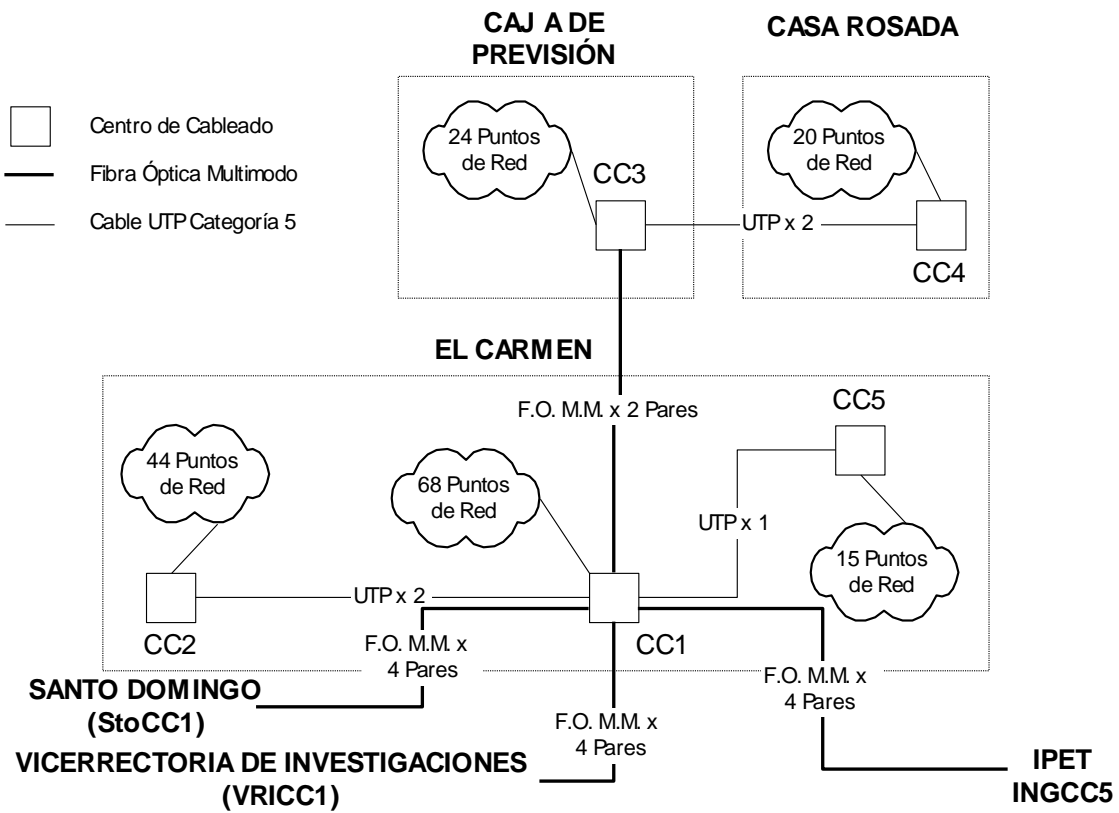


Figura 3.7 Cableado del sector del Carmen

La tabla 3.8 muestra la estructura del cableado de red del sector del Carmen.

<b>CENTRO DE CABLEADO</b>	<b>NÚMERO DE PUNTOS DE RED</b>	<b>UBICACIÓN FÍSICA</b>
CC1	68	Edificio El Carmen
CC2	44	Edificio El Carmen - Oficina 112
CC3	24	Caja de Previsión de la Universidad
CC4	20	Casa Rosada
CC5	15	Edificio El Carmen - Biblioteca
<b>PUNTOS DE RED TOTALES</b>	<b>171</b>	

Tabla 3.8. Resumen Puntos de Red del Sector de El Carmen.

### 3.4.2 Adaptación

Es preciso adelantar labores de adaptación en lugares de reciente conexión así como en aquellos que han sido acondicionados últimamente, casos como el del sector de la Guacas en donde funciona la facultad de ciencias agropecuarias y cuya distancia a las instalaciones centrales de la red de datos de la Universidad del Cauca es relativamente grande lo cual impone restricciones tanto técnicas como económicas en toda iniciativa que pretenda ofrecer servicios a través de las redes que allí se conectan. Por otra parte la facultad de artes no cuenta con una conexión que utilice fibra óptica multimodo y por el momento utiliza un enlace a través de línea telefónica dedicada para cubrir con la demanda de servicios telemáticos que allí se genera, en el momento esta instalada una fibra monomodo de 4 pares con el propósito de soportar el intercambio de información entre los equipos terminales y de gestión de la red. Es preciso añadir que la utilización de la fibra de tipo monomodo presenta serias mejoras en cuanto a desempeño del medio de transmisión por principios de funcionamiento que fueron explicados en el capítulo I.

En cuanto a la cobertura del CCTV para los lugares en cuestión (sector las guacas y facultad de artes) así como para el Archivo Histórico y La Casa Mosquera el desarrollo esta encaminado a prestar el servicio a los mayores puntos posibles, en el caso de la facultad de artes su conexión no presenta mayor complejidad toda vez que la proximidad con los centros de cableado ubicados en el claustro de santo domingo y con los centros de cableado del Carmen facilitan la conexión de esta con toda la red de la Universidad. En este apartado encontramos la descripción mediante planos de la ubicación de auditorios (posibles puntos de transmisión y recepción) emplazados en tales centros. Con relación a la estructura de cableado necesaria para la adecuación y soporte del CCTV se cuenta con varias opciones entre las que encontramos el uso de canaletas para la distribución de la señal

desde el equipo estándar enrutador de video y los equipos de recepción ubicados en los auditorios mediante el uso de cable coaxial siendo esta opción (canaleta) la más viable económicamente pues la relación costo beneficio es sustancialmente mejor comparativamente con otras alternativas como la utilización de los ductos pues esta conlleva gastos de obras civiles que encarecen el costo de la inversión y dificultan el mantenimiento tanto preventivo como correctivo. La selección de la tecnología referente al cable coaxial a usar se describirá en el capítulo IV en tanto que la definición de tecnologías y su escogencia también se abordan en éste, junto con la ubicación y topología en justificación a las necesidades y las posibilidades técnicas y económicas de la red de datos y la dirección administrativa de la Universidad del Cauca respectivamente.

Este proyecto quiere dar cobertura del CCTV y sus servicios a las dependencias de la Universidad que no la tienen. Para ello se ha instalado enlaces de fibra óptica de 4 pares desde El Carmen hacia la Facultad de Artes, y hacia el Archivo Histórico; se espera que la Facultad de Artes soporte a aproximadamente 80 terminales de tipo computacional, y que el Archivo Histórico atienda a 5 terminales más dentro de sus propias instalaciones y a La Casa Mosquera a través de un enlace UTP Categoría 5, que a su vez atienda a 3 terminales. Cabe añadir que si bien estas modificaciones permitirán una mayor facilidad de acceso al CCTV es preciso la adecuación de lugares en donde sea factible la generación y/o recepción de eventos televisados.

La Facultad de Ciencias Agropecuarias (sede Las Guacas) será conectada al IPET a través de un enlace HDSL a 2 Mbps, que irá en par de cobre hasta La Paz, y desde allí se destina un par dedicado hasta Las Guacas. Este edificio atenderá a 40 terminales.

# CAPITULO 4

---

## PLANEACIÓN Y DISEÑO DEL CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN SOBRE FIBRA ÓPTICA.

### 4.1 Planeación

La televisión se ha convertido en la fuerza impulsora de desarrollo en sociedades y algunas veces en naciones enteras, la facilidad de presentar los hechos de forma audiovisual permiten un entendimiento rápido y fácil del contenido; su dominio se ha extendido a campos tan diversos como el entretenimiento, la educación, la seguridad, la política entre otros. Actualmente la televisión es una poderosa herramienta usada para muchos fines dentro de los cuales tenemos la tele-educación y los circuitos cerrados de televisión; estos proveen una programación que se debe orientar según el entorno al que pertenezca, para el caso de la Universidad del Cauca la necesidad de tal circuito cerrado es imperiosa ya que la planta física en algún momento puede ser insuficiente o la cobertura educativa puede verse restringida, debido a la aparición de nuevos programas académicos. Contar con un recurso como el circuito cerrado de televisión propio es una realidad desde hace mucho tiempo en diferentes Universidades de Latinoamérica (como se menciona en el capítulo anterior) permitiendo el desarrollo de sus miembros y la globalización de sus actividades; la implementación de dicho circuito en la Universidad del Cauca garantizará relevantes mejoras tanto en el aprendizaje como en los métodos de enseñanza y a su vez proveería un ambiente propicio para la creación de grupos interdisciplinarios de investigación. La programación debe canalizarse hacia el cumplimiento de la misión y el objetivo social de la Universidad del Cauca.

Antes de empezar con el diseño en sí, es importante determinar varios factores básicos necesarios a tener en cuenta para el diseño del sistema de distribución de TV por fibra óptica, los cuales van a determinar el tipo de tecnologías que se pueden emplear, la distribución de los equipos, tipo de señalización, etc.

#### **4.1.1 Requerimientos de desarrollo**

En el CCTV para la Universidad del Cauca tendrá mucha importancia la adecuada selección de tecnologías y un correcto diseño del mismo, que permitan la implementación de un sistema que se adapte al continuo cambio en las condiciones de operación de la red de la Universidad y las instalaciones físicas de la misma.

✓ El factor económico se debe tener muy en cuenta a la hora de seleccionar la tecnología y configuración del sistema a implementar, ya que la Universidad del Cauca no cuenta con los recursos económicos para financiar un sistema costoso, por lo tanto se debe observar que los costos de implementación del CCTV sean mínimos, sin que esto influya en la calidad del servicio.

✓ Se realizara un diseño que permita la implementación de un sistema flexible, capaz de adaptarse a cualquier servicio que use el video como medio de divulgar información, además la solución a implementar debe ofrecer facilidades de expansión a otras instalaciones de la Universidad, ya sean construcciones nuevas o no cubiertas en la primera fase de instalación. El aumento en el uso de los CCTV con fines educativos, usando las modernas redes de telecomunicaciones de fibra óptica, a nivel mundial, obliga a adquirir tecnologías que ofrezcan gran flexibilidad en cuanto a la capacidad de soportar nuevos canales de televisión que se puedan emplear en futuros servicios como la tele-educación.

✓ La dispersión geográfica de las instalaciones de la Universidad, hace necesario la utilización de tecnologías que permitan enlaces punto a punto de hasta 10Km que es la distancia máxima entre algunas instalaciones de la Universidad.

✓ También es de considerar una alternativa que facilite la prestación de nuevos servicios basados en video y que se puedan soportar en los productos a instalar, permitiendo a su vez, un incremento en el área de cubrimiento del CCTV.

#### **4.1.2 Requerimientos de instalación**

Los equipos a instalar deben ser fácilmente transportables (livianos y de dimensiones reducidas), especialmente el módulo transmisor, ya que éste, permanentemente se deberá trasladar a los lugares donde se realizarán las transmisiones.

✓ La instalación de los equipos debe ser fácil y no debe requerir infraestructura física diferente a

la existente en la Universidad.

- ✓ El consumo de potencia de los equipos a instalar debe ser bajo, de tal manera que no incremente mucho los costos de funcionamiento del sistema.
- ✓ El Cableado que se encarga de la distribución de la señal a los diferentes sitios de proyección deberá proveer el ancho de banda necesario para el transporte de una señal de TV en el formato NTSC.
- ✓ Se debe garantizar que la calidad de la señal se conservara durante todo el trayecto, por lo tanto se considerara el posible uso de amplificadores de video necesarios para tal fin.
- ✓ Es necesario ser cuidadoso en el manejo de los niveles de potencia que se utilizarán, pues es muy importante que la señal entregada por el transmisor corresponda a los niveles recomendados para que la atenuación sufrida por la señal no degrade la imagen de tal forma que el receptor no pueda captarla.

#### **4.1.3 Requerimientos de infraestructura**

El sistema de distribución del CCTV por fibra óptica se soportara en la infraestructura de red de fibra óptica y el sistema de cableado estructurado existentes en la Universidad.

##### ✓ Sistema Principal de distribución:

Como sistema principal de transporte de la señal de televisión a través de las diferentes facultades, se usara el tendido de fibra óptica existente en la Universidad, la cual, como se menciona en el capitulo anterior, esta conformada por aproximadamente un 90% de enlaces con fibra multimodo y un porcentaje restante en fibra monomodo.

##### ✓ Sistema secundario de distribución:

La distribución de la señal a cada uno de los lugares de proyección dentro de cada facultad se llevara a cabo sobre un tendido de cable coaxial, adecuadamente instalado. Para lo cual se hará el mayor uso posible de las canaletas del sistema de cableado estructurado con el que cuenta cada facultad, de tal manera que solo sea necesario implementar un nuevo tendido de canaletas en lugares donde sea imposible contar con estas. En algunos casos se hará necesario hacer uso de la ductería disponible, sin usar, donde sea poco recomendable el uso o instalación de nuevas canaletas.

- ✓ Los puntos tanto de recepción como de transmisión de las señales de televisión se localizaran en puntos estratégicos de fácil acceso al personal universitario (estudiantes, profesores, etc.). Lugares como auditorios, salas de audiovisuales, y en algunos casos lugares abiertos son ideales para la ubicación de estos puntos. Los puntos de Recepción quedaran ubicados de forma permanente en lugares fijos, donde se realizara una transmisión continua de la señal, durante el tiempo que dure la transmisión de un evento, y en lugares donde cualquier persona integrante de la comunidad universitaria se pueda acercar a presenciar las transmisiones. Igualmente, los puntos de transmisión se podrán ubicar en tales lugares, pero de forma temporal.
- ✓ El circuito cerrado de Televisión contará con el apoyo de la división de comunicaciones de la Universidad del Cauca, razón por la cual el nodo principal de transmisión se debe localizar en un punto de fácil acceso al personal encargado de esta dependencia ubicada en la facultad de educación, o por lo menos el operador de este nodo deberá estar en continua comunicación con los organizadores del contenido del CCTV.

#### **4.1.4 Requerimientos de Seguridad**

El CCTV contara con todas las condiciones de seguridad que permitan su correcto desempeño y garanticen la integridad de los elementos que lo compongan.

- ✓ Los elementos para captura y presentación de imágenes que sean de uso del CCTV de la Universidad deben permanecer en lugares seguros, donde se dificulte su extracción de los lugares asignados, por manos ajenas. Por lo tanto deberán estar ubicados dentro de las instalaciones de la Universidad, y con cierto grado de vigilancia con el fin de evitar daños por personas inescrupulosas.
- ✓ Los elementos de red necesarios deben quedar ubicados en lugares protegidos y bajo llave.
- ✓ Los dispositivos electrónicos permanecerán en lugares cubiertos, para protección de la intemperie y fenómenos naturales o eléctricos.



#### **4.1.5 Requerimientos de interfaces y compatibilidad**

- ✓ Los equipos tecnológicos que se adquieran para el funcionamiento del CCTV deberán presentar interfaces de manejo amigables y sencillas de operar.
- ✓ Los equipos a adquirir estarán completamente normalizados para ofrecer compatibilidad con otros de su misma clase.
- ✓ Los dispositivos que interactúan con otros elementos de red existentes, no presentaran ningún tipo de conflictos e incompatibilidades con los anteriores que dificulten el correcto desempeño del CCTV y afecten la operación de otras aplicaciones.

#### **4.1.6 Requerimientos de soporte y mantenimiento**

- ✓ Las tecnologías a emplear deben contar con el respaldo de un trabajo de campo comprobado, basado en la experiencia de varios años de existencia y desarrollo.
- ✓ Los proveedores de equipos contactados deberán ofrecer todas las condiciones de garantía contra daños y soporte de operación de sus productos. Se buscaran proveedores que ofrezcan una amplia documentación sobre el manejo y funcionamiento de los equipos.
- ✓ Se buscaran dispositivos cuyo mantenimiento y gestión no sea complejo de tal manera que estas tareas se vean simplificadas a actividades de configuración y limpieza de los equipos.

#### **4.1.7 Requerimientos de sostenimiento**

##### *4.1.7.1 Sostenimiento de los equipos*

- ✓ El CCTV de la Universidad del Cauca deberá contar con equipos cuyos gastos de sostenimiento solo dependan de las actividades de mantenimiento, ya mencionadas, y gastos de reparación cuando no sean cubiertos por la garantía.
- ✓ La operación de estos equipos no necesitara de la contratación de nuevo personal para su operación, ya que esto no requerirá de mucho tiempo y podrá ser realizado por personal ya contratado por la Universidad.

- ✓ Es necesario que en el futuro, el mantenimiento y operación del CCTV pueda quedar en manos de la facultad de comunicación social como elemento técnico para las practicas, proyectos y demás actividades del programa de comunicación social.

#### *4.1.7.2 Sostenimiento del canal de TV*

- ✓ El canal de televisión que se transmitirá por el CCTV, contara con el apoyo logístico de la división de comunicaciones de la Universidad del Cauca y el apoyo económico de la Vicerrectoría administrativa para su operación durante el ciclo de vida, o por lo menos durante su etapa inicial. Esto requiere de un análisis mas detallado, el cual puede verse en el Anexo 2 (punto 1.2).
- ✓ Dentro del contenido a transmitir por el canal del CCTV, existirá la posibilidad de introducir pautas publicitarias de empresas comerciales que quieran ofrecer sus productos o servicios a través de este canal, permitiendo así la posibilidad de que el canal se pueda autofinanciar después de cierto tiempo de operación.

## **4.2 Diseño del CCTV sobre fibra óptica**

### **4.2.1 Consideraciones Iniciales**

En el diseño del CCTV se ven involucradas las tareas de selección de equipos, ubicación, configuración de los mismos y trazados del cableado necesario para tal aplicación.

#### **4.2.1.1 Consideraciones de diseño del sistema**

Antes de empezar a desarrollar el diseño, se debe estar seguro de tener disponible lo siguiente:

- ✓ Mapas de la configuración del tendido de fibra de la red que muestren la distribución de los segmentos de fibra y todos los puntos de transmisión y recepción.
- ✓ La atenuación de la fibra en el sistema a la longitud de onda de operación, la cual puede afectar

el comportamiento de la señal de video sobre el segmento de fibra.

- ✓ Requisitos de desempeño, específicamente la relación S/N a ser logrado en cada sitio. Hay que tener en cuenta que cada mejora en dB de la relación S/N puede tener un costo tangible asociado a él, hay que estar seguro que la relación S/N es lo suficiente alta para satisfacer la aplicación.
- ✓ Es necesario saber cual es la carga del canal. Cantidades altas de carga del canal reducen la relación S/N que se obtendrá y todos los otros factores se comportaran igual, afectando la calidad del servicio.

#### **4.2.1.2 Alternativas de solución**

Con el objetivo de ofrecer varias formas posibles mediante las cuales se puede implementar el CCTV sobre fibra óptica para la Universidad del Cauca, se plantean dos propuestas, basadas en tecnologías de transmisión basadas en principios diferentes.

De acuerdo a las tecnologías actuales empleadas en los sistemas de distribución de televisión sobre fibra óptica se propone una alternativa de solución, que emplea productos tradicionalmente usados por los prestadores de servicios de distribución de video y televisión como la CATV y aplicaciones de CCTV de seguridad, que transmiten la señal de televisión sobre la fibra, sin hacer uso de algún protocolo de transporte de red, ni técnicas de compresión asociadas a la transmisión de video digital. Teniendo en cuenta la constante evolución de las tecnologías y servicios de red, y en busca de que el CCTV ofrezca el soporte para futuros servicios basados en video, también se propone una alternativa de transmisión digital de las señales de televisión, sobre la plataforma LAN de la Universidad, con productos que permiten la transmisión de paquetes MPEG-2<sup>16</sup> sobre redes basadas en el protocolo IP. Se hace una comparación de las ventajas y desventajas de cada una.

#### **4.2.2 Primera Alternativa: Video sin compresión.**

La primera solución que se propone para la implementación del CCTV para la Universidad del Cauca soportado en la red de fibra óptica, consiste en la utilización de equipos que emplean métodos de transmisión de señales de televisión sobre fibra óptica usando técnicas de modulación sobre una sola fibra óptica según las técnicas expuestas en la sección 2.2.1 de este documento.

#### 4.2.2.1 Características funcionales de la tecnología

Esta alternativa de solución involucra la adquisición de equipos que tienen la capacidad de establecer enlaces punto a punto para transmisión de televisión sobre un solo cable de fibra óptica<sup>17</sup>, tanto en sentidos unidireccional como bidireccional. Estos permiten la transmisión de señales de televisión en cualquiera de los formatos analógicos existentes (NTSC, SECAM y PAL), con calidad igual o superior a la televisión de difusión estándar, haciendo uso de un ancho de banda entre 6 y 12 Mhz. Los fabricantes de esta tecnología ofrecen equipos con capacidad de multiplexación de varios canales de televisión sobre una fibra, por lo cual son altamente usados en sistemas de distribución de televisión como la CATV o en complejos sistemas de seguridad empresariales.

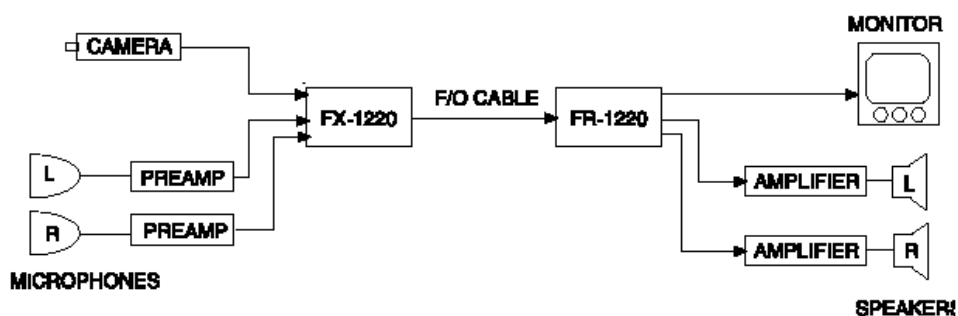


Figura 4.1. Esquema típico de un sistema de transmisión de televisión sobre fibra

En el caso del circuito de Televisión de la Universidad solo se desea implementar un solo canal de transmisión por lo que solo se necesitaran equipos con esta capacidad.

Estos sistemas necesitan de un transmisor y un receptor a cada extremo del enlace óptico en el caso de la transmisión unidireccional o de transceivers a cada lado del enlace para transmisiones bidireccionales. Como se menciona en la sección 2.2.1, estos equipos van "directamente" conectados al equipo de captura de imágenes (cámara de video NTSC, SECAM, PAL) y al otro extremo a un aparato reproductor de video normal (Televisor), sin la necesidad de equipos adicionales, a través de un cable coaxial.

<sup>16</sup> Se escoge MPEG-2 debido a que esta optimizado para uso en televisión, y además, permite mejorar la calidad de la imagen, a medida que aumente la velocidad de la red de la Universidad.

<sup>17</sup> Este diseño requiere de la utilización de una fibra óptica, del backbone de la Universidad del Cauca, para la transmisión exclusiva de video y audio, en dos direcciones. Sin embargo, en caso de no existir una fibra disponible para tal fin, como es el caso del enlace IPET - El Carmen, se pueden adquirir productos con soporte para canales de datos, como se muestra en el anexo 3. Para efectos de reducir la complejidad en el diseño, se supone la disponibilidad de una fibra óptica, en tal enlace.

Para enlaces punto a multipunto estos equipos se pueden complementar con enrutadores de video ubicados en el nodo central de la red, como es el caso de la red de la Universidad del Cauca. Para su funcionamiento la Red de Datos cuenta con un backbone en fibra óptica, el cual a pesar de poseer físicamente una topología de doble estrella, una el IPET y otra en el Carmen, lógicamente tiene una topología de una sola estrella centrada en el IPET (formando realmente un backbone colapsado en el switch del IPET), ya que la estrella que se tenía en el edificio del Carmen fue omitida.

En cada edificio existe por lo menos un switch Ethernet (soporta 10 Mbps dedicados en cada uno de sus puertos) conectado a dicho backbone a través de su puerto de alta velocidad. Este switch a su vez permite la conexión de la red de acceso constituida por los diferentes hubs Ethernet (los que implementan Ethernet compartido) repartidos entre los centros de cableado principal y secundarios y conectados utilizando el cableado estructurado existente basado en UTP Categoría 5.

Debido a estas características de configuración de la red de la Universidad del Cauca es necesario identificar la ubicación de los puntos terminales de los enlaces de fibra óptica, la ubicación de los switches y por tanto de los armarios donde se encuentran, los cuales serán los mismos que darán alojamiento a los dispositivos del CCTV.

Como se observa, es clara la necesidad de una subred de distribución de la señal, desde dichos armarios hasta los diferentes puntos de proyección dentro de las instalaciones. Por lo tanto, es de aclarar que los dispositivos de transmisión/recepción de la señal que viaja sobre la fibra óptica quedarán ubicados en tales armarios, y que en los lugares destinados para la proyección de la señal solo existiría un conector BNC para el video y otro para el audio, donde se conectarán o la cámara de televisión, para la transmisión de un evento, o un televisor en el caso de la proyección de la señal del canal.

#### **4.2.2.2 Modos de presentación**

Básicamente se tienen dos modos de presentación de los programas según los dispositivos empleados en el proceso: Proyección con videobeam y Presentación en televisores convencionales.

##### **✓ Proyección con videobeam**

Esta se haría bien en recintos cerrados (salones, auditorios, etc) o en sitios abiertos donde se pueda apreciar el programa a través de la proyección, esto podría aumentar sustancialmente el número de televidentes por programa.

- ✓ Presentación en televisores convencionales

La limitada capacidad de las pantallas solo permitirá la presentación de los programas en recintos cerrados como los salones y en auditorios de mediana capacidad.

#### 4.2.2.3 Definición de los elementos de la red a utilizar

Para el diseño de esta propuesta se requiere la identificación de la ubicación exacta de los elementos de red existentes con el propósito de determinar cuales pueden servir de apoyo para el CCTV.

- ✓ Ubicación de puntos terminales de la red de fibra óptica

Dentro de cada edificio perteneciente a la Universidad y que cuenta con un enlace de fibra óptica se dispone de un armario de telecomunicaciones donde se encuentran los diferentes dispositivos de enrutamiento que conforman la red como switches y enrutadores. A continuación se muestra la ubicación de los terminales de fibra óptica y por tanto la ubicación de los switches y sus armarios, donde se ubicaran los dispositivos del CCTV. Un gráfico mas detallado se encuentra en la figura 3.1 (conexión entre los edificios de la Universidad del Cauca mediante fibra óptica) en la sección 3.3.2.

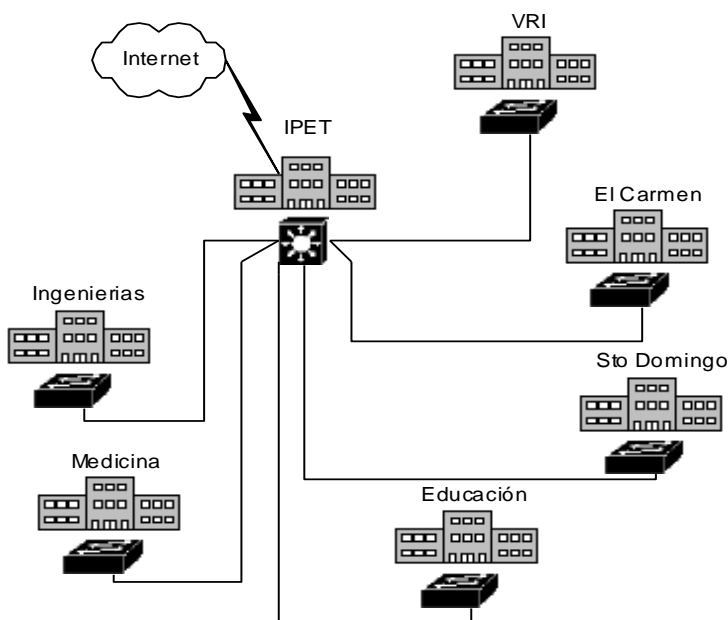


Figura 4.2. Esquema del backbone de fibra óptica de la Universidad del Cauca

✓ Ubicación del switch y enrutador de la red necesarios

Para el enrutamiento de la señal de televisión que viaja sobre la red de fibra se hace necesario el uso de un elemento, ubicado en el nodo central de la red de la Universidad ubicado, en el IPET, que se encargue de dirigir los flujos digitales de video a cada uno de los dispositivos transmisores/receptores. En este caso se puede hacer uso del switch<sup>18</sup> y el router<sup>19</sup> para Ethernet existentes, cada uno de estos se encargará de las conexiones físicas y lógicas respectivamente.

✓ Ubicación del cableado estructurado

Debido a las características de la red de distribución de la señal de televisión dentro de cada edificio es necesario hacer uso de las rutas seguidas por cableado estructurado de la Universidad, con el propósito de no hacer un tendido de cable desordenado como se justifica en puntos anteriores.

La distribución del cableado estructurado y el reconocimiento de la parte de este, que se empleara en esta propuesta se describe en los planos del tendido de cable coaxial en este capítulo. Debido a que las canaletas existentes ya no tienen la capacidad para soportar nuevo hilos de cable, es necesario instalar canaletas paralelas a las existentes para enrutar el cable coaxial para el CCTV.

✓ Ubicación de los puntos de proyección/transmisión

Los lugares donde se podrán colocar puntos para transmisión y recepción de eventos de interés universitario pueden ser ilimitados, pero dadas las características económicas del proyecto, solo se escogerán ciertos lugares estratégicos para este propósito. Para determinar adecuadamente dichos lugares se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

-- Los lugares deben estar localizados dentro de las instalaciones de la Universidad, posteriormente se pueden considerar lugares de espacio abierto como los parques, patios o parqueaderos de los edificios, donde generalmente se concentra un gran número de estudiantes.

---

<sup>18</sup> El equipo Nortel Networks Accelar 1200 es un *switch multilayer* con una configuración basada en chasis con disponibilidad para 2 módulos de conmutación (switch fabric o switching engine) y 6 ranuras de expansión. El equipo de la Universidad cuenta con 1 módulo de conmutación, 2 tarjetas de expansión con 16 interfaces UTP a 100 Mbps Full-Duplex cada una y 1 tarjeta de expansión con 8 interfaces de fibra óptica a 100 Mbps Full-Duplex. Este ha sido configurado en la Red sólo para realizar conmutación nivel 2.

<sup>19</sup> El intercambio de tráfico entre las subredes se hace a través del router Cisco 4000, que tiene una interfaz LAN a 10 Mbps en modo Half-Duplex configurada con las direcciones IP de todas las subredes que conforman la red de la Universidad del Cauca.

- Los lugares destinados para la proyección de la señal estarán ubicados en sitios de fácil acceso a los miembros de la comunidad Universitaria.
- Preferiblemente serán lugares donde se recurra para la realización de eventos especiales de la Universidad como grados, seminarios, proyecciones, etc..
- La capacidad para albergar cierta cantidad de gente que se concentre a observar las proyecciones a través del CCTV, es un requisito importante para tales sitios.
- Se tendrá en cuenta el previo conocimiento que el personal universitario tenga de estos sitios, de tal forma que le resulten familiares y gratos.
- Finalmente, estos sitios deberán garantizar la seguridad necesaria para la ubicación permanente de un dispositivo de proyección de señales de televisión (televisor o proyector).

Después de considerar cada una de las anteriores condiciones y tomando como base lo dicho en la sección 3.3.1 se concluye que, por el momento, los lugares que perfectamente las cumplen, son los auditorios y algunas salas de audiovisuales ubicadas en ciertas facultades (sección 3.3.1).

A continuación se justifica la selección de cada lugar:

-- *Edificio de Ingenierías.*

En el edificio de ingenierías contamos con dos auditorios bastante usados en la realización de actividades académicas como seminarios, congresos de profesionales, dictar clases etc..

Tenemos el auditorio Gregorio Caicedo en el ala nor-occidental de la facultad de ingeniería civil, en el cual continuamente se dictan clases y se presentan seminarios de interés de la facultad de ingeniería civil. Es de fácil acceso a los estudiantes pues se encuentra ubicado entre las aulas de clase y tiene capacidad suficiente para albergar aproximadamente unas 60 personas.

Para la facultad de ingeniería electrónica, se encuentra el auditorio del IPET en el edificio de postgrados con capacidad aproximada de 150 personas. Su acceso no es tan inmediato, pero es un lugar bastante familiar para los estudiantes y profesorado, pues ha sido sede de varios eventos de carácter universitario y eventos de carácter externo a la facultad.

-- *Edificio de Educación.*

En la facultad de educación se encuentra el auditorio de Educación ubicado en el cuarto piso del



edificio, escenario de seminarios de carácter general y de interés para varias facultades. Aunque su acceso no es relativamente inmediato, si se encuentra ubicado cerca a las aulas de clase y oficinas de la decanatura por lo cual es reconocido por los estudiantes de la facultad.

En extremo opuesto a este, se encuentran dos auditorios de Audiovisuales, los cuales son utilizados para toda clase de eventos de carácter audiovisual y por tanto son apropiados para servir como punto de transmisión/recepción de la señal del CCTV, ya que cuentan con dispositivos de proyección de video y audio. Cada uno tiene una capacidad aproximada de 80 personas. En solo uno de estos auditorios, se colocara un punto de conexión al sistema de CCTV.

-- *Edificio del Carmen.*

En el edificio del Carmen se cuenta con dos salas ubicadas en el segundo piso, equipadas con equipos receptores de televisión, las cuales son empleadas para la proyección de material audiovisual de diferentes materias. Al estar ubicadas muy cerca la una de la otra, se descarta la más pequeña y se selecciona la de mayor capacidad, aprox. 70 personas, como lugar para ubicar un punto de conexión al sistema de CCTV.

-- *Edificio de Santo domingo.*

En las instalaciones de santo domingo se tienen dos auditorios, dentro de los cuales se encuentra el mas importante auditorio de la Universidad del Cauca, el paraninfo "Francisco José de Caldas" escenario de múltiples eventos de carácter general como seminarios, graduaciones, encuentros de exalumnos, etc... el cual tendrá un terminal de conexión al CCTV. También se encuentra la sala Benjamin Iragorri la cual es apropiada para la recepción continua de la señal del canal ya que esta sala se encuentra ubicada en un sitio de fácil acceso al personal universitario.

También se ubicara un terminal de conexión al CCTV, en la rectoría de la Universidad del Cauca, pues es de suma importancia que los acontecimientos que giran en torno a esta dependencia sean divulgados a la comunidad universitaria, y que mejor que por este medio.

-- *Edificio de Medicina.*

La facultad de medicina cuenta con dos auditorios de gran capacidad (mas de 150 personas). El auditorio Antonio Lemos es de fácil acceso ubicado en la parte superior del lobby de la facultad, es altamente usado para eventos de carácter nacional, y eventos universitarios. Este cuenta con equipo de proyección para video y audio.

El segundo auditorio - El torreón - se encuentra en la parte posterior del edificio, el cual es altamente empleado para el dictado de clases; resulta adecuado para la proyección continua de la señal del canal de CCTV.

-- *Edificio de Humanidades.*

En estas instalaciones se cuenta con un pequeño auditorio - Luis M<sup>a</sup>. Calderón - de mediana capacidad que al encontrarse a un lado de la entrada principal al edificio, resulta de fácil acceso.

-- *División de Comunicaciones (Estudio de televisión).*

En la división de comunicaciones se encuentra localizado el estudio de televisión del canal 18, por lo cual consideramos que para la generación del contenido a transmitir por le CCTV, se puede hacer uso de los recursos que se encuentren aquí y por tanto ubicar un punto de transmisión aquí.

Veamos en la siguiente figura<sup>20</sup> como están distribuidos los diferentes puntos de transmisión/recepción de eventos en cada una de los diferentes edificios de la Universidad.

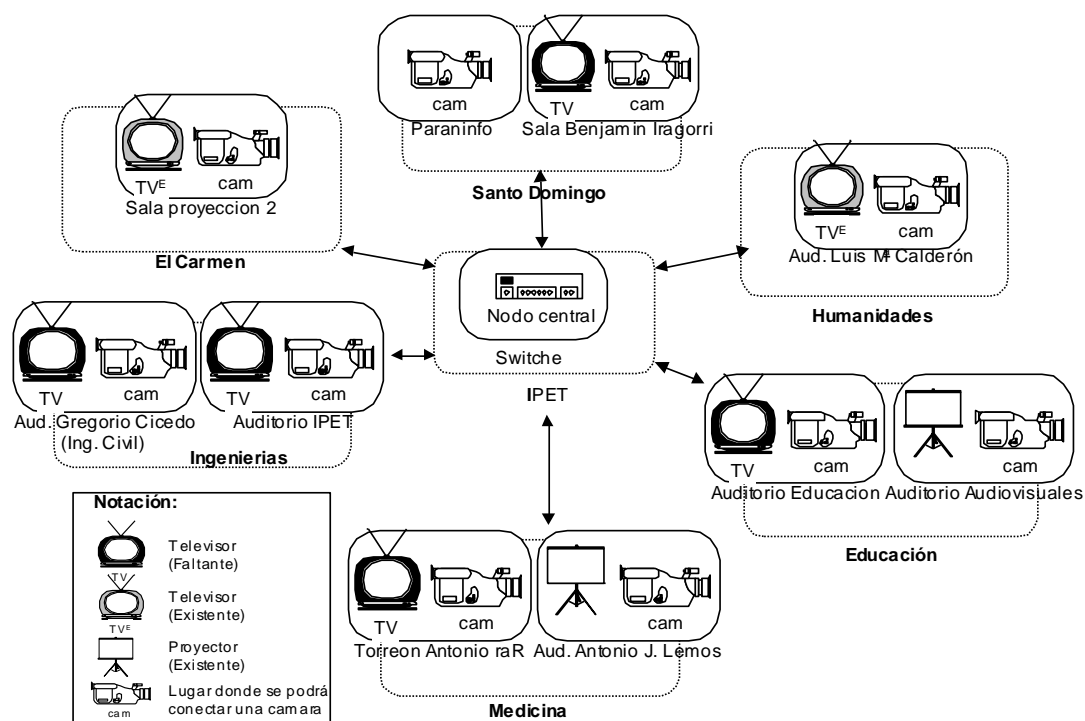


Figura 4.3. Ubicación de los puntos de transmisión/recepción del CCTV<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> En este gráfico se localizan los lugares básicos destinados para la transmisión y recepción del CCTV. Además de los descritos, también estarán conectados (punto de transmisión/recepción) al CCTV, el estudio de televisión en la división de comunicaciones, y la rectoría de la Universidad. No interviene el edificio de las guacas en este diseño, debido a la inexistencia de un enlace por fibra óptica.

#### 4.2.2.4 Identificación de los elementos a utilizar

Los elementos necesarios para la implementación del CCTV para la transmisión de un canal de televisión, que cumplen con los requisitos ya mencionados, usando como medio de transmisión la fibra óptica de la red son los siguientes:

Debido a la característica bidireccional (desde un punto se puede tanto recibir como transmitir) del CCTV se considera necesario dispositivos con esta característica de transmisión y recepción, no simultanea, comúnmente llamados transceivers. El modo de operación de estos dispositivos será controlado por un módulo de enrutamiento en el nodo principal de la red de datos (IPET) que será el encargado de permitir la gestión remota de estos dispositivos.

✓ Transceivers:

Son los dispositivos encargados de la transmisión y recepción de la señal de televisión sobre la fibra óptica. Estos equipos transportan un canal de video banda base en formato NTSC, y dos canales independientes para audio en estéreo, sobre una sola fibra, dependiendo del tipo de fibra, se seleccionan para fibra monomodo o para fibra multimodo. Estos dispositivos tienen LEDs indicadores de diagnóstico para indicar los niveles de la señal de video y audio, y estarán conectados a una fuente de alimentación de 12 V DC o AC. También tienen la característica de detectar automáticamente cuando están recibiendo o transmitiendo una señal, por lo cual no se hace necesario una operación manual o remota de estos.

✓ Switche enrutador de video.

Debido a las características ópticas de la señal a transmitir por los dispositivos seleccionados, los cuales emplean técnicas de modulación digital, este enrutador de video perfectamente se puede implementar con el switche y el router existentes en el nodo central de la red de la Universidad; solo es cuestión de configurar las conexiones en este punto de tal manera que la señal que viene desde un terminal de la estrella se dirija a todos los demás.

✓ Cableado de distribución:

Estará conformado por una red de distribución de cable coaxial que cumple con los requerimientos de ancho de banda exigidos por la señal de televisión.

De acuerdo a ciertos criterios que se deben tener en cuenta para la selección del cable coaxial para la transmisión de video (ver anexo 4), se tiene que el cable mas adecuado para cubrir las distancias de la red de distribución en cuestión, es el cable coaxial RG59/U, con 75 ohmios de impedancia característica.

Para una calidad de video razonable, los cables RG59/U se pueden usar hasta distancias 250m.

Las características de un RG59 pueden ser como sigue:

Conductor interno: cobre SWG22

Impedancia característica: 75 ohmios.

Protector de cobre trenzado.

Capa protectora: mejor que 90-95%

Típicamente un cable RG59 B/U tiene un diámetro aproximado de 6mm y una atenuación promedio de 3dB a 10 Mhz por cada 100m.

Debido a las características de operación bidireccional del sistema, se requieren dos cables coaxial tanto para recepción como para transmisión. Además, por las características de operación de los transceivers (dos salidas para audio y una de video, por cada dirección), se requiere un cable coaxial compuesto de tres hilos para transportar audio y video por separado. Este cable se compra en el mercado como cable blindado dúplex.

✓ Amplificadores de video:

Debido a las especificaciones para el cable coaxial mostradas en el numeral anterior, se descarta la posibilidad del uso de amplificadores para la señal de video, en el cableado de distribución de la señal, debido a que como veremos mas adelante en los planos, las distancias a cubrir con cable coaxial no sobrepasan los 110mts.

✓ Fuentes de alimentación:

Las fuentes de alimentación estarán ubicadas junto a los armarios de equipos en las diferentes facultades y serán fuentes de 12V DC/AC, que es el voltaje exigido por los transceivers para su correcta operación. En caso de no existir en estos armarios una fuente de este tipo se usaran adaptadores XP-1000AW conectados a la red eléctrica de 110V AC

✓ Cámaras:

Se recomienda la adquisición de por lo menos una cámara de video para uso exclusivo del CCTV, con características de portabilidad (livianas, pequeñas, cómodas y fáciles de instalar y manejar) para fines de uso en la transmisión de eventos en tiempo real, dentro de cualquiera de los lugares destinados para tal fin, o donde exista un punto de conexión a la red de distribución del CCTV.

✓ Proyectores:

Para la proyección de la señal transmitida por el canal en los lugares seleccionados para ello se necesita la ubicación semipermanente de un televisor normal o un proyector de video conectados a la red de distribución del CCTV. Como ya se menciona en algunos sitios hacen falta estos

elementos.

✓ Canaletas para el cableado

Para el tendido del cable coaxial de la subred de distribución dentro de cada edificio se debe instalar una canaleta para su protección, siguiendo los parámetros del cableado estructurado.

#### 4.2.2.5 Costos

Para la determinación del costo de implementación del CCTV para la Universidad el Cauca se han considerado varios fabricantes de productos para la distribución de video de los cuales se han seleccionado dos, que cumplen los requisitos de funcionalidad y economía que se necesitan en este sistema, además se calculan los costos comerciales del cable coaxial necesario para la distribución de la señal, así como de conectores, cable para el audio, amplificadores y otros.

✓ Transceivers:

Se han considerado varias marcas de transceivers de señales de televisión que cumplen con las características ya mencionadas tomando como opción mas adecuada los productos del fabricante Meridian technologies ([www.meridian-tech.com](http://www.meridian-tech.com)), serie 600i para transmisión bidireccional de audio y video sobre una sola fibra. Según lo analizado en la sección 3.3.2 y como se muestra en la figura 4.5, se observa la necesidad de:

- 5 transceivers de la serie 600i para operación con fibra multimodo (1300nm) a U\$1.899.<sup>00</sup> la unidad. (total=U\$9.495)

- 1 transceiver de la serie 600i para operación con fibra monomodo (1550nm) a U\$2.749.<sup>00</sup> la unidad.

Lo que da un total de U\$ 12.244.<sup>00</sup>.

✓ Costo del tendido de coaxial.

En la ciudad de Popayán se puede adquirir el cable blindado dúplex a un costo de \$900.00 por metro. De acuerdo al tendido propuesto (ver planos) se requieren aproximadamente 1600 metros de dicho cable, por tanto: \$900 x 1600 metros, nos da:

Costo tendido de coaxial: \$1.1440.000.<sup>00</sup>

✓ Conectores:

Por cada punto de transmisión recepción se necesita un conector BNC, por lo cual es necesario adquirir 11 conectores, los cuales se compran en el mercado a un valor de \$2.000.00 (con su

respectiva caja), por lo cual tenemos que el costo en conectores es:

Costo Conectores: \$22.000.<sup>00</sup>

✓ Cámara de video

La cámara recomendada de acuerdo a sus características de portabilidad, economía y calidad es la cámara Hitachi modelo VMH665LA 2000 que en el mercado extranjero se adquiere por U\$ 499.95 (Precio sugerido por el fabricante). Las características de este producto se pueden ver en el sitio web del fabricante: [www.hitachi.com](http://www.hitachi.com).

✓ Televisores que faltan.

De acuerdo a lo expuesto a lo largo de este capítulo, se ve la necesidad de adquisición de por lo menos 5 Televisores, que de acuerdo a la aplicación, debe ser de por lo menos 24 pulgadas. Entonces, se recomienda adquirir 5 Televisores Sony de 29 pulgadas a un costo de \$ 1.150.000 por unidad, se tiene que:

Costo Televisores: \$5.750.000.<sup>00</sup>

✓ Costo canaletas:

Según la cotización hecha por la empresa que instaló el cableado estructurado para la Universidad, la canaleta metálica de 3 x 7 cm. con división doble tiene un costo de \$7.200 por metro. De acuerdo a la canaleta necesaria para el CCTV, destacada en los planos en color azul, se observa la necesidad de instalación de aprox. 550mts de canaletas.

Por tanto se tiene que:

*Costo canaletas:* \$3.960.000.<sup>00</sup>

Al sumar los costos anteriores (en pesos) obtenemos el costo total de los equipos y elementos necesarios para la implementación del CCTV con esta alternativa.

Costo Total (equipos) del CCTV: \$51.142.280.<sup>0021</sup>

---

<sup>21</sup> Este costo solo cubre la inversión necesaria en equipos para la implementación del CCTV, según la alternativa en cuestión, sin embargo, no se debe olvidar el costo de la mano de obra y otros gastos de instalación.

## 4.2.2.6 Ubicación de los elementos

Una vez determinado los elementos necesarios para la implementación del CCTV sobre fibra óptica, siguiendo las posibilidades que ofrece la tecnología seleccionada, es preciso analizar como se realizará la conexión tanto lógica como física de los dispositivos a usar, además es necesario realizar un trazado del tendido de cable coaxial de acuerdo a la ubicación de los transceivers y la localización de los puntos de transmisión/recepción.

En los siguientes gráficos se muestra el comportamiento lógico y las conexiones físicas sobre la red de fibra óptica de la Universidad, que permitirán el funcionamiento del CCTV implementado con esta tecnología.

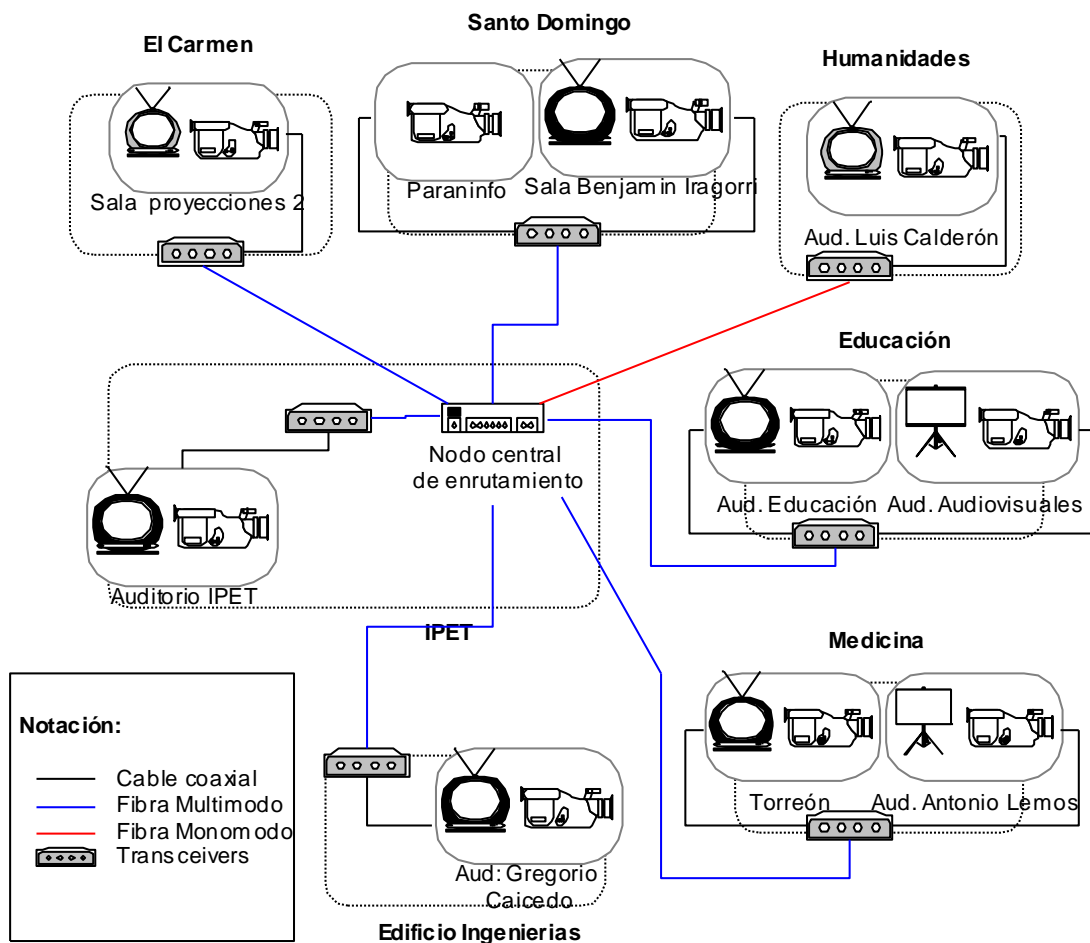


Figura 4.4. Lógica de conexión entre transceivers y el enrutador de video

En el diagrama anterior se observa el comportamiento lógico de las conexiones entre transceivers y el enrutador de video<sup>22</sup>. La lógica de enrutamiento estará concentrado en el este último, mientras que la recepción y transmisión estará a cargo de los transceivers.

### Conexiones físicas.

Como se ha explicado con anterioridad, la red de fibra óptica de la Universidad del Cauca tiene una topología física de doble estrella, una en el IPET y otra en el edificio del Carmen.

Por lo cual en este ultimo se debe hacer uso del switch Ethernet que se encuentra aquí, para poder conectar los transceivers de Santo Domingo y Humanidades. Esto no afectara el funcionamiento lógico del sistema expuesto en el diagrama anterior.

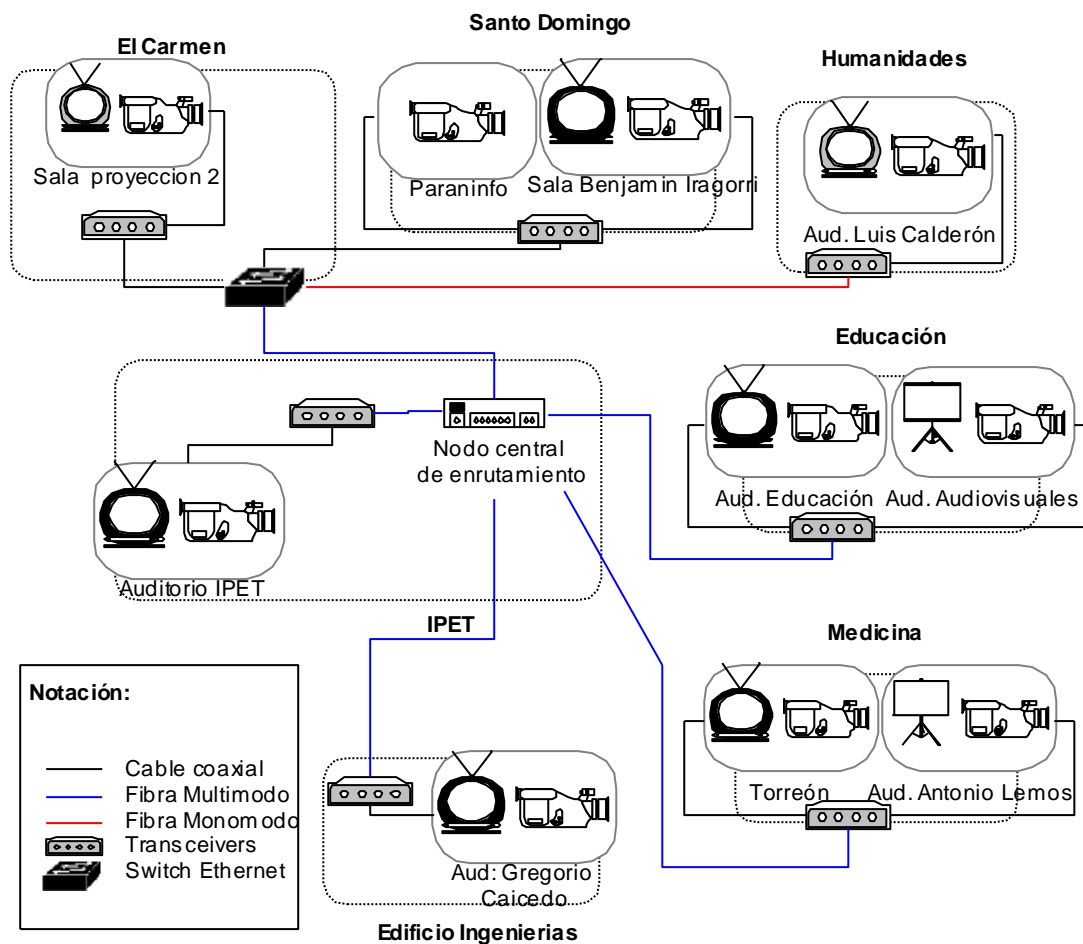


Figura 4.5. Conexión física entre transceivers y el enrutador de video

<sup>22</sup> La funcionalidad de este elemento se conforma con las funciones conjuntas del switch y el router ubicados en el IPET.



A continuación se exponen los planos de las instalaciones en las cuales se facilita el cubrimiento con el CCTV usando esta alternativa. En estos planos se muestra un trazado del tendido de la red de distribución de cable coaxial, sugerido, siguiendo las rutas del cableado estructurado de la Universidad. Como se podrá observar, en algunos segmentos no se cuenta con las canaletas del cableado estructurado por lo cual es necesario la instalación de nuevas rutas que llevaran el cable coaxial hasta los objetivos finales. También se tiene en cuenta los tendidos de ductería eléctrica existente que en algunos casos también resultan útiles para dirigir el cable coaxial. Las medidas que en los planos se muestran son bastante aproximadas, ya que se visitaron los diferentes edificios y se hicieron las medidas pertinentes para plasmarlas en los planos, con lo cual se pudo determinar la escala aproximada de cada uno de los planos, que debido a la diferencia de tamaños de las construcciones, no han sido realizados a una escala única.

En los planos también se ha señalado la ubicación de cada uno de los dispositivos que hacen parte de este diseño, tales como transceivers, televisores existentes, puntos de conexión al CCTV etc.

#### 4.2.2.7 Planos del cableado de distribución

La propuesta para el tendido del cableado de distribución de la señal de CCTV dentro de los diferentes edificios de la Universidad del Cauca que cuentan con un enlace de fibra óptica, se describe sobre los planos de la planta física de los edificios que intervienen en este diseño, consignados en el Anexo 5.

Donde la notación empleada es la siguiente:



Figura 4.5b. Notaciones en el Anexo 5.

### 4.2.3 Segunda Alternativa: Video sobre IP

Debido a la tendencia que están sufriendo los servicios de telecomunicaciones de utilizar la red Internet como medio de transmisión de los diferentes servicios que anteriormente se difundían por el aire, nos vemos en la obligación de analizar la posibilidad de que la implementación del CCTV sobre fibra óptica se pueda realizar utilizando la infraestructura de red basada en el protocolo IP existente en la Universidad, en otras palabras, analizar la viabilidad de la transmisión de televisión sobre IP en una red de datos Ethernet con velocidades de acceso de 10 Mbits, como la de la Universidad del Cauca. Además, como sabemos que es mas que probable que la red de la Universidad próximamente migre a una red de velocidad más alta, es más factible que el CCTV finalmente sea implementado con esta tecnología.

#### ✓ *Justificación.*

Como se menciona en el capítulo 2, las redes Ethernet de 10Mbps pueden ofrecer servicios basados en video comprimido según el estándar MPEG, el cual permite el transporte de señales de video y audio comprimidos con una calidad de imagen relativamente buena con MPEG-1 y con una calidad similar o mejor a la televisión de difusión normal, con MPEG-2, también dijimos que esta calidad del video es afectada por el jitter y el retardo que presenta la red. Sin embargo en una red de área local en la cual el mayor tráfico presente es el del acceso a Internet, y aun mas cuando esta tiene unas características de conformación como la de la Universidad, que actualmente se encuentra relativamente bien organizada jerárquicamente, las posibilidades de prestar servicios basados en video son muy favorables.

El backbone de la red de la Universidad del Cauca funciona implementando Fast-Ethernet en forma conmutada a nivel 2, entregando una velocidad de 100 Mbps en cada uno de los enlaces entre los edificios. En cada edificio existe por lo menos un switch Ethernet, que soporta 10 Mbps dedicados en cada uno de sus puertos, conectado a dicho backbone a través de su puerto de alta velocidad. Este switch a su vez permite la conexión de la red de acceso constituida por los diferentes hubs Ethernet repartidos entre los centros de cableado principal y secundarios y conectados utilizando el cableado estructurado existente basado en UTP Categoría 5, por lo cual se tienen subredes con velocidad de acceso de 10Mbps.

#### 4.2.3.1 Características funcionales de la tecnología

Actualmente existen fabricantes que ofrecen productos para la distribución Multicasting de Televisión en redes IP de alta velocidad, con una alta calidad de video y sonido con la calidad de un CD, que consumen entre 1Mbps y 15 Mbps (dependiendo del nivel de calidad y de la resolución de la imagen) del ancho de banda total de la red de acceso, por canal de televisión en línea, y que pueden ser vistos en cualquier PC por medio de un software de reproducción MPEG, como el Microsoft media player que viene instalado en todos los PCs basados en Microsoft Windows. El consumo de ancho de banda depende en gran parte de la resolución con que se transmite el video, por ejemplo, para dispositivos que transmiten MPEG1 (calidad baja) con una resolución de 176x112 en el formato NTSC consume 1.5Mbps de ancho de banda. En la tabla 4.1 se muestran las relaciones de compresión, resolución y ancho de banda.

Compresión	Resolución (Calidad)	BW necesario
MPEG-2 Full D-1	704x480 (calidad DVD)	15 Mbps
MPEG-2 Half D-1	352x480 (calidad TV de difusión)	5.5 Mbps
MPEG-1 SIF	352x240 (calidad videoconferencia)	3 Mbps
MPEG-1 QSIF	176x112 (calidad videoconferencia)	1.5 Mbps

Tabla 4.1: nivel de compresión, resolución y Ancho de banda, del video MPEG.

Los fabricantes ofrecen dispositivos que codifican la señal analoga de televisión entregada por una cámara de video normal (NTSC, SECAM o PAL) y la transmiten en forma de paquetes MPEG-1 o MPEG-2, a través de una red de datos.

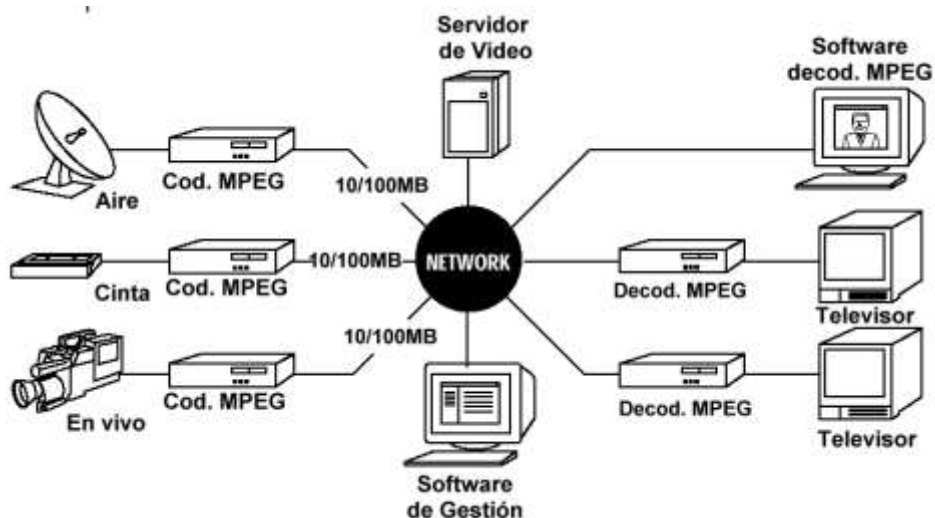


Figura 4.6. Facilidades para la transmisión de video sobre redes basadas en IP.

Los dispositivos se conectan a la red, como cualquier otro periférico, por medio de un par de conectores RJ45, estos equipos vienen en versiones MPEG-1 o MPEG-2 independientes entre si. En la figura anterior se observan algunas de las facilidades que estos productos ofrecen, para transmitir señales de televisión provenientes desde el aire, cámaras de video, video cintas, o servidores de video, sobre redes basadas en el protocolo IP. Estos dispositivos se consiguen para un canal o para multiplexar varios canales.

#### **4.2.3.2 Definición de los elementos de la red a utilizar**

En esta alternativa solo se requiere el uso de un punto de conexión a la red (conector **RJ45**) para conectar los dispositivos a esta, todas las capacidades de transmisión IP de la red de datos y entre un 15% y 50% del ancho de banda total de acceso.

#### **4.2.3.3 Identificación de los elementos a utilizar**

Lo único que se necesita para distribuir televisión sobre una LAN como la de la Universidad del Cauca, además de la red y los PCs que recibirán la señal, es un equipo codificador a MPEG2. Se escoge un equipo de codificación MPEG-2 ya que es el estándar que esta orientado a brindar la mejor calidad de televisión. Aunque consume más ancho de banda que los Equipos codificadores en MPEG-1, se ha tenido en cuenta la constante evolución que esta sufriendo la red de la Universidad del Cauca para alcanzar velocidades de transmisión mayores, lo cual permitirá que la obsolescencia de los equipos no sea a corto plazo, sino que por el contrario sean más eficientes cuando la red sea más veloz. Por el momento no se podrá disfrutar de una calidad DVD, pero sí de una calidad similar a la de la televisión de difusión, con un ancho de banda de 5Mbps.

##### ✓ Transmisor:

Se dispone de un equipo transmisor con capacidad de compresión MPEG-2, con posibilidad de configuración escalable del ancho de banda a utilizar, entre 1Mbps y 15Mbps, dependiendo de la resolución y la calidad. Este dispositivo es compatible con cualquier red basada en IP (ATM, Ethernet, Gigabit Ethernet...) y operara bajo el formato de televisión NTSC.

##### ✓ Receptor: (Software para PCs)

Software decodificador de paquetes MPEG-2, instalados en cada uno de los PCs conectados a la red de datos de la Universidad del Cauca, el cual se comprara a la empresa que vende el transmisor ya que este software es diseñado especialmente para optimizar la señal enviada por el transmisor. Este

software permite guardar en disco el video que se recibe.

#### 4.2.3.4 Costos

Después de comparar varios vendedores de esta tecnología se decide recomendar los productos de la empresa Norte Americana Vbrick systems, Inc. La cual en su sitio en Internet ofrece una información muy completa sobre sus productos y las diversas aplicaciones en los que se pueden emplear, presentando además, ciertas ventajas económicas frente a otros.

Esta empresa ofrece un kit básico de productos que permiten una fácil integración de servicios de distribución de video sobre una red IP. Kit que llaman etherneTV que incluye los siguientes elementos, los suficientes para el objetivo de nuestra aplicación:

*Equipo codificador(Tx): VBrick 6000 (MPEG-2)*

*StreamPlayerII: Software de reproducción con licencia para una red corporativa.*

*A/V Cable, Serial Cable, Ethernet Cable: cables de conexión*

*Quick Start Guide: Guía de usuario*

*White Paper Available: Guía del producto*

Este paquete es ofrecido a un costo de U\$16,995.<sup>00</sup> (con licencia de StreamPlayer para un empresa con varios edificios, como el caso de la Universidad del Cauca) o a un costo de U\$11,995.00 (con licencia de StreamPlayer para un edificio). Las características de este producto se pueden consultar el Anexo 3 o visitando la dirección del fabricante: [www.vbrick.com](http://www.vbrick.com) .

Por lo tanto el costo total del CCTV para la Universidad del Cauca, implementado con tecnologías de video sobre IP, se determina por el valor de este paquete mas el valor de una cámara de video NTSC (la cual se recomienda adquirir para uso exclusivo del CCTV). Esta puede ser una cámara Hitachi modelo VMH665LA 2000, la cual se puede adquirir por U\$499.95 (precio sugerido por el fabricante). las características de este producto se pueden ver el anexo 3 o visitando el sitio web del fabricante: [www.hitachi.com](http://www.hitachi.com) .

- Luego el costo total del CCTV (según la alternativa 2) es de aproximadamente:  
**U\$17.500.00.**

#### 4.2.3.5 Ubicación de los elementos

Como se ha indicado este dispositivo se podrá ubicar en cualquier sitio donde exista un punto de conexión a la red.

La red de datos de la Universidad del Cauca cuenta con un cableado estructurado que prácticamente cubre un muy alto porcentaje de las instalaciones de la Universidad, por lo cual se tiene que en cada facultad existe por lo menos un punto de red. En realidad son muchos mas, debido que prácticamente todas las oficinas de las diferentes decanaturas, las oficinas administrativas, las salas de computadores y algunos auditorios cuentan con puntos de conexión a la red.

Debido a las características de portatilidad de los equipos transmisores, estos se pueden instalar en cualquiera de estos sitios mencionados, de una forma fácil y rápida, solo es necesario configurar la dirección IP del dispositivo.

Por lo tanto, no es significativo plantear una ubicación exacta de todos los posibles sitios donde se pueda transmitir un evento por este medio, ya que solo es cuestión de buscar un punto de red de los existentes en las instalaciones de la Universidad. Por lo tanto solo se hablará de los lugares seleccionados anteriormente en el punto 4.2.2.2 para la recepción/transmisión de eventos, lugares en los que debido a sus características ya mencionadas son apropiados para tal fin.

En la tabla 4.2 se muestran los lugares que cuentan con un punto de red y los que no tienen.

Instalación	Lugar (Auditorio)	Puntos de red?
Edificio de Ingenierías.	Aud. Gregorio Caicedo	SI
	Aud. IPET	SI
Edificio de Educación.	Sala Audiovisuales	SI
	Aud. Educación	SI
Edificio de Santo domingo.	Paraninfo	SI
	Sala Benjamin Iragorri	SI
Edificio de Medicina.	Aud. Antonio Lemos	SI
	Torreón	NO
Edificio del Carmen.	Sala audiovisuales	SI
Edificio de Humanidades.	Aud. Luis M <sup>a</sup> Calderón	NO
División de Comunicaciones.	Estudio de TV	SI
Edificio las Guacas	Sala de PCs	SI
Edificio VRI	Oficinas	SI

Tabla 4.2 : Auditorios de la Universidad del Cauca, con puntos de red.

En esta tabla se observan dos edificios más, a los cuales resulta muy fácil cubrir con esta tecnología, sin embargo la facultad de Agroindustrial por ahora no podría hacer uso de este servicio ya que el

enlace de acceso vía radio entre sus instalaciones y el IPET aun es de muy baja capacidad (2Mbps). También se puede observar que en solo dos auditorios no se cuenta con puntos de red, pero debido a que cerca de estos si existen puntos de red, no se considera necesario hacer la cobertura a estos sitios.

Nota: En los planos de trazado de cable coaxial para la alternativa de solución 1 (Anexo 1) se muestra la localización exacta de los puntos de red existentes en los auditorios, de cada facultad.

#### **4.2.4. Ventajas y desventajas de cada alternativa**

A continuación se hace una comparación de las ventajas y desventajas que cada alternativa presenta en comparación con la otra.

##### **4.2.4.1 Primera Alternativa: Video sin compresión**

###### **✓ Ventajas**

- Independiente de la plataforma de red existente.
- No hace uso del ancho de banda de la red de datos, y por tanto no disminuye la velocidad de ejecución de las aplicaciones de red de la Universidad (aunque actualmente son pocas).
- Calidad del video excelente, independiente de la resolución de la imagen (la imagen cubre la pantalla), independiente del trafico de la red y no necesita compresión.
- Video en tiempo real con un 100% de continuidad del video con cero posibilidades de retardos de la imagen o el audio.
- Los transceivers bidireccionales permiten la creación de videoconferencias interactivas.
- Solo un transceiver por terminal de fibra óptica, o sea por edificio.

###### **✓ Desventajas**

- Necesita de una fibra óptica disponible para uso exclusivo, y no permite el uso para otras aplicaciones de datos, a menos que los transceivers adquiridos tengan la característica de enviar canales de datos al lado del video y el audio del canal de CCTV.
- Especialmente para proyección en televisores, también en PCs pero necesita dispositivos de adaptación por cada PC.
- Necesita tendido adicional de cable coaxial para la red de distribución de video, que debido a las distancias entre los puntos de conexión y los transceivers, es necesario un tendido estructurado y en cierto modo, de instalación compleja.
- Por las características tecnológicas presenta poca flexibilidad al seleccionar los lugares para

la transmisión/recepción de eventos. Los lugares seleccionados siempre serán los mismos determinados a la hora de implementación del CCTV, y solo se podrá crear un nuevo punto haciendo un tendido de cable coaxial por cada punto, que se encuentre lejos del tendido existente.

#### **4.2.4.2 Segunda Alternativa: video sobre IP**

##### **✓ Ventajas**

- Usa las capacidades y recursos de la arquitectura de red IP existente.
- No necesita subutilizar cables de fibra óptica, sino que por el contrario permite compartir el medio con otras aplicaciones.
- No necesita tendido adicional de cable, para la distribución los lugares de proyección, ya que para esto se usa el cableado estructurado existente de la Universidad.
- Un solo dispositivo transmisor, para transmitir a todos los PCs de la Universidad conectados a la LAN. También se puede recibir la señal en un TV normal adquiriendo un decodificador MPEG-2.
- Sus características de portabilidad y de fácil instalación permiten que este se pueda localizar en cualquier punto de la red, para la transmisión de eventos desde cualquier parte de la Universidad.
- Flexibilidad para la implementación de servicios basados en video como teleeducación, aplicaciones de seguridad, video sobre demanda, videoconferencias, mas canales de TV (solo se necesita adquirir otro transmisor) etc.
- La calidad de la imagen se podrá mejorar hasta una calidad DVD cuando se presente una evolución de la red de la Universidad.
- El software de reproducción puede ser cualquier decodificador de MPEG-2 como el Microsoft Media Player, Real Player etc., también se puede adquirir el software ofrecido por el fabricante de los codificadores MPEG-2 el cual ha sido optimizado para trabajar con tales productos.
- Presenta un software de gestión con componentes SNMP, muy fácil de manejar.
- Mas ahorro en gastos de instalación, frente a la alternativa 1.

##### **✓ Desventajas**

- Hace uso de un alto porcentaje del ancho de banda de la red de datos, y por tanto disminuye la velocidad de ejecución de las aplicaciones de red de la Universidad.
- El ancho de banda consumido depende de la calidad de la imagen. El video con calidad DVD necesita 15Mbps en la red de acceso, mientras que video con calidad de TV de difusión y aproximadamente con tamaño de media pantalla consume entre 4.5 y 5Mbps.



- La calidad del video depende del nivel de compresión, y la resolución de la imagen.
- Existe el riesgo de perder la continuidad en el movimiento de las imágenes debido al jitter y retardo producidos por la red.
- Para visualizar las transmisiones en un Televisor normal, es necesario la adquisición de un decodificador MPEG, el cual es costoso (ver anexo 3).

#### **4. 2.5 Conclusiones de diseño**

A continuación se consideran algunos puntos que se deducen a partir de los dos diseños propuestos:

1. La implementación de un CCTV con capacidad para un solo canal, usando la primera alternativa tecnológica, resulta desfavorable en cuanto a la utilización del medio de transmisión (fibra óptica) se refiere; debido al uso de productos fabricados especialmente para aplicaciones de transmisión de video y audio. Estos fabricantes ofrecen dispositivos que soportan la transmisión de un mayor número de canales por una sola fibra, por lo cual en aplicaciones como CCTVs de vigilancia y Sistemas de CATV, donde los canales manejados son muchos, esta tecnología si permite un buen uso del medio. Sin embargo, también se ofrecen dispositivos con capacidad de multiplexar varios canales de datos, video, y audio sobre una sola fibra, a cambio de un incremento en los costos de los equipos, y un aumento en la complejidad de las conexiones.

2. El diseño planteado en este documento, se soporta en la disponibilidad de un cable de fibra para uso exclusivo del transporte de video. Sin embargo, debido a que en el enlace óptico entre el IPET y el edificio del Carmen no existe una fibra disponible, se pueden reemplazar los transceivers propuestos por otros (ver anexo 3) con soporte para canales de video, también ofrecidos por las marcas propuestas.

3. Debido a las características económicas, funcionales, actualidad tecnológica, cobertura y de flexibilidad para la adaptación de nuevos servicios, se puede observar que la propuesta número 2 es la más práctica para llevar a término en la Universidad del Cauca. La implementación del CCTV, con base en la alternativa 1, requiere de una inversión más alta, debido a los gastos involucrados en la instalación del cableado de distribución, entre los cuales se tienen: cable coaxial, canaletas, mano de obra, transporte de materiales, apertura de huecos en paredes, etc. Mientras que con la alternativa 2, solo es cuestión de conectar a la red y configurar el Codificador de video y ya se tiene un canal de televisión, que se podrá observar en cualquier PC de la Universidad donde se instale el software visualizador.

## **CONCLUSIONES**

El uso masivo de la fibra óptica por parte de los prestadores de servicios de telecomunicaciones ha demostrado elocuentemente las ventajas de este medio de transmisión tanto de desempeño como de capacidad de soporte para los diferentes servicios ofrecidos en la era de las comunicaciones.

El avance tecnológico ha permitido mejorar considerablemente las prestaciones de la fibra óptica mediante técnicas de modulación como DWDM llegando incluso a la imposibilidad de utilizar completamente el potencial de la misma; toda vez que los dispositivos electrónicos existentes no alcanzan el ancho de banda permitido por la fibra.

El mayor número de aplicaciones de redes y que utilizan fibra óptica como medio de transmisión están soportadas comúnmente en fibras monomodo, ya que sus ventajas y posibilidades superan ampliamente las de las fibras multimodo.

Las nuevas técnicas de fabricación han permitido obtener fibras ópticas de ultrabajas pérdidas permitiendo así la reducción sustancial de repetidores entre distancias cada vez mas largas (tanto como 100Km) de instalación.

Actualmente los protocolos de las redes tienden a una unificación con fines de mejor desempeño y compatibilidad; esta transformación no ha sido ajena a la fibra óptica y sus sistemas de transmisión de señales ópticas; lo que ha proporcionado un panorama cada vez mas claro respecto a la interacción rapida de todas las redes (LAN, MAN, WAN, etc.)

En la transmisión de televisión sobre cable se observa claramente como la empresas del sector han ido progresivamente utilizando la fibra óptica desplazando el cable coaxial y permitiendo la oferta de nuevos servicios; se prevé que la nueva infraestructura permitirá asociaciones de empresas de telecomunicaciones mucho más robustas que emplearán durante mucho tiempo (por su relación costos/beneficio) la fibra óptica en especial la monomodo y combinando en ocasiones con la tecnología satelital.

Es de vital importancia realizar la migración de la red de datos de la universidad del cauca a una red de alta velocidad; dicha migración debe incluir el cambio de plataforma existente (Ethernet) hacia una de mejores prestaciones (ATM, Frame Relay, etc.) implicando el cambio de dispositivos y de técnicas de codificación y transporte; así mismo debe incluir el cambio de fibra óptica multimodo por fibra monomodo que opere a 1550 nm.

El enlace a la facultad de Ciencias Agropecuarias deberá así mismo realizarse mediante la utilización de fibra óptica monomodo; permitiendo de esta forma hacer una inversión razonable teniendo en cuenta que es una solución a muy largo plazo y que permitirá la adopción de nuevas tecnologías sin ningún tipo de traumatismos, evitando de paso inversiones posteriores en servicios de adaptación y mantenimiento.

El proceso de digitalización de la televisión a nivel mundial determina también el uso de fibras ópticas sin ningún reparo de adaptabilidad de sistemas de modulación o de codificación.

Como se deduce de la información suministrada anteriormente, se daría una mayor cobertura del CCTV si se emplea una alternativa digital toda vez que la red cuenta con un número elevado de equipos de cómputo.

Actualmente el avance de las tecnologías de telecomunicaciones sobre fibra óptica permiten la prestación de servicios basados en la distribución de video y audio como la televisión, usando este medio como sistema de transmisión, donde la transmisión de estas señales de televisión se puede realizar tanto de forma analógica como digitalmente codificado. Siendo esta última, cuando se realiza transmitiendo la señal digitalmente codificada directamente sobre la fibra óptica, la que permite una transmisión de televisión con una imagen con calidad DVD, imposible de alcanzar con otra técnica de transmisión.

Cuando la transmisión de televisión digitalizada se realiza sobre una plataforma de red basada en el protocolo TCP/IP de poca velocidad se dificulta la prestación de servicios de televisión en tiempo real debido al congestionamiento de red que generan estos servicios que requieren un gran ancho de banda. Es por eso que los servicios de difusión de televisión, televisión interactiva y educativa que se soportan sobre estas plataformas, funcionan sobre redes de alta velocidad como ATM, SDH/SONET y Gigabit Ethernet que proveen la capacidad necesaria para dar soporte a este tipo de servicios de alta calidad.

Dentro del mercado que genera la distribución de TV sobre fibra óptica existen vendedores y fabricantes que ofrecen una gran variedad de productos para soportar cualquier servicio que

involucre la transmisión de video y Audio, desde equipos para la multiplexación de un gran numero de canales de televisión hasta equipos para la transmisión de un solo canal sobre una fibra óptica.

La prestación de servicios basados en la Universidad del Cauca como el Circuito Cerrado de Televisión, soportados en la plataforma de red IP existente, solo es rentable si esta red evoluciona a una red de alta velocidad, ya sea ATM o una red Gigabit Ethernet, incluso con solo evolucionar a una red Fast Ethernet ya es posible la implementación del CCTV transmitiendo con una calidad de televisión de difusión.

## GLOSARIO

### A

**Ancho de Banda (Bandwidth):** Rango de frecuencias que un cable de fibra óptica o coaxial puede transportar con una mínima distorsión. Es también la frecuencia a la cual la potencia de la señal queda reducida a su 50% (-3 dB) como resultado de los efectos de la atenuación y el ruido en el cable coaxial y debido a la dispersión, reflexión y absorción en la fibra óptica y está expresada en Megahertz x kilómetro (MHz x Km). Indica la capacidad de información de una fibra óptica, cable coaxial o de otros medios de transmisión.

**Armario (Rack):** Estantes que se utilizan para montar los pathpanel, hubs, routers, entre otros.

**Asíncrono:** Una señal que no está sincronizada con el reloj de la red.

**Atenuación, Cable Coaxial:** Disminución de potencia en la señal en un cable coaxial. Se expresa generalmente sin su signo negativo en dB o dB/km.

**Atenuación, Fibra Óptica:** Disminución de potencia lumínica en una fibra óptica. Se expresa generalmente sin su signo negativo en dB o dB/km. Cuando se especifica la atenuación, es muy importante indicar la longitud de onda utilizada. La atenuación en una fibra óptica es diferente para distintas longitudes de onda.

**ATM (Modo de Transferencia Asíncrona):** Protocolo estándar de comunicación que utiliza paquetes de 53 bits y que se encuentra definido en el Nivel 2 (datos del enlace) del modelo OSI.

### B

**Backbone:** Porción de cableado que concentra las redes locales de una gran organización, como una fábrica o un campus universitario.

**Banda Ancha (Broadband):** Régimen de datos igual o superior a 45 Mbps (o DS3).

**BER (Bit Error Rate):** Relación de bits recibidos con error respecto a los bits enviados. Es normal un BER de  $10^{-9}$  (un bit de error recibido sobre mil millones de bits enviados).

## C

**Canalizado vertical:** Conducto vertical o espacio entre pisos de un edificio, utilizado para el enrutamiento de los cables. También se denomina así al código de resistencia al fuego de los cables.

**Coefficiente de Atenuación:** Coeficiente de atenuación de la fibra óptica en dB caracterizado por unidad de longitud, esto es en dB/Km.

**Conector:** Conexión fácilmente separable de dos conductores de cable coaxial.

## D

**Digital:** Formato de onda de datos binarios que sólo tiene dos niveles físicos, correspondientes a ceros y a unos.

**Ductería:** Sistema de tubería o tubo por donde van los cables de la red eléctrica, telefónica, etc.

## E

**Enrutador:** Es un dispositivo LAN que opera en el modelo OSI de red y se utiliza para interconectar dos LAN distintas o dos redes entre sí.

## H

**HFC (Híbrida Fibra/Coaxial):** Red de distribución compuesta tanto por fibra óptica como por cable coaxial.

## I

**Impulsos de sincronización:** Serie de pulsos eléctricos que controlan la velocidad de barrido horizontal y vertical tanto en una cámara como en un receptor de televisión.

## L

**LED (Light Emitting Diode):** Acrónimo que corresponde a «diodo emisor de luz». Elemento semiconductor que produce luz no coherente cuando circula por él una corriente eléctrica.

## M

**Modo (Mode):** Onda simple electromagnética de luz que satisface las ecuaciones de Maxwell y las condiciones de contorno impuestas por la fibra. Se puede considerar simplemente como el camino de un rayo de luz por el interior de una fibra óptica.

**Modulación:** Alteración de la onda portadora de forma que pueda transportar otra señal de información. La modulación óptica involucra la alteración de la amplitud o la frecuencia para trasladar la señal de información.

**Multiplexación por División de Longitud de Onda:** Combinación de dos o más señales ópticas de diferentes longitudes de onda.

## P

**Protocolo:** Conjunto de reglas que hacen posible la comunicación de datos.

**Punto de Red:** Punto de conexión a una Red de Area Local.

## R

**Radio de Curvatura Mínimo:** Radio mínimo con el que puede doblarse un cable coaxial o un cable de fibra óptica sin originar efectos adversos en las características de los cables o de las fibras.

**RS-250C:** Estándar que define los requerimientos técnicos para la transmisión de televisión en color sobre cualquier medio.

## **S**

**Síncrono:** Una señal que está sincronizada con el reloj de la red.

**SMPTE (Estandar):** Los estándar SMPTE son normas estrictas y claras para las diferentes tasas usadas en películas, videos, e industrias de televisión.

## **T**

**Tasa de Datos (Data Rate):** Número de bits de información que pueden ser transmitidos por segundo. Expresados en Gbps, Mbps, kbps o bps.

**Throughput:** Número medio de paquetes entregados exitosamente a los receptores entre el total de paquetes transmitidos.

**Transmisor óptico:** Unidad electrónica que convierte las señales eléctricas en señales ópticas.

**Transceiver:** Dispositivo electrónico que recibe y transmite simultáneamente.



## ACRONIMOS

<b>A/D</b>	Analógico/Digital
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line (Linea Digital Asimétrica de Abonado)
<b>AM/BLV</b>	Modulación AM con Banda lateral única.
<b>AM/BLV</b>	Modulación AM con Banda lateral vestigial.
<b>ASK</b>	Amplitude Shift Keying (Modulación Digital de Amplitud)
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode (Modo de Transferencia Asincrónico)
<b>ATMS</b>	Advance Traffic Management System (Sistema de Gestión de Trafico avanzado)
<b>BER</b>	Bit Error Rate (Tasa de Error de Bits)
<b>CATV</b>	Community Antenna Television (Televisión por Antena Comunitaria)
<b>CCTV:</b>	Circuito Cerrado de Televisión.
<b>CODEC</b>	Codificador decodificador
<b>CRC</b>	Cyclic Redundancy Check (Chequeo de Redundancia cíclica)
<b>D/A</b>	Digital/Analógico
<b>DffServ</b>	Differentiated Services (Servicios Diferenciados)
<b>DWDM</b>	Dense Wavelength Division Multiplex (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa)
<b>EIA/TIA</b>	Electronics Industry Association /Television Industry Association Industrias de Telecomunicaciones)
<b>FDM</b>	Frequency Division Multiplex (Multiplexación por División de Fibra Optica)
<b>FICON</b>	Fiber Channel Connection (Conexión de Canal de Fibra)
<b>FOIRL</b>	Fiber Optic Inter Repeater Link (Enlace Inter-Repetidor de Frecuencia)

<b>HDTV</b>	Hight Definition Televisión (Televisión de Alta Definición)
<b>HFC</b>	Hybrid Fiber Coax (Híbrido Fibra Coaxial)
<b>I/O</b>	Input/Output
<b>IP</b>	Internet Protocol (Protocolo Internet)
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>LAN</b>	Local Area Network (Red de Area Local)
<b>LASER</b>	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
<b>LCD</b>	Liquid Crystal Display (Despliegue de Cristal Líquido)
<b>LED</b>	Light Emitting Diode (Diodo Emisor de Luz)
<b>MPEG</b>	Moving Pictures Expert Group (Grupo experto en imagenes en movimiento)
<b>MPEG-2:</b>	Protocolo de compresión de video y audio.
<b>MPLS</b>	Multiprotocol Label Switching (Conmutacion Etiquetada de Multiprotocolos)
<b>MUSICAM</b>	Masking pattern Universal Subband Integrated Coding & Multiplex.
<b>NTSC</b>	National Television System Committee
<b>OTDM</b>	Optical Time Division Multiplex (Multiplexación Optica por División de Tiempo)
<b>PAL</b>	Phase Alternation Line
<b>PPM</b>	Pulse Position Modulation (Modulacion por posicion de pulsos).
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation Radiación
<b>RDSI</b>	Red Digital de Servicios Integrados.
<b>S/N</b>	Relación señal a ruido.
<b>SCM</b>	Subcarrier multiplexing (Multiplexación por Subportadora)
<b>SECAM</b>	Sequential Couleur Avec Memoire.
<b>SMPTE</b>	Society of Motion Picture and Television Engineers (Sociedad de Ingenieros de televisión y las imágenes en movimiento)
<b>SONET</b>	Synchronous Optical Network (Red Optica Sincrona)
<b>TCP/IP</b>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Protocolo de control de Transmisión/Protocolo Internet)

<b>TDM</b>	Time Division Multiplex (Multiplexación por División de Tiempo)
<b>TIA</b>	Telecommunications Industry Associations (Asociación de Industrias de las Telecomunicaciones)
<b>TV</b>	Televisión
<b>UHF</b>	Ultra Hight Frecuencias (300 - 3000 MHz)
<b>VHF</b>	Very Hight Frecuencias (30 - 300 MHz).
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplex (Multiplexación por División de Longitud de Onda)

## BIBLIOGRAFIA

Cable television technology.

Deschler, Kenneth T. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1987.

Comunicaciones ópticas/ José Martín Sanz.

Sanz, José Martín. 1986.

Optical fiber communications: Principios and practice.

Senior, John M. New York: Prentice-Hall, 1992.

Revista Alcatel 3er trimestre 2000

### Webgrafia

[www.agilent.com/cm/commslink/hub/tech/catv/](http://www.agilent.com/cm/commslink/hub/tech/catv/)

[www.americanfibertek.com](http://www.americanfibertek.com)

[www.atsc.org](http://www.atsc.org)

[www.broaddata.com](http://www.broaddata.com)

[www.cisco.com](http://www.cisco.com)

[www.commspecial.com](http://www.commspecial.com)

[www.cybercolleg.com](http://www.cybercolleg.com)

[www.fiberoptic.com](http://www.fiberoptic.com)

[www.fiberoptions.com](http://www.fiberoptions.com)

[www.forceinc.com](http://www.forceinc.com)

[www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/ingenieria/ingelec/proyectosgrado/compresvideo/](http://www.fuac.edu.co/autonoma/pregrado/ingenieria/ingelec/proyectosgrado/compresvideo/)

[www.hitachi.com](http://www.hitachi.com)

[www.iec.org](http://www.iec.org)

[www.iec.org/online/tutorials/](http://www.iec.org/online/tutorials/)

[www.internetcampus.com](http://www.internetcampus.com)

[www.lascomm.com](http://www.lascomm.com)

[www.meridian-tech.com](http://www.meridian-tech.com)

[www.mtxindia.com](http://www.mtxindia.com)

[www.optivision.com](http://www.optivision.com)

[www.sonystyle.com](http://www.sonystyle.com)

[www.vbrick.com](http://www.vbrick.com)

[www.videotek.com](http://www.videotek.com)