



300617
UNIVERSIDAD LA SALLE

38
201

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA DE
VIDEOTELEFONOS PARA INTERCOMU-
NICAR UN HOSPITAL CENTRAL Y
CLINICAS DE APOYO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA ELECTRONICA

P R E S E N T A

JOSE ANTONIO DE MIGUEL ARTEAGA

DIRECTOR: JOSE ANTONIO TORRES

MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION.

CAPITULO I	ANTECEDENTES, NECESIDADES Y BENEFICIOS.	1
1.1	ANTECEDENTES.	2
1.1.1	Importancia de las comunicaciones.	2
1.1.2	El videoteléfono.	3
1.1.3	Qué existe hasta hoy.	4
1.2	DESCRIPCION DEL PROYECTO PROPUESTO.	6
1.3	NECESIDADES Y BENEFICIOS.	7
CAPITULO II	NECESIDADES DE COMUNICACION EN HOSPITALES Y CLINICAS APLICACION DEL VIDEOTELEFONO.	9
2.1	INTRODUCCION.	10
2.2	BIOTELEMETRIA.	11
2.2.1	La biotelegrafía.	11
2.2.2	Sistemas de radio-telegrafía.	15
2.2.3	Transmisión remota de señales del corazón por telemetría.	17
2.3	BIOSEÑALES DEL CUERPO HUMANO, MEDICION Y APLICACION MEDICA.	18
2.3.1	Señales eléctricas y acústicas del corazón. El electrocardiograma y el fonocardiograma.	18
2.3.2	Señales eléctricas del cerebro; el encefalograma.	21
2.3.3	Señales eléctricas de los músculos; el electromiograma.	23
2.3.4	Señales eléctricas del ojo; el electroretinograma.	24
2.3.5	Técnicas para monitoreo del paciente.	24
2.3.6	Técnicas de Rayos X.	25
2.3.7	Otras técnicas de instrumentación médica.	27
2.4	INSTRUMENTOS PARA LA MEDICION Y TRANSMISION DE SEÑALES DEL CUERPO HUMANO.	29
2.4.1	Registradores.	29
2.4.2	Amplificadores y filtros.	30
2.4.3	Instrumentos para medir deformación, temperatura, flujo y presión.	32
2.5	ALGUNOS EJEMPLOS DEL USO DEL VIDEOTELEFONO EN EL HOSPITAL.	33

CAPITULO III	MEDIO DE TRANSMISION.	36
3.1	INTRODUCCION.	37
3.2	MEDIOS DE TRANSMISION.	37
3.2.1	Cable de pares torcidos o par telefónico.	38
3.2.2	Cable coaxial.	40
3.2.3	Sistemas de microondas.	43
3.2.4	Cable de fibras ópticas.	46
3.3	CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LAS FIBRAS OPTICAS.	55
3.3.1	Aplicaciones.	55
3.3.2	Ventajas de las fibras ópticas.	58
3.4	TRANSMISION POR FIBRAS OPTICAS.	60
3.4.1	Reflexión interna total.	60
3.4.2	Tipos de fibras.	61
3.4.3	Dispersión.	65
3.4.4	Atenuación.	67
3.4.5	Apertura numérica.	71
3.4.6	Ancho de banda.	73
3.5	CABLES DE FIBRA OPTICA.	74
CAPITULO IV	FORMA DE TRANSMISION.	77
4.1	INTRODUCCION.	78
4.2	PRINCIPIOS DE COMUNICACION.	79
4.3	FORMA DE TRANSMISION DE LA INFORMACION.	81
4.3.1	Transmisión analógica.	82
4.3.2	Transmisión digital.	87
4.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS SEÑALES ANALOGICAS Y DIGITALES.	95
4.5	SISTEMA DE TRANSMISION DIGITAL SIMPLE.	99
4.6	MODELO DEL SISTEMA OPTICO DE TRANSMISION DIGITAL.	100
4.7	SISTEMAS DE MULTIPLIXION.	101
4.8	TECNICAS DE CODIFICACION.	103
4.9	ELECCION DEL EMISOR Y RECEPTOR OPTICOS.	104
4.10	ESTANDARES DE TRANSMISION.	108

CAPITULO V	RED DE COMUNICACION.	110
5.1	INTRODUCCION.	111
5.2	REDES DE TELECOMUNICACION.	112
5.2.1	Red en malla.	113
5.2.2	Red en anillo.	114
5.2.3	Red en árbol.	114
5.2.4	Red en estrella.	115
5.2.5	Redes híbridas.	117
5.3	REPETIDORES.	118
5.4	DETERMINACION DE LA DISTANCIA ENTRE LOS REPETIDORES.	120
5.5	SELECCION DE LA RED PARA LA INTERCONEXION DE VIDEOTELEFONOS.	122
5.6	DESARROLLO DE ALGUNAS REDES LOCALES DE COMUNICACION DE MULTISERVICIOS QUE UTILIZAN FIBRAS OPTICAS.	124
5.6.1	Proyecto Biarritz Francia.	125
5.6.2	Proyecto Yokosuka Japón.	125
5.6.3	Proyecto Red Rural de Elie Canadá.	126
5.6.4	Red de abonados por fibra óptica en Berlín Alemania.	127
5.6.5	Proyecto BIGFON Alemania.	127
5.7	RED Y SISTEMA DE TRANSMISION PROPUESTO.	128
CAPITULO VI	CARACTERISTICAS PROPUESTAS PARA EL VIDEOTELEFONO.	131
6.1	ANTECEDENTES.	132
6.2	EL EQUIPO DE VIDEOTELEFONIA.	134
6.3	FUNCIONAMIENTO DEL VIDEOTELEFONO.	138
6.4	PROPUESTA DE ALGUNAS BASES EXPERIMENTALES PARA EL DESARROLLO DE NORMAS.	140
6.4.1	Introducción.	140
6.4.2	Principales consideraciones para el servicio de videotelefonía.	141
6.5	ALGUNOS ASPECTOS SOBRE LOS COSTOS Y COMERCIALIZACION DEL VIDEOTELEFONO.	146
6.6	IMPLICACIONES DEL USO DEL VIDEOTELEFONO EN LA SOCIEDAD.	149
CONCLUSIONES		153
BIBLIOGRAFIA		155

INTRODUCCION

Una de las razones que motivaron la finalización y presentación de este estudio, es el buscar culminar una serie de esfuerzos e intenciones iniciadas hace ya varios años y que significan el materializar una actitud de superación permanente que todo individuo y profesionista debe tener para beneficio propio y de su entorno.

El propósito del presente trabajo es el proporcionar un análisis detallado y objetivo de los aspectos más importantes del desarrollo de un sistema de comunicación oral y visual entre dos o más personas, ubicadas en lugares que pueden estar separados por algunos kilómetros.

Este estudio pretende asentar las bases para evaluar la viabilidad de un sistema de comunicación por medio de videoteléfonos, éste permitirá mantener en contacto a un hospital central con clínicas de apoyo a través de una red local de comunicación por fibras ópticas. Así también se definen posibles aplicaciones y diferentes tecnologías para su implantación.

Otra de las finalidades de este trabajo es el de dar a conocer nuevas tecnologías y sistemas de comunicación que permitan satisfacer las crecientes necesidades de comunicación existentes en México, en una era donde el tener la información adecuada en forma oportuna es muy valioso.

En una área prioritaria como la de la salud es en donde cobra mayor importancia el contar con tecnologías y servicios de comunicación que permitan cubrir las necesidades actuales y es aquí donde el sistema propuesto aporta importantes beneficios.

El contenido de este trabajo se desarrolla a lo largo de seis capítulos de los cuales se hace una breve descripción a continuación.

En el Capítulo I se revisan generalidades sobre las comunicaciones, qué es el videoteléfono y los beneficios esperados al implantar el sistema propuesto.

En el Capítulo II se expone cuales son las necesidades de comunicación en los hospitales y clínicas, explica que es la biotelemedicina y sus aplicaciones y cómo se utilizará el sistema de videoteléfonos para cubrir estas necesidades.

A partir del Capítulo III se analizan aspectos relacionados con la transmisión de las señales del videoteléfono, se estudian las diferentes alternativas de medios de transmisión y se selecciona el más adecuado para la aplicación propuesta.

En el Capítulo IV se revisan las posibles formas de transmisión de las señales de videotelefonía y se sugiere la mejor opción.

En el Capítulo número V se hace una revisión de los diferentes tipos de redes de comunicación que existen, seleccionándose la más conveniente para la interconexión de los videoteléfonos y se mencionan algunos de los desarrollos de redes locales de comunicación para multiservicios que existen operando a nivel mundial.

En el último capítulo el número VI se presentan las características del equipo de videotelefonía propuesto, se explica su operación y servicio y se analizan algunos aspectos importantes como costos, normalización y comercialización.

Al término de este estudio se presentan las conclusiones más importantes a las que se llegaron al analizar el sistema de videotelefonía propuesto.

CAPITULO I

ANTECEDENTES, NECESIDADES Y BENEFICIOS.

1.1 ANTECEDENTES.

1.1.1 Importancia de las comunicaciones.

El hombre siempre ha tenido la inquietud y la necesidad de comunicar sus ideas y pensamientos a otros hombres, en los orígenes de nuestra historia el hombre comenzó a comunicarse por medio de gruñidos, ademanes y dibujos o pinturas utilizando todo esto como un medio de diálogo con sus semejantes, lo cual le permitía transmitir sus emociones e ideas pero esto no era suficiente pues las ideas no se comprendían totalmente, así poco a poco fue desarrollándose un medio más eficiente para la transmisión de sus ideas, la capacidad del habla.

Esta habilidad la fue perfeccionando a través de la práctica hasta el punto de tenerla dominada pero surgió nuevamente una necesidad, como hacer que las ideas y el conocimiento prevalecieran en el tiempo y como poder transmitirlos a un lugar distante. Con esta nueva inquietud el hombre empezó a desarrollar otras formas de comunicación como lo es la escritura. Gracias a la escritura el hombre pudo conservar en los libros todos los conocimientos que adquiría a través del tiempo y también pudo transmitirlos de un lugar a otro aunque éste fuera distante.

En nuestros tiempos en que la comunicación juega un papel muy importante en el desarrollo de la sociedad, la escritura y la comunicación personal no son suficientes por lo que han surgido otras formas o sistemas de comunicación como el telégrafo, teléfono, radio, facsimile, etc. Todas éstas son formas de telecomunicación que es el término que designa a toda transmisión entre dos puntos distantes de signos, señales escritas, imágenes, sonidos o datos de cualquier naturaleza, esto se realiza generalmente por cable, radioelectricidad, óptica o cualquier otro sistema electromagnético. La composición del sistema que une al emisor de mensajes y al receptor de los mismos presenta 4 elementos básicos:

- La información a transmitir
- El emisor o transmisor
- El medio transmisor
- El receptor

1.1.2 El videoteléfono.

El teléfono ha sido uno de los más grandes y revolucionarios inventos del hombre, los beneficios y avances que ha tenido la humanidad gracias a este invento son incalculables. Este aparato el cual es casi indispensable en la vida del hombre moderno es muy útil pero sólo nos permite una comunicación de tipo auditiva, es decir únicamente podemos transmitir y recibir señales sonoras como lo es el habla. Pero las expresiones físicas, gestos y ademanes son parte de la forma en que el hombre se comunica con sus semejantes y el teléfono actual no nos permite transmitirlos.

Si pudiéramos añadir a la información sonora que se puede transmitir actualmente por cualquier teléfono la información visual, tendríamos una comunicación más rica, la conversación podría ser casi un diálogo y aún más, si pudiéramos mostrar algún objeto al interlocutor del otro lado de la línea la comunicación sería virtualmente completa.

El videoteléfono es un aparato que nos permite la transmisión de sonidos e imágenes de un punto a otro en ambos sentidos, ésta es la respuesta a estas necesidades de comunicación. Este nuevo medio de comunicación abrirá nuevas perspectivas en diversas áreas del mundo actual, todo esto dentro de la llamada era de la comunicación.

Por mencionar algunas de estas perspectivas las formas de trabajo en empresas, hospitales, universidades, institutos de investigación, organismos internacionales, etc. se verán afectadas por las nuevas posibilidades de transmisión de información, pues no solo será la transmisión de la voz o imagen de una persona sino también existe la posibilidad de transmitir información escrita como documentos, planos, gráficas, placas de rayos X etc., y además de las aplicaciones en los negocios y el hogar se puede utilizar en aplicaciones como teleseguridad, telemedicina y telecontrol. El videoteléfono en un futuro será como una terminal de computadora, capaz de transmitir y recibir datos de otra terminal a distancia y mostrar en la pantalla de su monitor toda la información que controle.

Un videoteléfono en un hospital permitirá a los doctores la posibilidad de un contacto inmediato con cualquier especialista en el mismo hospital, en otro o inclusive en

su domicilio particular y con esto hacer mucho más eficiente la consulta de cualquier duda o simplemente el pedir una opinión que tal vez sea indispensable. El mismo caso podemos encontrarlo en la oficina de un empresario el cual tiene que conocer las sugerencias o resultados de alguno de sus asistentes, o bien en oficinas públicas o de algún organismo mundial en las que se podrá facilitar la negociación o solución de transacciones y problemas.

El sistema videotelefónico más que una novedad cualquiera de las muchas que lanza la industria electrónica de nuestros tiempos tiene usos reales y muy ventajosos, esto claro estandarizando su uso y logrando que llegue a ser tan común y accesible como el teléfono normal y es que no solo estamos hablando de un equipo transmisor y otro receptor sino que análogamente como en las redes de telefonía actuales el videoteléfono estará conectado a una malla o red de abonados por medio de la cual el usuario de un videoteléfono podrá comunicarse con cualquiera de los suscritos en la red siendo posible entablar la comunicación audiovisual con más de una persona .

1.1.3 Qué existe hasta hoy.

En la actualidad los sistemas como la videotelefonía, videoconferencia, teleimágen, teletexto y otros más han empezado a desarrollarse en mayor medida, algunos de ellos y algunas de sus aplicaciones comunes son las que se exponen a continuación.

Uno de los desarrollos más importantes es la videoconferencia, este sistema de comunicación ha tenido gran auge por los beneficios económicos que representa tener a un grupo de personas en una sala asistiendo a una videoconferencia en lugar de pagar gastos de transporte, alimentos y hospedaje de ese mismo grupo de personas para que asistan físicamente a una conferencia en cierto lugar o ciudad distante. La videoconferencia ha sido evaluada y considerada como una importante y poderosa herramienta para la educación de niveles desde tecnológicos de maestría y doctorado hasta niveles de enseñanza elemental y no solo por instituciones educativas sino también en áreas empresariales y de negocios. En estudios realizados en una universidad canadiense se probó que las personas instruidas por medio de videoconferencias tienen un nivel de aprendizaje más alto que aquellas que solo fueron instruidas con libros y audiocintas. Pero la aceptación que tendrá la videoconferencia en un futuro inmediato está basada en el ahorro de dinero y tiempo que puedan hacer las empresas utilizando este medio para transmitir una conferencia.

Existen básicamente dos sistemas de videoconferencia, el primero es el conocido como "freeze frame videoconference" o videoconferencia de imagen congelada y el otro es el conocido como "full motion videoconference" o videoconferencia de movimientos completos, la diferencia como en el nombre se indica es la velocidad en la que se transmiten las imágenes de video captadas por la cámara del transmisor, que después de ser transmitidas por la línea de comunicación se muestran en el receptor.

Las ventajas del primer sistema son principalmente su costo, además de la justificación de que en una conferencia mientras se recibe la siguiente imagen los asistentes estarán mirando algunos documentos, diagramas o gráficas relacionados a la misma y por esto no será tan necesario el tener una imagen con movimientos completos.

Hablando de los sistemas transmisores de la videoconferencia existen diferentes equipos como lo pueden ser los que transmiten por líneas telefónicas convencionales en lugar de cables especiales, monitores en blanco y negro o en color, diferencias en la calidad de la imagen según el ancho de banda que utilicen, existen los que multiplexan las señales de audio, video y datos y los que las transmiten simultáneamente, y también hay sistemas digitales que elevan la calidad de imagen.

Existen otros sistemas que utilizan microprocesadores para comprimir las señales de video evitando la redundancia y con esto disminuyen el ancho de banda necesario para la transmisión de un video y audio con buena calidad lo que repercute directamente en el costo el cual se ve reducido.

En la actualidad existen diferentes fabricantes de este tipo de sistemas como lo son: Alascom, NBC, ATT, Robot Research Inc., Siemens, Widcom, Telespan y muchos otros. Según cifras dadas a conocer por Alascom el mercado potencial que en 1983 era de 8.7 millones de dólares, fue en 1987 de 64.8 billones de dólares para los equipos de videoconferencias y de 370 millones en 1983 contra 2.22 billones de dólares por servicios de videoconferencias.

Otro sistema diferente de comunicación simultanea de audio y video es el "picture phone" o teléfono transmisor de imágenes, este equipo consta de una cámara de video que capta cualquier objeto que se le es puesto enfrente y la imagen que toma que hasta ese momento es analógica la digitaliza, comprime y transmite a través de una línea telefónica común. Esta imagen es recibida por cualquier otro teléfono de imágenes que se encuentre conectado a la red, éste reconvierte la señal digital a analógica para ser mostrada en una pantalla o para ser grabada y almacenada en la memoria del equipo.

Un sistema de este tipo es el desarrollado por Vistacom el cual cuenta entre sus características con un codificador de video, pantalla de 7.5 cm. y unidad para almacenar información en discos flexibles, este equipo tiene un costo aproximado de una tercera parte del de un videoteléfono.

Otro ejemplo de un "picture phone" es el fabricado por Widcom el cual funciona en base a un algoritmo el cual le permite transmitir imágenes con mayor calidad y a una mayor velocidad que los comúnmente fabricados, este teléfono de imágenes puede transmitir imágenes a color o blanco y negro y tiene una pantalla de 7 cm. con una cámara que puede captar imágenes con un tamaño desde 35 mm. hasta 30 cm. Esta unidad tiene un costo aproximado de \$ 17,500.00 dólares. Entre las aplicaciones de este tipo de equipos están el monitorear las condiciones ambientales, la situación en carreteras o avenidas solitarias y la transmisión de textos y gráficas.

El más moderno sistema para la transmisión simultanea de audio y video es el videoteléfono. Este llega a ser una realidad después de predicciones, anuncios y hasta modelos como los que fueron presentados hace 24 años en la feria mundial de Nueva York. Uno de estos sistemas es el videoteléfono a color de la compañía japonesa KDD, que como otros sistemas similares ya están funcionando en Tokio, Biarritz, Frankfurt y ciudades de Estados Unidos y Canadá.

La gran diferencia entre el videoteléfono y los sistemas como el teléfono de imágenes o el transmisor de imágenes por líneas telefónicas y la teleconferencia con imágenes congeladas, es que el videoteléfono integra la voz con imágenes y las transmite simultáneamente con una calidad de imagen similar a la de la televisión por cable.

Básicamente el videoteléfono consiste en una cámara, una pantalla y un panel de control, esto en su exterior, en su interior encontramos el transmisor, el receptor, los circuitos de comprensión y codificación, los convertidores analógico-digitales y digitales-analógicos y los circuitos de control.

1.2 DESCRIPCION DEL PROYECTO PROPUESTO

El proyecto analizado en este trabajo es el de un sistema de comunicación de señales de audio y de video entre un centro médico y clínicas de apoyo por medio de varios videoteléfonos interconectados entre sí por una red de fibras ópticas.

El centro médico u hospital central tendrá todos los servicios de medicina especializada con un departamento para cada especialidad, además también contará con todos los servicios propios para análisis, pruebas de laboratorio, estudios y tratamientos especiales, banco de datos de historiales médicos y banco de datos de información administrativa.

Las clínicas de apoyo darán servicio de consulta general y por medio de los videoteléfonos podrán hacer uso de los servicios del hospital central como pueden ser algunas consultas con especialistas, consultas a los archivos de datos como el archivo de historias clínicas o el de toda la información teórica y técnica de medicina general y especialidades.

Básicamente el hospital central tendrá varios videoteléfonos y las clínicas de apoyo contarán con uno o dos únicamente. Estos aparatos estarán conectados a una red local de cables de fibra óptica con el objeto de hacer más eficiente el sistema de transmisión-recepción de los enlaces entre las clínicas de apoyo y el hospital central.

La unidad del videoteléfono constará de un monitor el cual mostrará las imágenes que sean captadas por la cámara del videoteléfono conectado en el otro extremo de la línea, esta cámara de video captará las imágenes que se deseen mostrar a la persona del equipo receptor, también contará con un micrófono para captar las señales de audio y una bocina para escuchar las mismas.

1.3 NECESIDADES Y BENEFICIOS.

Los hospitales en la actualidad tienen grandes necesidades de comunicación pues ésta es parte fundamental de su funcionamiento diario. El campo de la medicina en nuestros tiempos es muy grande y sería imposible que una sola persona lo dominara todo en una forma completa, es por esto que se ha dividido en diferentes ramas, y cada una de ellas abarca una especialidad médica. Por esta razón solo en los grandes hospitales se encuentran médicos y doctores para cada una de las especialidades y en los hospitales y clínicas pequeñas se encuentran los médicos generales los cuales diagnostican o determinan solo cual es la posible enfermedad para posteriormente enviar al paciente con el especialista o para solicitarle que se practique algunos estudios o cierto tipo de análisis.

En muchos casos los médicos generales necesitan el apoyo, opinión o diagnóstico de cierto especialista o en algunos casos el de más de uno de éstos, además de que pudieran necesitar consultarlo una o varias veces durante el transcurso del día. Estas consultas las tiene que hacer mostrando algunas veces la historia clínica o los antecedentes del caso, además de que tiene que apoyarse en los resultados de los estudios, análisis y pruebas hechas al paciente y hasta podría ser necesario mostrar los síntomas en el propio paciente.

Es aquí donde el videoteléfono jugará un papel muy importante, este sistema permitirá a los doctores tener un contacto inmediato con cualquier especialista del hospital central quien en comunicación directa por videoteléfono podrá dar su opinión observando directamente al paciente o recibiendo la imagen de una placa de rayos X, o los resultados de algún análisis clínico, y con esto hacer mucho más eficiente la consulta de cualquier duda o simplemente el pedir una opinión que tal vez sea indispensable y que se tenga que consultar varias veces al día.

Toda esta información a la que nos referimos y que requiere el médico para poder evaluar el caso y dar su diagnóstico o en el caso de los doctores del hospital central dar su recomendación, se podrá transmitir por medio de los videoteléfonos desde la clínica de forma eficiente en tiempo, calidad y cantidad hasta el propio consultorio del especialista y desde aquí al consultorio del médico general, sin que el paciente tenga que trasladarse hasta el hospital central y luego regresar a la clínica con la consecuente pérdida de tiempo, dinero y oportunidad.

El campo de aplicación del sistema de videoteléfonos es increíblemente amplio y los beneficios enormes pues se puede hacer desde una simple consulta verbal hasta la transmisión de imágenes de placas de rayos X, encefalogramas, electrocardiogramas y cualquier otra información registrada en papel de análisis clínicos o historial del paciente.

CAPITULO II

NECESIDADES DE COMUNICACION EN HOSPITALES Y CLINICAS APLICACION DEL VIDEOTELEFONO.

2.1 INTRODUCCION.

Es cada vez más claro que para incrementar las posibilidades de salvar la vida a una persona, o simplemente para tener un diagnóstico claro de alguna enfermedad o padecimiento, es necesario el tener un conocimiento muy amplio y profundo de las funciones del cuerpo humano y de los síntomas o reacciones del mismo. El conocimiento requerido es cada día mayor por la diversidad de enfermedades y por la cada vez más profunda especialización de la medicina. El tener todo este conocimiento junto solo se puede lograr reuniendo las experiencias y conocimientos de cada uno de los especialistas de cada función del cuerpo humano, situación que difícilmente se presenta en la mayoría de las instituciones médicas.

Tomando en consideración esto y si pensamos que en una clínica de medicina general (donde no existen especialistas) se pueden presentar casos con diversos padecimientos y enfermedades, es claro definir que la posibilidad de diagnosticar y tratar una enfermedad o padecimiento con la oportunidad y tratamientos requeridos es baja.

Este mal diagnóstico de la enfermedad y/o un inadecuado tratamiento de la misma tiene finalmente como consecuencia una reducción de la vida promedio del hombre. Ante tal situación es inminente el pensar en contar con un sistema que nos permita tener todo el conocimiento de la medicina antes mencionado junto y disponible. Para lograr este objetivo contamos con el apoyo de dos grandes áreas técnicas que son las telecomunicaciones y la electrónica.

A continuación se presenta una visión general de una solución a la problemática antes expuesta, esta es la aplicación del videoteléfono como medio de enlace e intercomunicación entre una clínica de medicina general y los hospitales de especialidades médicas. Así mismo se menciona que es la biotelemetría, donde puede ser utilizada, cuales señales del cuerpo humano pueden ser medidas y transmitidas, y qué instrumentos

necesitamos para esto. Finalmente también mencionaremos algunas aplicaciones existentes en la actualidad.

2.2 BIOTELEMETRIA.

2.2.1 La biotelemetría.

La biotelemetría es la técnica que permite transmitir una señal biológica proveniente de un organismo vivo y de su medio ambiente a una locación donde esta información pueda ser observada, analizada, almacenada, etc. Este es un medio de comunicación entre un sistema viviente y un observador.

Los bloques esenciales de un sistema de biotelemetría se muestran en la figura 2.1. y son los siguientes:

- El transductor que convierte la variable biológica en una señal eléctrica que puede ser procesada.
- El procesador de señal que amplifica y modifica la señal adecuándola para ser transmitida o ser almacenada. Las modificaciones que se le hacen a las señales incluyen procesos de filtración de ciertas bandas de frecuencias, de modificación de los picos de señal etc.
- El enlace de la transmisión que interconecta la señal de entrada del procesador de señales con el dispositivo que muestra la señal a evaluar. Estos dispositivos que muestran la señal pueden ser displays, osciloscopios, monitores, grabadoras, indicadores, etc.

En el diagrama mostrado pueden ser intercambiados o combinados los diferentes bloques e incluso en algunos sistemas pueden ser eliminados uno o más de ellos. Un ejemplo común de un sistema de biotelemetría es un radiotransmisor de electrocardiogramas, en este sistema el electrodo es el transductor, el amplificador y el filtro son el procesador de la señal, el transmisor y receptor son el radio enlace y el graficador es el dispositivo que muestra la señal.

En un sistema de biotelemetría dado la pequeña amplitud de las señales eléctricas a monitorearse, existen puntos muy críticos como lo son el acondicionamiento y transmisión de la señal, aunque también son muy importantes la selección del adecuado transductor y pantalla de salida. Los requerimientos del acondicionador de la señal dependen del tipo de transductor y de las características de la señal. El grado de complejidad de un sistema aumenta al considerar la interconexión del emisor y receptor por medio de enlaces de radio o enlaces ópticos en lugar de interconexiones por cables, pero la calidad de la señal monitoreada aumenta pues estos enlaces a diferencia de los cables de cobre reducen la distorsión por ruido proveniente de la instrumentación.

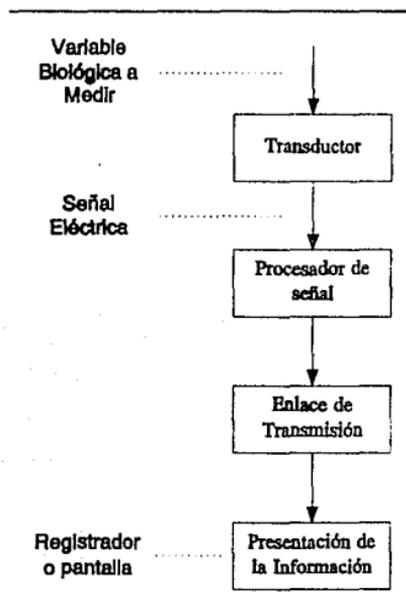


FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE BIOTELEMETRIA.

Si bien la transmisión por radio de señales analógicas es conocida desde 1884 y los enlaces de radio por frecuencia modulada fueron usados para transmitir pneumogramas desde 1948, el verdadero desarrollo de las técnicas de telemetría biomédica no fue

empezado hasta que el transistor fue descubierto en 1948 y comercializado en 1954. El pequeño tamaño y el bajo consumo de energía de este circuito, hizo posible la construcción de transmisores prácticos para aplicaciones biomédicas. Desde entonces las ventajas de la microelectrónica han hecho posible un desarrollo más acelerado de la biotelemetría.

Los sistemas de telemetría deben ser seleccionados para transmitir parámetros fisiológicos (como los mostrados en la tabla 2.1) con la máxima fidelidad y simplicidad. Sin embargo los requerimientos de la biotelemetría son más que una simple comunicación de un sujeto a un observador.

Para minimizar las restricciones que impone una posible interferencia con el sistema viviente se deben considerar las siguientes situaciones y problemas aunados a los ya conocidos como lo son el ancho de banda, la distorsión y la relación señal-ruido, algunos de estos problemas son:

- Las limitantes en cuanto a tamaño y peso: al respecto se manejan como valores máximos del 1 al 5% del peso o tamaño del organismo viviente, esto en el caso de instrumentos unidos sobre la superficie y con corta duración. Para implantes o aplicaciones de larga duración estos límites son menores.
- Reacciones fisiológicas y psicológicas: existen reacciones por parte de los tejidos y órganos por la presencia de un material extraño. Se deben considerar los efectos de los instrumentos o transductores en el cuerpo y en el comportamiento del ser viviente.
- La estabilidad y confiabilidad para una sencilla operación por personal no relacionado con la ingeniería.
- Técnicas que permitan una sencilla y segura instalación e implantación.
- El consumo de energía del sistema: éste tiene que ser minimizado para prolongar el tiempo de operación del instrumento.

Características de algunas señales fisiológicas transmitidas por telemetría.

Señal Fisiológica	Rango de amplitud y unidades	Rango de frecuencia Hz	Transductor
Electrocardiograma	0.75-4 mv	0.1-100	Electrodos
Fonocardiograma	---	30-100	Micrófono piezoeléctrico
Electromiograma	0.1-4 mv	10-500	Electrodos
Electroencefalograma	0.01-0.075 mv	0.5-200	Electrodos
Electrogastrograma	0.01-0.35 mv	0.05-0.2	Electrodos
Potencial Nervioso	0.1-3 mv	---	Electrodos
Presión sanguínea	0-400 mmHg	0.5-100	Medidor de presión
Flujo sanguíneo	1-300 cm/seg	1-20	Medidor de flujo
Presión gastrointestinal	20-100 cm agua	0-10	Medidor de presión
Temperatura	25-45 °C	0-0.1	Termistor
Rango de respiración	---	0.15-6	Electrodo de impedancia
pH del estómago	3-13	0-1	Electrodos
Fuerza intestinal	1-40 gr/cm	0-1	Medidor de presión

TABLA 2.1

Los sistemas miniaturizados de telemetría pueden reducir muchos de los problemas de interferencia cuando la unidad de telemetría es integrada con los sensores y transductores.

2.2.2 Sistemas de radio telemetría.

El diagrama de bloques típico de un sistema sencillo de radio telemetría es como el que se muestra en la siguiente figura.

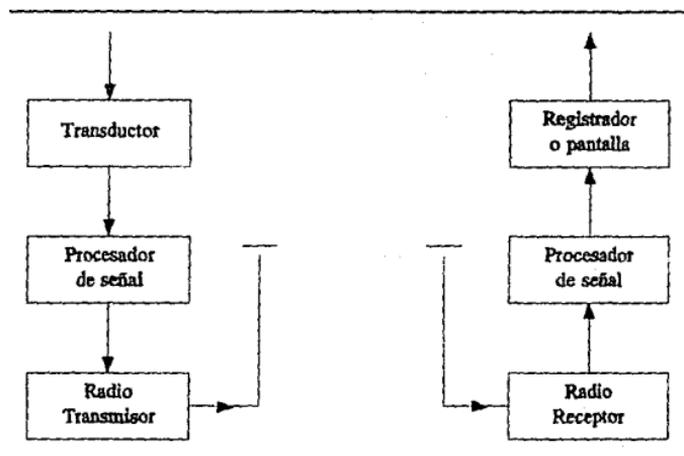


FIGURA 2.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA TÍPICO DE RADIO-TELEMETRÍA.

El transductor, el acondicionador de la señal y el transmisor pueden ser montados en la superficie del sujeto o implantados en el interior del cuerpo. Gracias a la microelectrónica se puede lograr que la unidad completa no pese más de un gramo.

Para la mayoría de las aplicaciones biomédicas es deseable tener varias bioseñales monitoreándose simultáneamente. Cada una de las señales requiere de un canal de telemetría y cuando el número de canales son más de 2 o 3 el uso de varias unidades de un solo canal no es suficiente pues existe dificultad para operarse. Para estas aplicaciones

se recomienda el uso de sistemas de telemetría multiplexados y los más comúnmente utilizados son el multiplexor por división de frecuencia y el multiplexor por división de tiempo.

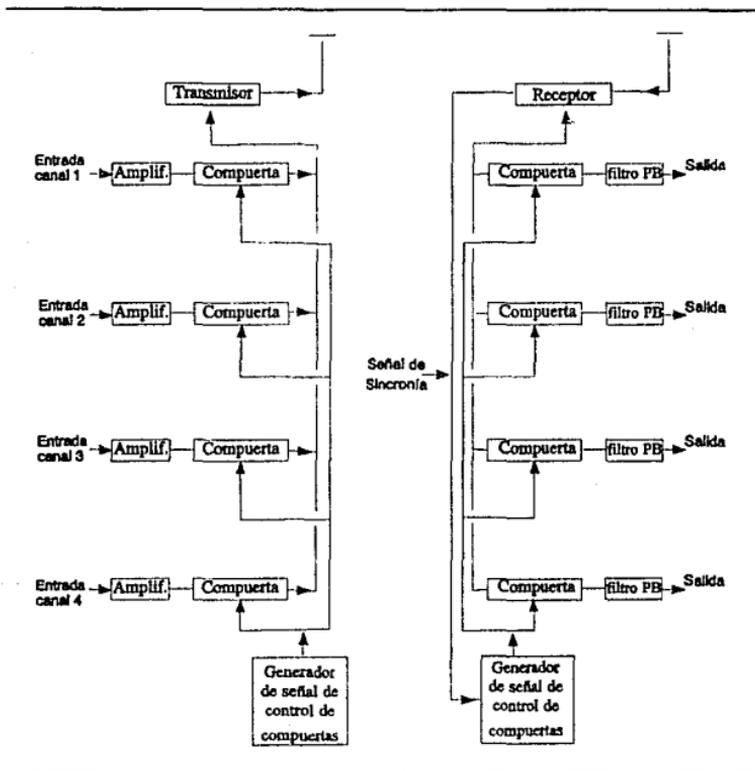


FIGURA 2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA MULTIPLEXADO POR DIVISION DE TIEMPO.

La figura 2.3 muestra un sistema de telemetría para varios canales con multiplexación por división de tiempo.

El canal de transmisión (transmisor y receptor) es conectado a cada señal de entrada por un corto tiempo y en una secuencia previamente definida para tomar una muestra de la señal y transmitirla. Cuando todos los canales han sido muestreados una vez, el ciclo se ha completado e inicia nuevamente.

En el receptor el proceso es el inverso. Los pulsos de señal que fueron muestreados en una secuencia son ahora distribuidos en canales individuales por medio de un circuito de conmutación sincronizado. Si el número de ciclos de muestreo es el adecuado y si el transmisor y el receptor están sincronizados, la señal en cada canal en el receptor podrá ser recuperada sin una distorsión notable.

La frecuencia de muestreo deberá ser al menos más grande que el doble de la frecuencia máxima de cualquier señal.

$f_n =$ frecuencia de muestreo

$$T_n = 1/f_n$$

Si T_n es el período de muestreo y t_n es el tiempo de muestreo de cada canal, el número máximo de canales que podrán ser multiplexados es n , donde :

$$n = T_n/t_n$$

2.2.3 Transmisión remota de señales del corazón por telemetría.

La señal eléctrica de los latidos del corazón es una señal con una frecuencia de alrededor de 70 Hz y tiene una forma de onda asimétrica. Esta señal puede ser transmitida por un sistema de telemetría para ser observada, registrada o analizada en un punto remoto a la localización del paciente.

Existen tres tipos de sistemas de telemetría para transmitir estas señales provenientes de un paciente y éstos tienen como diferencia la forma de transmisión de la señal. La señal puede ser transmitida por radio, utilizando cualquiera de dos técnicas, la primera es la técnica de modulación de la amplitud de onda, la segunda es la de modulación de la frecuencia, y el tercer sistema consiste en utilizar transmisores ópticos interconectados con fibras ópticas.

El sistema de telemetría de amplitud modulada consta de un sensor (para este caso son electrodos que captan las señales provenientes del corazón), un amplificador, un modulador (éste recibe la señal portadora proveniente de un generador de frecuencia) y de un transmisor de radio frecuencia que recibe la señal ya modulada en amplitud y la transmite. En la parte receptora el sistema tiene un receptor de AM (Amplitud Modulada) el cual capta la señal y la alimenta a un amplificador de radio frecuencia, posteriormente la señal es demodulada y finalmente se presenta en un osciloscopio o un monitor donde la información es analizada, interpretada o grabada.

Existen otros sistemas de telemetría para transmitir bioseñales a punto remotos, entre estos sistemas los más modernos y eficientes son los sistemas de transmisión óptica que emplean la amplitud modulada. Este sistema consiste de un sensor el cual capta la señal, un amplificador y un modulador óptico el cual por medio de un diodo emisor produce un rayo de luz modulado en amplitud el cual se transmite por medio de fibras ópticas hasta el diodo receptor o diodo sensible a la luz el cual convierte la señal luminosa en señal eléctrica. Esta señal es posteriormente mostrada en un monitor o alimentada a una computadora para analizarse y/o grabarse.

Los moduladores y detectores ópticos tienen hoy en día tiempos de respuesta muy cortos lo cual los hace muy eficientes y útiles para seguir las ondas y frecuencias de las bioseñales del cuerpo humano. Los sistemas ópticos de telemetría presentan grandes ventajas en comparación con los sistemas de radio frecuencia, entre estas ventajas están : menor interferencia, mayor velocidad de transmisión y seguridad de la información transmitida.

2.3 BIOSEÑALES DEL CUERPO HUMANO, MEDICION Y APLICACION MEDICA.

2.3.1 Señales eléctricas y acústicas del corazón; el electrocardiograma y el fonocardiograma.

La electrocardiografía (ECG) y la fonocardiografía son dos de las técnicas más importantes para observar la condición del corazón y sus arterias asociadas. Como las señales eléctricas y acústicas son generadas por los mismos fenómenos, es conveniente estudiarlas al mismo tiempo.

El Electrocardiograma.

Willer Einthoven en 1901 ideó un aparato para registrar y grabar en una tira de papel que corre a velocidad constante, las corrientes eléctricas que se originan en el corazón. Al aparato se le llama electrocardiógrafo y al registro gráfico de las señales cardíacas se le denomina electrocardiograma.

Obviamente por seguridad del paciente no es práctico el hacer mediciones eléctricas directamente en el corazón, la información para diagnóstico se obtiene midiendo en diferentes lugares sobre la superficie del cuerpo los potenciales eléctricos generados por el corazón.

Los electrodos de superficie utilizados para obtener un electrocardiograma son 3 y comúnmente están localizados o instalados en el brazo izquierdo, brazo derecho y pierna izquierda, sin embargo, la localización de los electrodos puede variar dependiendo de la situación clínica del paciente, algunas veces las manos o algunos lugares cercanos al propio corazón son comúnmente utilizados.

Las corrientes eléctricas que se originan en el corazón son captadas por los electrodos de superficie y son llevadas al aparato de registro que consiste fundamentalmente de amplificadores, un galvanómetro y un graficador.

La función de los amplificadores es amplificar las pequeñas corrientes que se originan en el músculo cardíaco. Dichas corrientes llegan a través de cables blindados (para evitar la captación de ruido e interferencia) a los amplificadores. Posteriormente estas corrientes amplificadas del corazón llegan a un galvanómetro el cual mueve una aguja indicadora o graficadora, el movimiento o desplazamiento de la aguja es proporcional a la diferencia de potencial que se mide entre los diferentes electrodos localizados en el paciente.

En el caso de que la aguja que mueve el galvanómetro sea graficadora, sus movimientos son registrados en una cinta de papel. Existe también la posibilidad de transmitir las señales eléctricas provenientes de los amplificadores a un monitor cardíaco. En la actualidad hay unidades con pantallas de color, minicomputadoras integradas, lectoras digitales, etc.

Un osciloscopio de los más sencillos es capaz de mostrar las señales eléctricas del corazón de una forma clara para el médico. Estos osciloscopios disponen de un control de amplitud para permitir aumentar la ganancia de las señales débiles, también cuentan con

dos velocidades de barrido para la mejor observación de las señales cardíacas en infantes o pacientes con taquicardia.

En las unidades antiguas de monitoreo de electrocardiogramas el trazo se movía continuamente y era difícil observarlo. Los nuevos sistemas mantienen el trazo fijo por medio de un sistema de sincronización interna. Un accesorio del monitor para electrocardiogramas que ha llegado a ser muy popular es el que permite almacenar en cinta los datos correspondientes a las últimas 24 o 36 horas. Esto permite que la enfermera o el médico revisen los datos de un paciente en este período y busquen patrones o tendencias. En muchos casos la temperatura o la presión sanguínea del paciente se registran en el sistema de monitoreo y también pueden revisarse haciendo un análisis de tendencias. Esto es especialmente útil cuando se han administrado medicamentos porque permiten al personal médico ver la respuesta del paciente a la medicación.

Otros sistemas para monitoreo de las señales del corazón tienen conexiones para interconectarse a un sistema de transmisión el cual puede comunicarse con una computadora en un hospital central o permite hacer telemetría de las señales en una área remota para que un especialista (cardiólogo) las observe, analice y rápidamente determine algún problema o enfermedad.

El Fonocardiograma.

La medida y el registro de las señales acústicas asociadas con la acción del corazón se conoce como fonocardiografía. Escuchar los sonidos de diversos fenómenos del cuerpo es una de las artes médicas más antiguas. En la actualidad estas prácticas de la medicina se facilitan por el uso de diversos dispositivos eléctricos y electrónicos, por ejemplo ahora puede obtenerse un registro gráfico de los sonidos que se escuchan al hacer un monitoreo del corazón.

Las señales acústicas que caracterizan la acción del corazón pueden detectarse ya sea con un estetoscopio o con un micrófono. La selección del tipo de sistema de registro que se utilice para este trabajo es difícil ya que en los estudios de diagnóstico se puede requerir capacidad para detectar frecuencias hasta de 500 Hz. Un registrador común para electrocardiogramas no responderá a frecuencias mayores de 150 Hz y por lo tanto no es adecuado para registrar los sonidos cardíacos para diagnóstico.

La función del estetoscopio mismo puede mejorarse por medio de un amplificador electrónico aún cuando no se requiera un registro gráfico. La capacidad para amplificar

ciertas frecuencias es importante porque aún los mejores médicos tienen dificultad para escuchar las altas frecuencias. El sistema de amplificador-filtro permite aumentar o cortar los sonidos de baja amplitud.

Un sistema simple de fonocardiografía que emplee un micrófono para localizarse sobre el pecho del paciente solo detectará aquellos sonidos que pasan a través de los tejidos del cuerpo. Los fonodetectores de catéter pueden conectarse al corazón mismo para recoger los sonidos en la fuente. En muchos casos la presión y la velocidad del flujo sanguíneo pueden medirse al mismo tiempo con otro catéter sencillo, otros sistemas similares permiten el muestreo de sangre o la inyección de tintes mientras se mide la presión sanguínea.

Lo mismo que en la interpretación de ondas de electrocardiografía, el diagnóstico de la condición del paciente en base a un fonocardiograma tiene que ser realizado por un especialista, pero como información genérica se establece que para pacientes normales los sonidos cardíacos deben ser cortos y durar alrededor de 0.5 seg. Si los sonidos son prolongados esto se considera como signo de enfermedad o de otros problemas cardíacos.

2.3.2 Señales eléctricas del cerebro; el encefalograma.

Si colocamos unos electrodos en el cuero cabelludo y medimos la actividad cerebral obtendremos unas señales eléctricas de forma muy compleja y con muchos picos, éstas son debidas principalmente a la actividad eléctrica de las neuronas de la corteza cerebral. Estas señales fueron por primera vez observadas en 1929, desde entonces se han hecho muchas investigaciones para su aplicación clínica, psicológica y fisiológica, pero hasta la fecha no existe un entendimiento completo de las mismas. Una hipótesis es que el potencial eléctrico se produce por un proceso intermitente de sincronización de las neuronas de la corteza con diferentes grupos de neuronas, este proceso de sincronización se realiza en diferentes instantes en el tiempo. De acuerdo con esta hipótesis las señales consisten en pequeños segmentos de actividad eléctrica de grupos de neuronas localizadas en varios lugares de la corteza.

El registro de las señales del cerebro es llamado electroencefalograma (EEG). Los electrodos para detectar estas señales son comúnmente pequeños discos de plata. Estos son colocados en la cabeza con una disposición que depende de la parte del cerebro que quiera ser estudiada.

En exámenes de rutina de 8 a 16 canales de señales eléctricas son registrados simultáneamente . Como una actividad asimétrica del cerebro es considerada una enfermedad, las señales del lado derecho del cerebro son comúnmente comparadas con las señales del lado izquierdo.

La amplitud de las señales captadas en un encefalograma es baja (50 microvolts) y la interferencia de señales eléctricas externas comúnmente causa serios problemas en el procedimiento para la realización de este estudio.

La frecuencia de las señales de un electroencefalograma parece depender de la actividad mental del paciente. Por ejemplo una persona en estado de profundo sueño tiene actividad cerebral de ondas delta (0.5 a 3.5 Hz), en un estado de somnolencia o estado de relajación tiene usualmente una señal cerebral compuesta de ondas theta (4 a 7 Hz), en estado de atención normal las ondas predominantes son principalmente de frecuencias de 8 a 13 Hz u ondas alfa y cuando una persona está en estado de alerta los ondas que predominan en el electroencefalograma son ondas beta (13 Hz) . A continuación se muestran las diferentes bandas de frecuencia para la actividad cerebral.

Delta (frecuencias bajas)	0.5 a 3.5 Hz
Theta (frecuencias intermedias bajas)	4 a 7 Hz
Alpha (frecuencias intermedias)	8 a 13 Hz
Beta (frecuencias altas)	más de 13 Hz

El electroencefalograma es de los pocos análisis que ayudan para el diagnóstico de enfermedades relacionadas con el cerebro. Por ejemplo es muy utilizado en la diagnosis de epilepsia y permite la clasificación de los grados de esta, también se utiliza para confirmar la presencia de tumores cerebrales (la actividad cerebral se reduce en la región donde exista un tumor).

Otra aplicación del encefalograma es su uso para monitoréo del paciente durante cirugías cuando el electrocardiograma no puede ser utilizado, es también usado en cirugía para indicar el nivel de anestesia del paciente.

2.3.3 Señales eléctricas de los músculos; el electromiograma.

Una forma de obtener información referente al estado de los músculos del cuerpo humano es midiendo su actividad eléctrica. El registro del potencial eléctrico entre los músculos y la espina dorsal el cual causa el movimiento, es conocido como electromiograma (EMG por sus iniciales en inglés).

El músculo está formado por varias unidades motoras que están compuestas por una terminal nerviosa de la espina dorsal y varias fibras musculares. El movimiento del músculo se inicia con la transmisión de un potencial eléctrico desde la espina dorsal hasta la fibra del músculo, la cual causa que el músculo se contraiga. El registro de este potencial eléctrico en una fibra del músculo es lo que llamamos electromiograma.

La actividad eléctrica de una sola fibra del músculo es difícil de aislar pero también se pueden obtener electromiogramas de la actividad eléctrica de varias fibras simultáneamente, para este fin se utilizan electrodos de superficie y para el caso de registro de potencial de una sola fibra se utilizan electrodos de aguja. Un arreglo típico para el registro de un electromiograma es una serie de electrodos de aguja conectados a varias fibras musculares y la señal de éstos es monitoreada en un osciloscopio donde se puede ver en un canal la actividad de una fibra y en otro canal ver la actividad del conjunto de fibras. Estas señales también se pueden amplificar para posteriormente grabarlas o registrarlas.

La unidad en que se mide la actividad eléctrica de los músculos es el volt-seg., esta unidad mide la cantidad de energía eléctrica que llega a la fibra muscular y que provoca el movimiento de ésta. Las señales que se registran de las fibras musculares son integradas para poder mostrar de una forma más sencilla y clara la actividad eléctrica del músculo. La forma integrada de las señales musculares es una curva suavizada en la cual es fácil evaluar la actividad muscular, y es la que generalmente se utiliza en medicina para determinar la condición del músculo durante la contracción.

El electromiograma puede obtenerse de músculos o unidades motoras que se contraen en forma voluntaria o por un estímulo eléctrico. En la mayoría de las ocasiones se prefiere obtener un electromiograma de un músculo eléctricamente estimulado pues en este caso todas las fibras musculares se contraen casi al mismo tiempo a diferencia con las contracciones voluntarias de un músculo las cuales suceden en forma desordenada. Un pulso típico de estímulo para un músculo es de 100 V. por período de 0.1 a 0.5 milisegundos.

Un electromiograma obtenido durante una estimulación eléctrica a una fibra motora de un músculo se parece mucho a una onda senoidal. Algunas veces los electromiogramas de algunos músculos simétricos del cuerpo humano son comparados uno con el otro o con uno de un músculo normal para determinar la similitud del potencial eléctrico y de los períodos de latencia (tiempo entre la aplicación del estímulo y la respuesta del músculo).

2.3.4 Señales eléctricas del ojo; el electroretinograma.

El registro de los cambios de potencial producidos por el ojo cuando la retina es expuesta a un estímulo luminoso es llamado electroretinograma (ERG). Un electrodo se instala en un lente de contacto el cual está en contacto con la córnea y otro electrodo se sitúa cerca del oído para sensar el potencial de la parte posterior del ojo. La señal de un electroretinograma es más compleja que una señal de una fibra nerviosa porque la señal proveniente del ojo es la suma de efectos y fenómenos que tienen lugar en el ojo.

Otra señal que puede ser estudiada en el ojo es la debida a los cambios de potencial por el movimiento del ojo y el registro de esta señal es conocido como electrooculograma (EOG). Para detectar estas señales se instalan un par de electrodos cerca del ojo.

El electrooculograma provee información sobre el movimiento del ojo como su velocidad y aceleración angular. Algunos estudios han sido hechos para determinar los efectos de las drogas sobre el movimiento del ojo. Esta técnica cada día tiene más uso como práctica rutinaria de diagnóstico médico.

2.3.5 Técnicas para monitoreo del paciente.

Comúnmente en pacientes en estado crítico es necesario monitorear la presión de la sangre en venas y arterias, el pulso, temperatura, el ritmo de la respiración, señales electrocardíacas, señales del cerebro y otras señales de las funciones vitales, y esto segundo a segundo. En las unidades de cuidados intensivos las enfermeras y doctores tienen que conocer inmediatamente cualquier cambio en las condiciones del paciente. Desafortunadamente por lo general no existe suficiente personal capacitado y disponible para estar vigilando el monitor en forma permanente, y aún si lo hubiera el trabajo es lo suficientemente aburrido que fatiga rápidamente al personal médico y esto provoca un decremento en la habilidad para notar cambios en las señales del monitor.

Recientemente se utilizan computadoras para el monitoréo de pacientes. En muchos centros médicos y hospitales las señales de monitoréo de pacientes en estado crítico son enviadas directamente a pequeñas computadoras que están programadas para detectar cambios en las funciones vitales de cualquiera de los pacientes y notificar al personal médico acerca de estos cambios. En algunos centros médicos las computadoras han sido programadas para suministrar medicamentos de emergencia al paciente con problemas, esta función se realiza por medio de servo jeringas y esto permite superar los primeros segundos de una crisis que son los más importantes mientras el personal médico se empieza a movilizar.

En el paciente el principal problema con los sistemas de monitoréo por computadora es la interferencia en las señales que son alimentadas a ésta. El ruido eléctrico captado por los cables del monitor puede indicarle a la computadora que ha habido un cambio drástico en las condiciones del paciente sin haber realmente existido éste. Este ruido eléctrico puede ser generado por algún equipo eléctrico cercano o por movimientos del propio paciente. Mientras las computadoras no puedan ser programadas para ignorar los pulsos de interferencia, señales erróneas o falsas son una seria molestia y problema.

2.3.6 Técnicas de Rayos X.

Es relativamente sencillo hacer una placa o fotografía por rayos X, esta técnica también se conoce como roentgenograma. Todo lo que se necesita es una fuente de rayos X y una película sensible a estos rayos sobre la cual se registran. Sin embargo hacer una buena placa de rayos X requiere de la tecnología y equipos adecuados.

El sistema más común es la conocida máquina de rayos X en donde se envía una haz de ondas electromagnéticas de alta energía a través del cuerpo. Las ondas (fotones) que pasan a través del cuerpo forman una imagen sobre una película y a esta imagen se le llama imagen de rayos X. El hecho de que algunos materiales como el hueso absorban los rayos X mejor que el tejido blando permite observar el interior del cuerpo. En la actualidad existen sistemas de rayos X muy ligeros que permiten hacer pruebas en la misma cama con bastante facilidad.

Otros desarrollos recientes han logrado que las imágenes de rayos X puedan ser vistas directamente en una pantalla cubierta de un material fluorescente. Esta técnica es conocida como fluoroscopia y es utilizada en aplicaciones donde es necesario detectar u observar el movimiento, como por ejemplo el movimiento digestivo del estómago.

Las técnicas de video permiten ver la imagen de rayos X en un tiempo real simultáneamente a medida que se registran los datos sin esperar el revelado de la película. En la actualidad la resolución de la imagen de video es casi tan buena como la que se obtiene en película. Una vez que los datos se han convertido en señales eléctricas no hay límite en relación a lo que se puede hacer con ellos (videograbación, amplificación, análisis en computadoras, transmisión de imagen, etc.).

Tomografía con rayos X.

Uno de los problemas de la roentgenografía es que la imagen presenta sombras y que todo lo que se encuentra en el trayecto del rayo X aparecerá sobre la imagen. Esto hace difícil observar un nivel en el cuerpo sin que la imagen de ese nivel aparezca borrosa a causa de los datos provenientes de otros niveles. El sistema de tomografía es una de las soluciones a este problema.

Con este sistema la fuente de radiación o tubo de rayos X se mueve hacia atrás y hacia adelante en un plano horizontal. Al mismo tiempo el detector de rayos X o la película para el registro se mueve horizontalmente en una dirección opuesta a la del emisor de rayos X. El resultado es que solo aparece enfocado un nivel en el cuerpo, todas las otras áreas aparecen borrosas en la imagen de rayos X. Ajustando la oscilación de la placa y el tubo puede resolverse la imagen de cualquier nivel dentro del cuerpo.

Imágenes por radiación nuclear.

Las imágenes o placas que muestran la distribución de la radioactividad es actualmente el aspecto más importante de la medicina nuclear. Los dos instrumentos principales que se utilizan para producir imágenes en medicina nuclear son la cámara gama y el explorador rectilíneo. Las imágenes producidas por estos aparatos son de menor calidad que una buena imagen de rayos X pero proveen información que ninguna otra técnica puede dar.

Las exploraciones de este tipo en todo el cuerpo se usan cuando hay la posibilidad de que exista algún tumor en crecimiento. En este caso se administra al paciente un producto químico que es un trazador radioactivo y que se sabe se incorpora a los tejidos en crecimiento rápido. Una vez que ha ocurrido la incorporación se coloca al paciente sobre la cama del sistema de exploración y se mueve bajo el explorador o cámara hasta que

se ha revisado todo el cuerpo. Con movimientos apropiados del paciente y del explorador pueden obtenerse vistas especiales como la anterior posterior o laterales. Al igual que en otras técnicas para diagnóstico, las imágenes captadas por el explorador o la cámara son convertidas en señales eléctricas las cuales hacen posible que se puedan analizar por computadora, transmitir, videograbar o mostrar las imágenes en un receptor de video.

Algunas de las principales aplicaciones de la medicina nuclear son la detección de tumores, calcificación de tejidos y cáncer o coágulos en los pulmones y el cerebro, aunque su aplicación puede ser en todo el organismo.

2.3.7 Otras técnicas de instrumentación médica.

Los métodos ópticos constituyen una de las áreas de la instrumentación médica más importantes y utilizadas en el diagnóstico de enfermedades. La endoscopia es la principal técnica óptica de diagnóstico, mediante ésta es posible observar el interior del cuerpo humano. Esto es posible mediante un sistema de lentes (endoscopio) el cual refleja la imagen enfocada en el interior del cuerpo humano hasta el exterior de éste. La contribución de la electrónica en esta área ha sido importante, lo cual permite que en la actualidad las imágenes del cuerpo humano además de poder mostrarse en un monitor sean convertidas en señales eléctricas las cuales pueden ser posteriormente utilizadas.

Las técnicas infrarrojas son relativamente nuevas en medicina pero los resultados son prometedores y seguramente habrá un rápido desarrollo en el uso de este método de exploración. El uso de la exploración infrarroja para diagnóstico depende del principio físico de que todos los cuerpos radian energía (como el calor) en proporción a su temperatura.

El sistema de exploración infrarroja consta en primer lugar de una lente o espejo que enfoca la radiación infrarroja sobre un detector. El sistema de lentes o espejo recorre al paciente y transmite la radiación al detector que es un registrador muy especializado cuya resistencia cambia según la intensidad de la radiación incidente. El detector actúa como un transductor para convertir la radiación IR en una señal eléctrica cuya amplitud puede relacionarse con la ubicación de la cual se obtuvo la señal.

A medida que progresa la exploración las señales del detector se utilizan para revelar una imagen sobre una pantalla de video. Algunos tipos de exploradores tiene

pantallas de color de manera que las áreas de diferentes temperaturas aparecen en diversos colores.

El uso clínico de la exploración infrarroja depende directamente de su capacidad para detectar diferencia en temperatura. Una de las aplicaciones más importantes es la detección temprana de cáncer mamario. La aplicación de la exploración infrarroja se basa en el conocimiento de que las áreas corporales en que la velocidad metabólica es excesiva tendrán temperatura superiores a las normales. Las áreas de infección o los puntos en que ha habido un aumento de la red vascular también aparecen muy prominentes en la imagen infrarroja.

Las técnicas de diagnóstico y exploración por ultrasonido son relativamente nuevas pero cada día tienen una mayor aplicación, sobretodo como gran auxiliar de las técnicas roentgenográficas. Uno de los factores más importantes para su cada vez más amplia utilización es que la exploración ultrasónica es una técnica no invasora y no presenta los riesgos potenciales que tiene el uso de los rayos X.

El principio de la reflexión de las ondas sonoras es la base sobre la cual funciona esta técnica, el efecto de reflexión es el que permite usar el ultrasonido para exploración. Las ondas de sonido son reflejadas dependiendo de si el material es relativamente blando o duro.

Por ejemplo en el caso de una onda de sonido que viaja a través de grasa y choca con un hueso, aproximadamente el 50% de la energía sonora se reflejará. Esto sugiere que los huesos, los fragmentos metálicos, las astillas, los cálculos renales, etc. son fácilmente detectados mediante la técnica del ultrasonido. En contraste la energía que se refleja cuando una onda sonora pasa por un tejido grasoso por ejemplo un músculo o la piel es inferior al 1%.

El explorador de ultrasonido consta básicamente de un generador de audio, un transductor ultrasónico y un osciloscopio o monitor, además claro de todos los circuitos y componentes electrónicos asociados para el control y operación de éstos. El transductor actúa tanto como un transmisor de los pulsos ultrasónicos (los cuales provienen del generador de audio), y como un receptor para los pulsos reflejados, además de estas dos funciones el transductor convierte las señales acústicas en señales eléctricas.

En la aplicación práctica de la exploración por ultrasonido las altas frecuencias (superiores a 12 MHz) son ideales para definir pequeños objetos en sitios de poca

profundidad, pero su penetración al cuerpo es limitada. En contraste las bajas frecuencia (1 MHz o menores) tienen una penetración excelente pero no pueden dar una buena definición de la imagen obtenida. Justamente la elección de la frecuencia correcta es lo que nos permite utilizar esta técnica para diferentes aplicaciones.

Las aplicaciones de la exploración por ultrasonido son muchas y muy diversas, entre las más importantes están la exploración ultrasónica fetal, exploración de algunos órganos y músculos del cuerpo (hígado, riñones, corazón, senos, etc.) y más recientemente se ha desarrollado esta técnica para la exploración y estudio de las arterias humanas, medición de la velocidad del flujo sanguíneo y monitoréo del ritmo cardíaco fetal, aunque en el futuro inmediato se espera el desarrollo de nuevas aplicaciones para esta técnica.

2.4 INSTRUMENTOS PARA LA MEDICION Y TRANSMISION DE SEÑALES DEL CUERPO HUMANO.

2.4.1 Registradores.

El registrador es probablemente el instrumento eléctrico más común en los hospitales, clínicas, laboratorios y en general en cualquier lugar donde se necesite dejar constancia de cualquier tipo de señal. Un registrador está diseñado precisamente para hacer un registro permanente de una señal eléctrica. La mayoría de los registradores médicos son del tipo de pluma, éstos pueden utilizar ya sea un punto con tinta o un punzón caliente para marcar el papel. Para aplicaciones de alta frecuencia emplea un graficador de haz luminoso para revelar un papel fotosensible, pero el resultado es el mismo.

Algunas de las características más importantes que se tienen que tomar en cuenta al momento de seleccionar un registrador son las que se mencionan a continuación:

Es deseable que los registradores sean de alta impedancia de entrada pues un registrador con baja impedancia de entrada requiere de una gran cantidad de corriente antes de que registre el valor apropiado. Otro parámetro a evaluar en los registradores es su ganancia y respuesta a la frecuencia, se desea tener la mejor respuesta a la frecuencia posible para poder detectar cambios en la señal, pero esta respuesta no debe ser tan sensible que produzca oscilación transitoria.

Son también importantes en un registrador los parámetros de exactitud y sensibilidad aunque los valores se definirán dependiendo de las aplicaciones. El tiempo de respuesta el cual es el tiempo que tarda el registrador en responder a un cambio en la señal de entrada no es comúnmente un aspecto crítico en las aplicaciones médicas aunque si es de considerarse.

Los registradores más comúnmente utilizados son aquellos que se aplican para graficar señales del cuerpo humano como temperatura, presión, volumen, señales del corazón o cerebro etc.

Una de las unidades que con frecuencia se usa en las áreas de cuidado intensivo es el registrador de tendencias. Este utiliza una velocidad baja de graficación casi siempre de 1 cm/hora para hacer registros en períodos muy largos. Si deben proyectarse gráficas de diversas variables, por ejemplo la presión sanguínea, la temperatura y la respiración, las gráficas pueden hacerse en forma secuencial; el registrador pasará por la secuencia en un minuto o menos. Cada canal tiene su propio control de sensibilidad y puede ajustarse a una posición cero diferente sobre el papel de la gráfica. Esto permite que el médico coloque el punto normal de temperatura corporal.

En la mayoría de los registradores de tendencias pueden verse los datos correspondientes a 24 hrs y esto permite a los médicos del siguiente turno ver cual ha sido la condición del paciente. En algunos casos por ejemplo puede presentarse un cambio prolongado y lento en la temperatura que hubiera sido difícil detectar si la temperatura se hubiera medido periódicamente con un termómetro oral. En el registrador de tendencias este cambio es muy evidente, lo que permite tomar una pronta acción.

Otro instrumento útil es el registrador x-y, este registrador puede graficar una curva de la variable X en función de otra variable o bien del tiempo. En esta forma pueden representarse curvas complejas eliminándose los errores humanos en el trazo de una curva a partir de una serie de puntos.

2.4.2 Amplificadores y filtros.

Por lo general los amplificadores se utilizan para amplificar o incrementar la amplitud de señales que se desean detectar, y los filtros se utilizan para eliminar aquellas que no se desean recibir. Ambos pueden utilizarse para reducir o eliminar el ruido.

Los amplificadores pueden utilizarse para eliminar el ruido empleando la forma de rechazo del modo común. Otra aplicación de los amplificadores consiste en proporcionar aislamiento, es decir, pueden emplearse para proteger a los pacientes o a los instrumentos de las elevaciones repentinas de corrientes o voltajes, que pueden considerarse "ruido" en cierto sentido ya que definitivamente son señales indeseables. Estos amplificadores de aislamiento son especialmente adecuados para usos médicos y son conocidos como amplificadores AI. Los AI permiten el paso de algunas señales y rechazan otras, pero las que rechazan pueden ser miles de veces más fuertes que las que pasan. El AI se diseñó originalmente para la protección del equipo de monitoréo de señales cardíacas (ECG) al momento en que un paciente tenía que ser desfibrilado.

Esta aplicación no es de ninguna manera la única de los AI, se instalan este tipo de amplificadores en muchos equipos de monitoréo y análisis en hospitales. Los AI no solo tienen el objeto de proteger el aparato, sino también de proteger al paciente cuando algo suceda con el aparato.

Los amplificadores también son útiles para la igualación de impedancias, para resolver los problemas que se presentan cuando se tiene una fuente de alta impedancia de salida o un detector de baja impedancia de entrada en lugar de la inversa que es lo deseable. Este tipo de amplificador se conoce como amplificador regulador, tiene una impedancia de entrada muy alta de manera que no requiere mucha corriente del transmisor y tiene una impedancia de salida muy baja así que puede proporcionar la corriente que requiere el registrador.

En aplicaciones dentro de la instrumentación médica la utilización de filtros reduce la potencia de la señal y en la medicina la potencia de las señales del cuerpo humano es muy baja. El problema de la potencia puede reducirse hasta cierto punto incorporando amplificadores al circuito del filtro, estos circuitos se llaman filtros activos para distinguirlos de los filtros que contienen solo componentes pasivos como son las resistencias y los capacitores. Los filtros activos son los que más se utilizan en la instrumentación médica y al igual que los pasivos los hay paso bajas, paso altas y paso banda.

Los filtros son utilizados comúnmente en sistemas de instrumentación médica como un medio para eliminar ruidos. Dentro de la aplicación de filtros para eliminar ruidos en la medición, registro y monitoréo de bioseñales se utilizan los tres principales tipos de filtros que son los filtros paso bajas los cuales solo permiten el paso de señales de CD o de muy bajas frecuencias, los filtros paso altas los que solo permiten el paso de altas

frecuencia y los filtros paso banda los cuales permiten el paso de señales dentro de un rango de frecuencias.

2.4.3 Instrumentos para medir deformación, temperatura, flujo y presión.

En este punto se describen algunos de los métodos fundamentales y dispositivos básicos que se usan en la instrumentación médica.

Empezaremos por describir los medidores de deformación. Rara vez se podrá observar una aplicación donde únicamente se utilice un medidor de deformación, sin embargo los medidores de deformación se usan como partes integrales de todo tipo de aparatos médicos para medir presión, fuerza o cambio de longitud (por ejemplo la medida de la expansión del tórax). Básicamente un medidor de deformación emplea un tramo de alambre con una resistencia eléctrica R conocida, cuando el alambre se estira su longitud aumenta y su diámetro disminuye, por consiguiente al disminuir el diámetro del alambre se reduce el área de conducción de energía y aumenta la resistencia. En teoría entonces se puede medir la cantidad de deformación midiendo el cambio en la resistencia del alambre, ya que la deformación es proporcional al cambio de la resistencia.

Infortunadamente las cosas no son tan sencillas porque la resistencia del alambre también puede cambiar con variaciones de la temperatura ambiente y la señal, es decir el cambio en el valor de la resistencia es muy pequeño y difícil de detectar sin un aparato especial. Para sortear estos problemas se utiliza no solo uno sino cuatro medidores de deformación unidos, éste es un circuito llamado "Puente de Wheatstone". El uso de este circuito reduce los efectos por los cambios de la temperatura y mejora la sensibilidad.

Otro tipo de medición que se hace muy a menudo en hospitales es la evaluación de la temperatura. El equipo que se utiliza con más frecuencia para medir la temperatura es todavía el termómetro de mercurio. El mercurio al igual que muchos otros materiales se expande con la temperatura y al introducirlo en un tubo de vidrio graduado se proporcionará mercurio en un recipiente con un sistema de lectura.

Cuando se desea obtener una señal eléctrica proporcional a la temperatura normalmente se utiliza un termopar o un termistor. El termopar es un transductor de temperatura que consta de una unión entre dos alambres, generalmente estos dos alambres son de cobre y de una aleación llamada constantan. Al calentar el termopar la unión produce un voltaje cuyo valor es proporcional a la temperatura.

El termistor está compuesto de una mezcla compleja de óxidos que se comprimen y se calientan. A éstos se unen dos alambres y después de darle un tratamiento apropiado la resistencia eléctrica del compuesto es proporcional a su temperatura. La sensibilidad en términos del cambio en la resistencia por grado de temperatura, es en los termistores mucho más alta que en los termopares, por lo que es muy común encontrar termistores transductores.

Otra variable común a medir es la humedad. El sistema más simple para medir la humedad utiliza un par de termistores o termopares, uno de los cuales se le conoce como "bulbo seco" y el otro como "bulbo húmedo". Este último se mantiene húmedo por medio de una envoltura de tela que se humedece por acción capilar desde un pequeño recipiente de agua destilada. El dispositivo húmedo se enfría por vaporización y la diferencia de temperatura entre éste y el termopar o termistor seco es una medida de humedad relativa. La humedad relativa se expresa en porcentaje y es la relación entre el contenido real de agua en el aire y la cantidad de agua que podría existir si el aire estuviera saturado.

En la práctica clínica es necesario medir el flujo sanguíneo, el flujo de gases en el sistema respiratorio o quizás el flujo de dializado en un riñón artificial. El medidor de flujos de tipo eléctrico más común utiliza un termistor que tiene un calentador eléctrico interconstruido para elevar la temperatura hasta cierto nivel sobre el de la sangre, el aire o cualquier cosa que esté pasando a través de él. El termistor calentado se inserta en el gas o líquido que fluye e inmediatamente se enfría, ya que el aire o el líquido disipan el calor. La pérdida de calor que se mide en términos de la potencia eléctrica necesaria para mantener el dispositivo a una temperatura fija puede relacionarse con la velocidad del fluido.

2.5 ALGUNOS EJEMPLOS DEL USO DEL VIDEOTELEFONO EN EL HOSPITAL

Con los recientes desarrollos en la electrónica de estado sólido y la miniaturización, los costos del equipo electrónico de comunicación se han reducido al punto que el costo de un equipo de audio-video es hoy de la mitad de lo que era en el pasado el costo de un equipo de audio solamente.

Un sistema bidireccional de videotelefonía entre un laboratorio de análisis clínicos y la sala de operaciones le permite al cirujano consultar al patólogo y permite la consulta de alguna placa o análisis por microscopio sin tener que salir de la sala de operaciones, y

de igual manera le permite al patólogo observar una lesión o padecimiento de algún paciente en cirugía sin tener que entrar a la sala de operaciones. Esta misma aplicación se presenta cuando el cirujano necesita consultar una placa de rayos X del laboratorio de radiología para realizar algún trasplante, cirugía reconstructiva o cualquier otra cirugía importante.

Para consultar una placa radiográfica se enfoca la cámara de video de alta resolución del videoteléfono sobre la placa de rayos X mostrada en el visor de radiografías y la imagen se transmite hasta el monitor del videoteléfono de la sala de operaciones donde el cirujano la puede consultar y además puede consultar verbalmente al técnico de radiología. Más aún, un lente de acercamiento de la cámara puede amplificar la imagen de cualquier punto de la placa de rayos X para lograr analizar algún detalle importante.

Si consideramos qué difícil es durante las horas pico consultar al experto radiólogo o anestesiólogo de un gran hospital o centro médico, los cuales están situados en lugares remotos a la sala de operaciones y el tiempo que tendrían que invertir si tuvieran que ir a ésta, es claro entender las grandes ventajas que significa la utilización de un videoteléfono.

Y existen más ventajas como lo es que este sistema de comunicación evita el riesgo de infección que existe si se introducen a una sala de operaciones cualquier análisis, placa de rayos X o estudio de laboratorio, pues existe la posibilidad de contaminar el ambiente o el instrumental esterilizado, con el consiguiente perjuicio a la salud del paciente.

Los anteriores ejemplos se pueden aplicar a otras técnicas de diagnóstico y análisis clínico aparte de las ya mencionadas, el videoteléfono se aplica también en fluoroscopia donde la imagen se puede transmitir y observarse en un monitor situado en algún punto remoto. El uso de un sistema de comunicación de audio y video se ha extendido prácticamente a todas las técnicas y áreas de la medicina, pues no solo es la comunicación de la sala de operaciones, la sala de emergencia o las unidades de cuidado intensivo, con otras áreas de un hospital, sino la comunicación de todas estas áreas con clínicas distantes entre sí por varios kilómetros. Como lo podemos ver la aplicación del videoteléfono en los hospitales y clínicas es muy amplia y de enormes beneficios.

Otra ventaja es la que se presenta en el caso de que el cirujano requiera consultar a otro médico especialista durante una cirugía u operación. En esta situación el especialista por medio de una cámara situada por encima de la mesa de operaciones puede observar la problemática de la operación y puede entablar una conversación directa con el cirujano.

Bajo estas condiciones el cirujano puede obtener del mencionado especialista una opinión o respuesta muy valiosa sobre una duda que puede ser vital para el éxito o fracaso de la intervención quirúrgica.

Uno de los equipos más prácticos y que podría utilizarse en el sistema de videotelefonía de un hospital (sobre todo para utilizarse en salas de operaciones) es un equipo portátil que consiste en una consola la cual tiene un monitor, un micrófono, y una cámara la cual está montada sobre un brazo telescópico con movimiento para hacer tomas de distintas vistas. Este equipo se puede utilizar para intercomunicar áreas internas de un hospital o fuera del hospital. El equipo antes mencionado cuenta con una serie de conexiones para hacer fácil y rápida su conexión en una u otra sala de operaciones que tenga línea de comunicación. La ventaja de una unidad portátil como ésta es que un solo equipo sirve para seis u ocho salas de operaciones. En el caso de equipos fijos es común tener montada una cámara en el techo sobre las mesas de operaciones y un monitor en un panel enfrente de la misma mesa.

CAPITULO III

MEDIO DE TRANSMISION.

3.1 INTRODUCCION

Muchos de los nuevos servicios de telecomunicación ofrecidos para el siglo 21 son en nuestros días una realidad, esto ha provocado la saturación de la infraestructura actual en medios de telecomunicación. Debido a esta situación hoy se abren grandes perspectivas y posibilidades para la utilización de nuevos desarrollos tecnológicos que permitan satisfacer las demandas actuales en servicios de telecomunicación. Las nuevas tecnologías se enfocan a la utilización de un mayor ancho de banda y a la posibilidad de una transmisión a mayor velocidad, buscan además reducir las pérdidas e interferencias, es decir el objetivo es lograr contar con sistemas y medios más eficientes. Estas necesidades han impulsado el estudio y desarrollo de nuevos medios de transmisión, un ejemplo es la utilización del cable de fibra óptica para transmisiones digitales por medio de equipo optoelectrónico, este sistema presenta grandes ventajas en su empleo en cortas y medias distancias.

En la actualidad los principales sistemas de telecomunicación siguen utilizando la transmisión por cable (par telefónico y cable coaxial) y las microondas, estos medios tienen en mayor o menor grado diferentes problemas. Por ejemplo en el sistema de comunicación por cable es frecuente la interferencia y el congestionamiento de líneas, y en el de microondas la limitación en el rango de frecuencias disponibles para la telecomunicación.

En este tercer capítulo se analizan los posibles medios de transmisión que se podrían utilizar en nuestro proyecto de la red de videoteléfonos, y se presenta la mejor opción.

3.2 MEDIOS DE TRANSMISION.

Los medios convencionales para la transmisión de señales de telecomunicación son el par telefónico, el cable coaxial y las microondas, más recientemente se ha difundido la

utilización del cable de fibras ópticas. A continuación se describirán las características de cada uno de ellos.

3.2.1 Cable de pares torcidos o par telefónico.

La transmisión de información por cable de pares torcidos es una de las tecnologías más antiguas y dominadas, ésta tiene cada día menos aplicación por las ventajas que presentan otros medios. Pero aún así existen nichos en los que la aplicación de este tipo de cable presenta ventajas sobre los demás medios de transmisión.

Los cables de pares torcidos se pueden clasificar en cables para audio y datos, y cables para video. La función de un cable de este tipo en un sistema de comunicación es transportar una señal de un lugar hacia otro, en donde la señal se reciba con una apropiada amplitud, con un mínimo de distorsión y con bajos niveles de interferencia.

En principio el cable de pares torcidos o cable telefónico (llamado así por su amplio uso en redes y sistemas telefónicos), nació por la necesidad de crear circuitos telefónicos que pudieran ser instalados bajo tierra. Los primeros cables de este tipo fueron instalados en Brooklyn y Boston en 1883 y el cable consistía en un hilo de cobre impregnado de aceite el cual no contaba con ningún tipo de cubierta. Tres años más tarde los hilos de cobre eran forrados con un tubo de plomo, posteriormente las dificultades por la transmisión en un solo hilo y el regreso a tierra fueron intolerables y se creó el par torcido.

Pero ese tipo de cable no solucionó el desbalance de capacitancias a tierra y la diafonía, algunos años después estos problemas se superaron con la utilización de las técnicas de torcido y cableado y con el aislamiento de papel seco. En 1910 aparecieron los cuadretes que eran dos pares torcidos que se torcían después entre sí.

Para después de la 2a Guerra Mundial aparecieron los plásticos y con esto muchos cambios en las cubiertas del cable telefónico ya que éstas no tenían ahora que ser necesariamente de plomo sino podían ser de cintas de aluminio corrugado y forrado con polietileno. Por último aparecieron los conductores aislados con plástico que generalmente es polietileno o polipropileno.

Las principales características del cable de pares son su resistencia en serie R, inductancia L, capacitancia C y conductancia G por unidad de longitud del cable y las

características de transmisión como impedancia característica Z y constante de propagación γ .

La tabla 3.1 muestra los valores típicos de atenuación para cables telefónicos de cobre con aislamiento de polietileno en varios calibres.

CALIBRE	ATENUACION EN dB/km	
	a 150 KHz.	a 772 KHz.
19 AWG	4.4	10.4
22 AWG	6.2	14.6
24 AWG	8.3	18.5
26 AWG	11.4	22.5

TABLA 3.1

El par para video está diseñado para transportar señales de video a pequeñas distancias que no sean mayores de 10 Km, por ejemplo de algún estudio de T.V. a alguna estación transmisora y comúnmente son incluidos en algún otro cable que esté bajo suelo.

El par para video está formado regularmente de dos conductores de cobre calibre 16 AWG (u otro calibre similar) aislados con polietileno expandido, dos núcleos de relleno también de plástico expandido y un núcleo de fibra de vidrio todos ellos reunidos y torcidos. Algunas veces se aplica una cinta plástica reunidora y dos cintas de cobre como pantalla o blindaje, una en forma longitudinal y otra en espiral.

Este cable es de 125 ohmios de impedancia a 1 megahertz, tiene que tener un buen balance a tierra y no presentar irregularidades de impedancia para no presentar el fenómeno de eco.

El cable de pares para video se utiliza comúnmente para transmitir señales de video a 1 Mbit por segundo, que es una velocidad baja en comparación a la que pueden transmitir la mayor parte de los medios de transmisión, como por ejemplo los cables coaxiales o los cables de fibras ópticas.

El cable de pares torcidos para audio es utilizado normalmente en redes telefónicas pero también se llega a utilizar en redes locales de datos, en esta aplicación la transmisión es muy susceptible a interferencias y la longitud máxima aplicable es de 3 Km (que es muy corta en el caso de una red extensa), esto aunado a la distorsión de retraso y algunos otros factores lo hacen un medio de transmisión aplicable solo para necesidades muy específicas.

El cable de pares torcidos es el cable más barato y de más fácil instalación y mantenimiento, pero el costo de la red crece demasiado para longitudes mayores a 5 Km. pues son necesarios repetidores digitales (que son muy caros), además existe una limitante en cuanto al número de repetidores. Otras desventajas son su alta relación de error en la transmisión por las interferencias electromagnéticas y la baja velocidad a la que se puede transmitir.

A velocidades de transmisión cercanas a 10 Mb/s o mayores, el uso de cable con pares no se recomienda debido a las altas pérdidas y gran diafonía, para estas aplicaciones se recomiendan los cables coaxiales. En resumen la ventaja de usar cables de pares torcidos en una red local se reduce hasta desaparecer conforme se hace más grande la red. Solo presenta ventajas en redes de corta distancia que enlacen equipos similares y que operen con velocidades de transmisión bajas.

3.2.2 Cable Coaxial.

Uno de los medios de transmisión mejor comprendidos y establecidos es el cable coaxial. Este como los demás medios de transmisión ofrece ventajas y desventajas, éstas dependen de las necesidades específicas de transmisión, del equipo a utilizar y del costo.

El cable coaxial en términos generales está formado por un conductor central de cobre con alta pureza quien es el que transporta la señal, un aislamiento que lo cubre en todo su alrededor (este aislamiento es un dieléctrico generalmente polietileno de baja densidad el cual crea además una capacitancia que depende del espesor), sobre el aislamiento se aplica una malla metálica formada por hilos de cobre o cobre estañado estos hilos entrelazados hacen las funciones de pantalla electrostática y por último sobre la malla de cobre se encuentra la cubierta del cable la cual es generalmente de PVC, ésta tiene la función de dar protección mecánica al cable. Todos estos componentes están dispuestos concéntricamente al hilo de cobre el cual es el eje principal, de aquí el nombre de cable coaxial.

Las dos principales formas de comunicación por medio de cable coaxial son la transmisión por banda ancha y la transmisión por banda base, las dos tienen aplicación en redes locales. También tiene un amplio uso en la transmisión de video por cable.

La tabla 3.2 muestra diversos tipos de cables coaxiales y sus características eléctricas:

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE ALGUNOS CABLES COAXIALES

Tipo de Cable	8A/U	11A/U	58/U	59B/U	621/U
Diámetro ext. (mm)	10.34	10.50	5.0	6.2	6.15
Impedancia (ohm)	52	75	50	75	93
Capacitancia (pF/M)	100	68	100	68	44
Atenuación (dB/100m)					
a 10 MHz	1.5	1.6	3.6	3.1	2.4
100 MHz	4.8	5.2	11.6	10.1	7.7
400 MHz	10.1	11.0	23.8	20.8	15.7
1000 MHz	17.1	18.4	38.6	33.9	25.7
3000 MHz	33.2	35.2	70.4	62.1	47.2

TABLA 3.2

Es de imaginarse que los requerimientos eléctricos para circuitos que transmiten altas frecuencias son muy precisos, por lo que cualquier irregularidad en la construcción misma del cable es causa de fallas en la transmisión.

El diseño de este cable permite la transmisión de señales con un gran ancho de banda, a altas velocidades y con gran inmunidad a la distorsión, interferencia y consecuentemente a errores en la transmisión. El cable coaxial para transmitir en banda base es usualmente de 50 ohmios y permite la transmisión de una sola señal eléctrica con velocidades desde 3 a 10 Mbits/seg.

La máxima distancia a la que se puede transmitir utilizando banda base con cable coaxial en una red local es de 3 Km. y esto dependiendo de otros aspectos de la red como lo son los transmisores, receptores etc... El cable descrito anteriormente es un cable mono-coaxial por lo que éste solo transmite señales eléctricas en una dirección, así que para poder tener comunicación en ambos sentidos son necesarios dos o más cables mono-coaxiales o un cable bicoaxial.

El cable coaxial para transmitir en banda ancha es normalmente un cable CATV de 75 ohmios (este cable es el comúnmente utilizado en la transmisión de televisión por cable), el ancho de banda disponible en este cable es dividido por multiplexaje por división de frecuencia en 30 o 50 canales de radio frecuencia, cada uno de los cuales es equivalente a un canal de banda base.

La capacidad total de transmisión es mayor en banda ancha por la multiplicación de canales, sin embargo la velocidad por canal es de 1 a 5 Mbits/seg que es menor que en banda base. La principal ventaja de la banda ancha es la capacidad para poder transmitir simultáneamente voz, video y datos.

La banda base permite la llegada de la señal a muchos usuarios con distancias hasta de 50 Km, la señal solo tiene que ser reamplificada mediante amplificadores convencionales. La interferencia electromagnética que es un problema en la banda base no lo es en la banda ancha por las técnicas de modulación utilizadas y por las altas frecuencias con que se trabaja.

Dentro de las ventajas de la transmisión en banda ancha por cable coaxial se encuentran; un mayor ancho de banda y por lo tanto capacidad de transmisión, mayor capacidad de crecimiento, velocidad y capacidad de cubrir mayores distancias que el cable de pares torcidos, mayor seguridad de la información y una mayor inmunidad que el cable de pares torcidos y que las microondas.

Las desventajas son; un menor ancho de banda, menor velocidad de transmisión y cobertura de distancias, menor seguridad e inmunidad al ruido, mayor peso y dimensiones, todo esto en comparación con la fibra óptica. En comparación con el cable de pares torcidos tiene un mayor costo de adquisición y de instalación para aplicaciones de baja capacidad.

El cable coaxial es un medio estándar de transmisión para muchos sistemas analógicos en especial de video debido a que los sistemas digitales en cable coaxial son relativamente nuevos, su aplicación no es tan amplia ni normalizada como en la transmisión analógica. Sin embargo, existen sistemas digitales con cable coaxial en uso en la actualidad, particularmente a velocidades estándar de 8.448 Mb/s. La mayoría de los sistemas digitales por cable aprovechan las ventajas de las características de los sistemas y redes de sistemas analógicos existentes y los espaciamientos en los repetidores.

3.2.3 Sistemas de Microondas.

Los sistemas de comunicación por microondas operan a frecuencias abajo de 1 GHz. y se propagan principalmente en el espacio libre, ya sea desde sistemas de satélites o desde estaciones terrenas. Estos sistemas de comunicación han llegado a ser desde los años cincuentas el medio más recurrido para las comunicaciones telefónicas de larga distancia. Estos sistemas proveen el ancho de banda necesario y una confiabilidad tal que permiten transmisiones de muchos miles de canales telefónicos así como algunos canales de TV por la misma ruta y usando las mismas facilidades.

Los sistemas de microondas utilizan frecuencias portadoras del orden de los 3 a los 12 GHz. Debido a que las microondas se transmiten por el espacio es necesario contar con estaciones repetidoras para recuperar la potencia perdida, estas estaciones se encuentran más o menos en intervalos de 50 Km. Esta situación hace que los costos para un sistema de este tipo sean muy altos.

La figura 3.1 muestra el equipo que se necesita para tener un canal de un sistema de microondas. Este consiste de dos estaciones terminales y una o más estaciones repetidoras. La entrada de la terminal transmisora se compone de algunos cientos de canales telefónicos y/o algunos canales de señales de TV, éstos frecuentemente multiplexados dentro de una banda base de 6 MHz. La frecuencia de banda base modula a la señal con frecuencia intermedia de 70 MHz, ésta es entonces convertida en una señal de microondas con frecuencia de salida f_1 la cual está dentro de la banda de los 4 GHz.

Esta señal es amplificada y es posteriormente propagada a través de una antena direccional hacia una estación repetidora a unos 50 Km de distancia. En la estación repetidora la señal a una frecuencia f_1 es recibida por una antena orientada hacia la estación emisora, después pasa por un reductor de frecuencia cuya salida es una señal de frecuencia F_1 que es amplificada para posteriormente pasar por un elevador de frecuencia que la convierte en una nueva señal con frecuencia f_2 que será transmitida hacia una estación terminal receptora.

Quando la señal está pasando a través de una cadena de varios repetidores, los enlaces entre cada estación repetidora utilizan frecuencias alternadas para que la energía transmitida en las repetidoras no retroalimente a su propio receptor.

Utilizando dos frecuencias y alternándolas en cada repetidor podemos contar con dos canales de transmisión uno en cada dirección, esto se ilustra en la siguiente figura.

En algunos sistemas de comunicación por microondas se pueden utilizar pares de canales bidireccionales pero hay que tomar en cuenta que esto aumenta en gran medida la complejidad del sistema de conmutación de frecuencias de las estaciones repetidoras.

En la estación receptora terminal, la señal es reducida a la frecuencia intermedia original, y después es demodulada para recobrar la señal en banda base. Esta señal en banda base es posteriormente demultiplexada para recuperar las señales individuales de los canales de telefonía o televisión.

Las estaciones terminales utilizan dos antenas, una para recibir y otra para transmitir. El sistema puede tener varios transmisores y receptores pero todos ellos tienen que utilizar las mismas antenas. Las estaciones repetidoras están provistas con dos antenas cada una orientada a cada dirección.

El asentamiento para las estaciones repetidoras es regularmente seleccionado tomando en cuenta que tiene que ser un lugar con una altura considerable, regularmente se seleccionan colinas o edificios con gran altura, a ésta se suma la elevación que le proporciona la torre estructural a la antena, todo esto tiene por razón maximizar la distancia entre estaciones repetidoras.

Los sistemas de microondas de un canal en una sola dirección utilizando estaciones terminales móviles y repetidoras móviles, son frecuentemente utilizadas para cubrir eventos especiales o para probar nuevas rutas de microondas. Este tipo de equipo es usualmente montado en camionetas móviles con torres telescópicas exteriores que pueden ser elevadas rápidamente.

Otro tipo de repetidoras para los sistemas de microondas son los satélites que están en órbita alrededor de la tierra. Esta estación repetidora puede ser pasiva, reflejando la señal procedente de un transmisor en tierra o también puede ser energizada por medio de energía solar o por medio de una pequeña planta nuclear y funcionar en forma similar a un repetidor en tierra. El equipo transmisor y receptor de un satélite repetidor es similar al utilizado en una estación repetidora en tierra, excepto que éste está diseñado para un aprovechamiento más eficiente de la energía y con componentes miniaturizados para reducir el peso.

Esta estación repetidora montada en un satélite puede manejar hasta 12 pares de transmisión y recepción separados que proveen varios canales simultáneamente. Todos estos transmisores y receptores utilizan la misma antena y es por esto que sus frecuencias

son muy cercanas unas de otras. La potencia de salida de los retransmisores está limitada a unos pocos cientos de watts y las antenas son de baja ganancia, es por ello que la mayoría de los sistemas necesitan transmisores en tierra de alta potencia y antenas de alta ganancia.

3.2.4 Cable de fibras ópticas.

Es sabido que las fibras ópticas empiezan a ser competitivas como medio de transmisión de telecomunicaciones en ciertas capacidades y distancias. La fibra óptica tiene características especiales que la distinguen de los medios de comunicación comunes como los cables de pares de cobre o los coaxiales. Hoy las fibras ópticas son un medio de transmisión que nos ofrece algunas ventajas y otras alternativas de aplicación.

Nadie duda hoy en día del tremendo cambio que la transmisión por fibra óptica representa en el ámbito de las telecomunicaciones. Esta nueva tecnología ha ganado por derecho propio un amplio sector del mercado de transmisión y nadie puede decir con seguridad hasta donde llegarán.

Ya en 1910 se conocían las propiedades de propagación de la luz en barras cilíndricas de vidrio. El principio de la reflexión interna total de la onda luminosa dentro del cristal era bien conocido, sin embargo la propagación a distancia dentro de una barra de vidrio común imponía ciertas restricciones como la gran pérdida de la luz por las impurezas del vidrio, lo que provocaba que la atenuación de las fibras fuera del orden de los miles de dB por kilómetro, por otra parte era sumamente difícil el fabricar fibras suficientemente delgadas y flexibles.

Para el año de 1968 se descubrió que la atenuación de estas fibras era debida a las impurezas del vidrio utilizado, y poco tiempo después al reducir estas impurezas se lograron atenuaciones del orden de 20 a 10 dB por kilómetro. Hoy en día las fibras ópticas tienen una atenuación de 0.18 dB por kilómetro y se esperan reducciones drásticas en poco tiempo. La primera fibra con la pureza suficiente fue fabricada por Corning Glass en 1970 y tenía una atenuación de 20 dB por kilómetro lo cual permitía transmisiones hasta 5 km.

Un resultado importante del estudio de las características de la fibra es que es necesario distinguir entre los dos posibles casos para su consideración como sistema de transmisión. El primero es en el cual la competencia con otros sistemas se basa en las características especiales de la fibra, como su pequeño tamaño y peso, su inmunidad a la interferencia electromagnética, su resistencia a altas temperaturas, su posibilidad de trabajo

en medios particularmente húmedos, o cualquier otra característica de la fibra que resuelva problemas especialmente difíciles para los cables de cobre.

El segundo caso se refiere a las características de capacidad (en cuanto a la cantidad de información transmitida y distancia de transmisión) y costo de la fibra en competencia con las características de capacidad-costo de otros sistemas. En estos costos se deben incluir los costos de adquisición, instalación y mantenimiento.

Tenemos que considerar que el cable de fibras ópticas es un medio de transmisión de alta capacidad, es decir, que es especialmente adecuado para la transmisión multicanal. El resultado de esto es que el costo efectivo por canal para este tipo de sistemas disminuirá conforme el número de canales aumente, esta tendencia se conserva para un rango muy amplio de capacidades disminuyendo el costo por canal en forma más pronunciada que en los sistemas de cobre, tales como cable coaxial o par telefónico.

Respecto a la distancia en los sistemas de fibra óptica tenemos dos límites que definen el espaciamiento entre repetidores, un límite por atenuación y un límite por frecuencia. La necesidad de emplear repetidores para cubrir distancias muy grandes y el costo relativamente alto de la fibra hacen que las consideraciones difieran considerablemente en cuatro rangos de distancias:

- Muy corta distancia < 100 m**
- Corta distancia < 1 Km**
- Media distancia 1 Km < L < 30 Km**
- Larga distancia 30 Km < L**

Para los cuatro casos existen también tres posibilidades de implementación del sistema de acuerdo al grado de integración a lograrse en el país :

- Sistemas comerciales totalmente integrados.**
- Sistemas integrados a partir de partes de sistemas de diversos fabricantes.**
- Integración de sistemas a partir de componentes disponibles en el mercado.**

Analizaremos ahora cada uno de los cuatro casos indicados anteriormente mencionando sus ventajas y desventajas, además de sus características y algunas aplicaciones.

El primer caso es el de un sistema de comunicación para muy cortas distancias.

En un sistema de muy corta distancia la característica más importante es que a casi cualquier capacidad de transmisión un simple cable de cobre puede llevar la señal sin distorsión apreciable de un punto a otro. Por esta razón el uso de la fibra sólo se justifica bajo condiciones muy especiales como lo son alta interferencia, muy reducido espacio etc. Las aplicaciones más comunes en este rango son comunicación de datos entre máquinas en un mismo lugar y transmisiones de datos de medición bajo condiciones de alta interferencia electromagnética tales como las presentes en laboratorios o plantas industriales.

En estos casos la elección puede ir desde una fibra de muy baja calidad y costo como el crofón, que es una fibra de plástico con un diámetro grande de núcleo que tiene una atenuación del orden de 200 dB por kilometro, trabajando con un LED de bajo costo para enlaces menores a 30 mts. y velocidades menores a 300 Kbits/seg.

El método utilizado para este tipo de enlaces consiste en perforar el encapsulado del LED para acoplar la fibra a éste y para la detección se utiliza un fototransistor de alta sensibilidad acoplado también directamente a la fibra la cual tiene su menor atenuación en el rango visible.

Otra solución es el uso de cables multifibras acoplados por medio de conectores de bajo costo a LEDs y fotodiodos empaquetados en encapsulados. Sin embargo el alto costo de este tipo de cables no justifica en la mayoría de los casos su aplicación siendo preferible el uso de cables de una sola fibra.

Los sistemas de comunicación por fibras ópticas para muy cortas distancias son muy especiales por lo que su aplicación es muy reducida y sus ventajas pocas.

Analizaremos ahora el caso de un sistema para corta distancia que sería entre 100 y 1000 m.

En este rango se encuentran ya aplicaciones mucho más específicas tales como la transmisión de señales de datos de mediciones de variables en barcos y aviones, comunicaciones en lugares de alta interferencia, lugares con diferencias de voltajes a tierra peligrosos, lugares de alta temperatura, difícil acceso, alta corrosión a metales o con niveles altos de descargas atmosféricas entre otros. Las capacidades en estas aplicaciones varían desde señales portadoras de 30 a 40 KHz, hasta enlaces de microondas con portadoras en el rango de 600 a 800 MHz.

Debe notarse que a estas distancias, la fibra difícilmente compete económicamente con los sistemas convencionales excepto a muy altas frecuencias y si se aplica bajo condiciones especiales como las mencionadas.

Debido a esto, en los últimos años han aparecido en el mercado una serie de enlaces diseñados y listos para armar tanto de tipo analógico como digital, éstos ofrecen transmisiones a frecuencias de 0 a 30 MHz o velocidades digitales de 0 a 10 Mbits/seg.

Existen dos enfoques en que se vende este tipo de equipo, el primero especifica de antemano el tipo de conector (en muchos casos especial) y el tipo de fibra a usarse en combinación con los equipos terminales y se limita a indicar las restricciones de distancia entre terminales y velocidad de transmisión. El otro enfoque un poco más flexible, especifica el tipo de conector usado que está comercializado para diferentes tipos de fibra y especifica la potencia que acopla en un tipo de fibra dado y la potencia mínima requerida en el receptor para una determinada relación señal a ruido. El límite de frecuencia lo especifican sobre el equipo terminal y no sobre la fibra la cual se tiene que elegir.

Estos sistemas se vende listos para instalarse pero por esta razón el diseño está hecho para trabajar en un rango de frecuencias dadas y para determinadas distancias lo que hace que para una aplicación específica el equipo no sea el óptimo.

Un precio promedio para un enlace duplex es de \$1000 dls. por terminal y \$1400 dls. por repetidor, mas el precio del cable que es de \$1500 dls. por kilómetro.

Sistemas de comunicación para media distancia es decir entre 1 Km y 30 Km.

Es en esta región y para ciertas capacidades de transmisión donde la utilización de la fibra óptica es competitiva por si sola en comparación con los demás sistemas de comunicación alternos.

La combinación de los factores capacidad-distancia, hace que el costo de la fibra sea menor al costo del cable coaxial y del cable multipar, aunque esto depende en gran medida del tipo de cable de fibras ópticas a utilizar en función de la atenuación requerida y de las condiciones físicas del lugar donde se instalará el cable. Como el costo del cable es lo que importa, es necesario hacer notar que éste aumenta con la construcción del mismo, es decir que un cable para aplicaciones más rudas puede costar el doble que un cable para aplicaciones poco severas.

En los enlaces urbanos donde los ductos son los adecuados y los cables son sometidos a menores esfuerzos, la tendencia al uso de fibras ópticas es mucho más clara. Desde luego que hay que tomar en cuenta que los sistemas de fibras ópticas son los más adecuados para realizar enlaces digitales por lo que con la digitalización de la red telefónica las fibras tendrán un mayor campo de aplicación.

Esto se puede observar en la siguiente figura en donde se muestra que el costo de los sistemas con fibras ópticas se reduce al aumentar el número de canales lo que la hace ser el sistema ideal para enlazar centrales telefónicas.

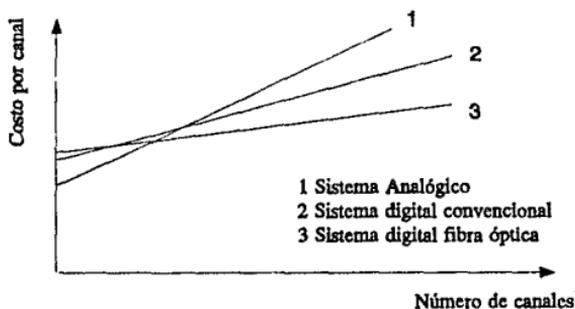


FIGURA 3.3 COSTO POR NÚMERO DE CANALES DE TRANSMISIÓN

Para sistemas de media distancia y con capacidades de más de 32 Mb/seg está comprobado que los sistemas de fibras ópticas son los más recomendables, sin embargo para sistemas de menor capacidad hay confusión sobre la cuestión de la distancia del enlace con respecto a su competitividad en costo. Por otra parte los trabajos sobre costos existentes se refieren a aplicaciones especiales y no a la aplicación general de media distancia.

Enfocados a la aplicación de telefonía digital se han hecho evaluaciones sobre los costos del sistema por canal para diversas combinaciones de componentes, en este estudio se incluyeron precios de emisores, detectores, conectores y fibra, y se estimaron los costos de la circuitería y del sistema de poder para alimentación de terminales y repetidores.

Los costos del emisor	\$ 55.00 diodo emisor
considerado son:	\$ 23.00 circuitería
	\$ 35.00 por conector de metal
(Agosto 1989)	\$ 6.00 acoplamiento diodo fibra
	\$ 32.00 caja y fuente de poder
	\$ 28.00 varios

	\$179.00 Dólares

El costo del receptor evaluado de la misma manera tiene un costo aproximado de 190.00 dls., y el costo de la fibra es el que se muestra en la tabla 3.3.

Tipo fibra	Atenuación dB/Km	Diámetro núcleo µm	Apertura numérica	Ancho de banda MHz Km	Costo dls/Km
a	10	300	0.22	20	2230
b	12	250	0.30	25	1375
c	12	250	0.34	30	1500
d	10	100	0.30	20	1750
e	6	63	0.30	400	1800
f	8	62.5	0.20	200	1400
g	6	62.5	0.20	200	1750
h	12	125	0.34	30	1100

TABLA 3.3

En la siguiente gráfica podemos ver el costo contra la capacidad para diversas distancias entre 1 y 10 kms, este costo es por canal.

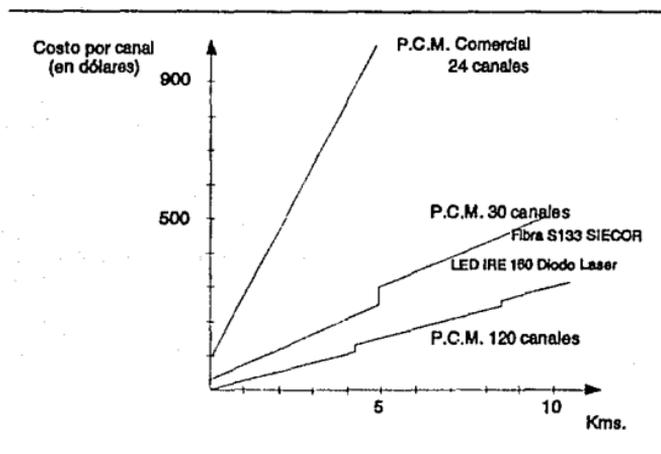


FIGURA 3.4 COSTO POR CANAL CONTRA DISTANCIA DE TRANSMISIÓN.

Sistemas de comunicación para larga distancia (más de 30 km.)

Existen dos casos para el estudio de los sistemas de transmisión por fibras ópticas para larga distancia y son la transmisión por fibra óptica multimodal y la transmisión por fibra óptica monomodal.

En el primer caso que es utilizando fibra óptica multimodal la transmisión para distancias mayores a 30 km. tiene el inconveniente de que el número de repetidores aumenta conforme a la frecuencia de transmisión, lo que hace que para la tecnología actualmente desarrollada los enlaces por microondas presenten un menor costo por inversión que los enlaces por medio de fibra óptica si consideramos un alto número de canales.

En el caso de las microondas su ventaja en costo tiende a disminuir considerablemente en forma directa al número de canales, por lo que a bajas capacidades donde los repetidores se distancian más la fibra junto con el cable coaxial son más

competitivos. Considerando que en el presente es de menor costo el cable coaxial al de la fibra, éste la supera por costo hasta cierta capacidad de transmisión a partir de la cual la fibra es la mejor opción hasta llegar a capacidades convenientes para las microondas.

Por otra parte, se están desarrollando sistemas de transmisión con fibra óptica monomodal con lasers monomodales en el rango de longitud de onda de 1.2 a 1.5 μm , donde la potencialidad de los sistemas ópticos es tal que se puede pensar en enlaces a 2.5 Gb/seg con repetidoras cada 100 kms. Considerando que el precio de la fibra monomodal y la tecnología de los conectores tendrá un desarrollo similar al de la fibra multimodo se espera una invasión de los sistemas ópticos en el rango de las microondas.

Considerando un sistema óptico con fibras multimodales y un sistema de microondas convencional, el comportamiento del costo por canal de transmisión contra la distancia de transmisión es el que se muestra en la siguiente gráfica.

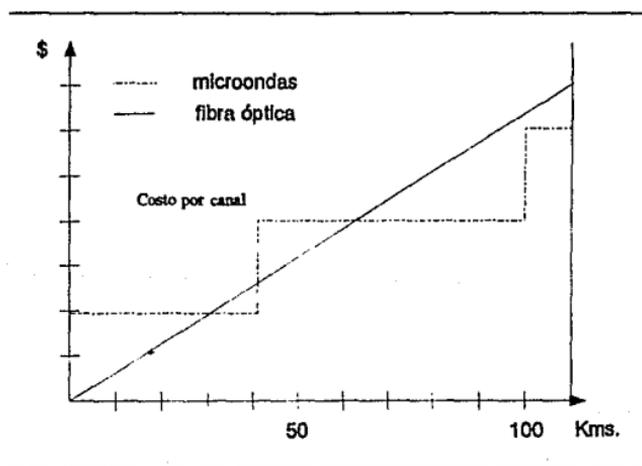


FIGURA 3.5 COSTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN CONTRA DISTANCIA DE TRANSMISIÓN.

DESARROLLOS ACTUALES DE SISTEMAS OPTICOS

SISTEMA	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA	APLICACIONES
P.C.M.	6.3, 32, 100 y 400 Mb/s 800 y 1600 Mb/s (experimental).	Comunicación nacional
	6.3, 100, 280 y 400 Mb/s.	Cable Submarino
	1.5, 6.3 y 32 Mb/s.	Potencia
	45, 90 y 135 Mb/s (USA) 8.4, 34 y 139 Mb/s (Europa).	Comunicación pública internacional
LAN	Multiplex tipo paquete (FACOM 188K, FACOM 1885K) Multiplex tipo FOPIC 7300.	Comunicación de computadoras en LAN
Transmisión de video	6 y 30 Mb/s modulación analógica.	CATV
	Modulación analógica pulsante.	TV
	Transmisión multiplex por división de longitud de onda.	ITV
Señales de teléfono	De 60 a 90 canales telefónicos.	Líneas telefónicas
Enlace digital	32 Mb/s	Transmisión de datos
Enlace analógico	Banda de 6 y 30 MHz.	Transmisión de datos
Modem de datos	48 Kb/s, con interfase CCITT.	Comunicación de computadoras
Multiplex de datos	Interfase FACOM serie M y PANAFACOM serie U	

TABLA 3.4

3.3 CARACTERISTICAS Y VENTAJAS DE LAS FIBRAS OPTICAS.

3.3.1 Aplicaciones.

La continua evolución y modernización de los medios de telecomunicación originada por la necesidad de medios cada vez más eficientes y seguros han promovido el desarrollo y crecimiento de diferentes tecnologías. Una de ellas es la tecnología de las fibras ópticas las cuales presentan una nueva perspectiva en el campo de las telecomunicaciones.

Las fibras ópticas encuentran sus principales aplicaciones en el área de la telefonía (trunca, local o de larga distancia), en la transmisión de video (blanco y negro y de color), en telemetría, telecontrol, transmisión de datos, interconexión de redes locales de computadoras y terminales y en aplicaciones muy específicas donde se requieran características de muy alta velocidad, inmunidad a la interferencia electromagnética, alta capacidad, cables de bajo peso y diámetro, resistencia a la corrosión etc..

En la planta telefónica por ejemplo, los primeros enlaces por fibra óptica fueron instalados para la comunicación entre centrales urbanas a velocidades de transmisión medias (34 Mb/s, 44 Mb/s, 140 Mb/s). Sin embargo pronto se visualizó la posibilidad de contar con enlaces interurbanos en este caso con velocidades mayores (560 Mb/s) y así un mercado tradicionalmente ocupado por las microondas se vio pronto invadido.

Su aplicación en enlaces de mayor alcance se vislumbra al desplazar las fibras a otros medios en comunicaciones punto a punto de muy larga distancia, un mercado tradicionalmente del cable telefónico, submarino o del satélite. Hacia el sentido contrario es decir la red local, se empiezan a desarrollar aplicaciones donde se llega al abonado mismo con una fibra y ya se plantea la necesidad de contar con fibras equipadas para 30 a 100 canales arribando a ciertos abonados especiales como bancos o industrias.

En síntesis todas las capacidades y todas las distancias están ya en la visión de los buscadores de mercado de las compañías que producen sistemas de transmisión por fibra.

La figura siguiente, muestra la penetración que la fibra óptica ha tenido en el mercado de transmisión durante los 80s.

Se espera un crecimiento sostenido de esta tendencia, sin descartar un posible punto de inflexión, debido a la integración de servicios a nivel del abonado.

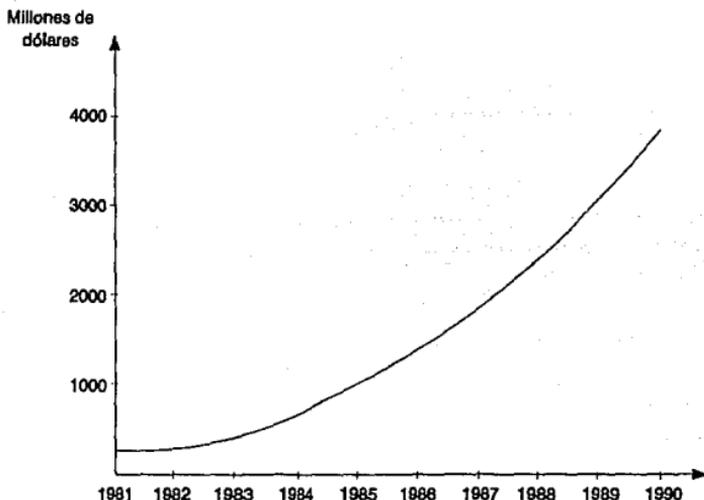


FIGURA 3.6 PENETRACIÓN DE LA FIBRA EN EL MERCADO DE TRANSMISIÓN.

En los primeros incisos estudiamos los diferentes medios de transmisión de información y nos dimos cuenta de las diferentes ventajas que presenta la transmisión de señales por fibra óptica con respecto a los otros medios de transmisión. Algunas de las características más importantes de las fibras ópticas son la inmunidad a interferencias electromagnéticas, seguridad de la información, capacidad, calidad de la señal, etc. Estas características son algunos de los requerimientos de nuestro sistema de videoteléfonos, además siendo la transmisión a media distancia el área más ventajosa para la utilización de fibras ópticas y considerando que nuestra red de videoteléfonos operará en distancias medias es claro que el medio que debemos utilizar es la fibra óptica.

Aunado a lo anterior si consideramos que la tendencia tecnológica nos lleva a la transmisión de señales en forma digital y ante la inminente creación y estandarización de la Red Digital De Servicios Integrados R.D.S.I. el uso de la fibra óptica es la mejor opción.

Durante el decenio que ha transcurrido desde que se dio información sobre las primeras fibras ópticas con pérdidas suficientemente bajas para aplicaciones en telecomunicaciones, se han efectuado rápidos progresos, tanto en la reducción de dichas pérdidas como en el mejoramiento del ancho de banda que podía transmitirse.

Además de las bajas pérdidas y del amplio ancho de banda que admiten, las fibras permiten el uso eficaz del espacio, presentan ventajas contra la diafonía y la interferencia electromagnética, y pueden fabricarse a partir de abundantes materias primas.

Las fibras ópticas basan su operación en la transmisión de luz a lo largo de una fibra de vidrio o de plástico muy delgada y flexible. Un enlace de fibra óptica convierte la señal eléctrica en una señal luminosa la cual es transmitida a través de la fibra y finalmente la luz se convierte nuevamente en una señal eléctrica. El transmisor contiene un emisor de luz como lo es el diodo emisor y un circuito controlador, el receptor contiene un detector de luz (por ejemplo un fotodiodo) y un circuito de salida que procesa y amplifica la señal del fotodiodo.

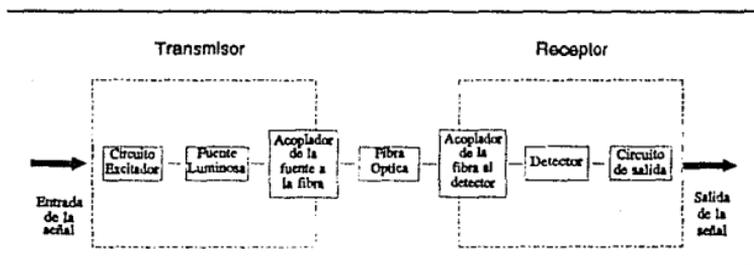


FIGURA 3.7 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN ENLACE DE FIBRAS ÓPTICAS.

Un problema común en los sistemas de comunicación y transmisión de datos es el enviar una cada vez mas grande cantidad de información con una mayor eficiencia a través de un medio que requiera poco espacio. Pero cuando se transmite a grandes velocidades una gran cantidad de información, la dificultad de preservar la integridad y calidad de la

señal aumenta y especialmente cuando se utilizan cables de cobre. Los problemas causados por la interferencia electromagnética (EMI), diafonía, pérdidas en la potencia de la señal, etc, aumentan al aumentar la frecuencia de operación.

En estas dos áreas (capacidad de información e integridad de la información) la fibra óptica ofrece ventajas en comparación al cable de cobre. Una razón es que las fibras ópticas están hechas de materiales dieléctricos los cuales pueden transportar señales de luz a altas frecuencias con inmunidad a los problemas causados por la interferencia electromagnética. Debido a que las fibras ópticas es una alternativa con mayores ventajas que el cable de cobre es indudable que será el medio de transmisión de las siguientes generaciones.

3.3.2 Ventajas De Las Fibras Opticas

A continuación se mencionan algunas de las ventajas que tienen las fibras sobre los cables telefónicos y cables coaxiales.

- Mayor ancho de banda
- Baja atenuación
- Inmunidad electromagnética
- Menores dimensiones
- Menor peso
- Seguridad de la información

Ancho de banda.

El ancho de banda es una característica relacionada con la capacidad para transportar información. Conociendo que la cantidad de información que puede ser enviada por un canal de comunicación se incrementa en forma directamente proporcional a la frecuencia, y considerando que la frecuencia de transmisión de la luz es varias veces mayor que la de las señales de radio-frecuencia, la fibra tiene el potencial de transmitir una gran cantidad de información. Los sistemas telefónicos con fibra óptica normalmente transportan de 672 a 2688 señales por una sola fibra. Para finales de esta década, las compañías telefónicas piensan transmitir más de 14000 señales a través de una fibra. Esta capacidad permite que un enlace de fibras ópticas pueda transmitir el texto completo de una enciclopedia de 30 volúmenes a lo largo de 100 kilómetros en un segundo.

Baja atenuación.

Al viajar la señal de un punto a otro independientemente del medio de transmisión el cual puede ser un cable, el espacio o una fibra, la señal pierde potencia y por lo tanto sufre una atenuación. Las fibras ópticas ofrecen menores pérdidas que los cables de cobre y aún más importante es que la atenuación en las fibras no se incrementa al aumentar la frecuencia de la señal como sucede en la transmisión por cable de cobre.

Una consecuencia importante de una baja atenuación de la fibra es el reducido número de repetidores requeridos para una transmisión de larga distancia. Los repetidores son utilizados para reconstruir la señal atenuada y distorsionada. Mientras que los sistemas telefónicos tienen una distancia entre repetidores de 1.1 km para cables coaxiales, los que utilizan fibras tienen 6.4 km de distancia entre repetidores y el objetivo es llegar a distancias entre repetidores de 11 km, aunque existe el proyecto de un sistema telefónico transatlántico por fibra óptica con una distancia entre repetidores de 32 km.

Inmunidad electromagnética.

La interferencia electromagnética (EMI) es un tipo de energía proveniente de algunos circuitos eléctricos la cual es captada por otros circuitos. Los cables (que pueden actuar como antena transmisora o receptora) tienen la posibilidad de ser afectados por la EMI.

Debido a que la fibra es de un material dieléctrico (no conductor) no es afectada por los campos electromagnéticos. Para protegerse de la EMI los cables de Cu tienen que construirse con pantallas electrostáticas, por ejemplo los cables coaxiales. La creciente necesidad de utilizar pantallas electrostáticas en los cables hacen a la fibra un medio de transmisión atractivo especialmente en aplicaciones donde sea crítica la EMI.

Gracias a que la fibra no es afectada por la fuerza electromagnética, está ofrece gran protección a la señal, la posibilidad de que se presente algún error por interferencia electromagnética es nula. Las compañías telefónicas han comprobado que los enlaces por fibra óptica operan muy por arriba de sus requerimientos de niveles de error en la transmisión.

Tamaño.

Los cables de fibra óptica tienen dimensiones mucho menores a los cables de cobre. Las ventajas a este respecto son claras, especialmente en áreas donde el espacio es un factor crítico, por ejemplo en los ductos telefónicos instalados debajo de las ciudades, los cuales siempre están saturados, o los que corren debajo de los cuartos de computadoras. Un cable de fibra óptica con la misma capacidad de transmisión que un cable de 900 pares de cobre es 27 veces más delgado.

Peso.

El vidrio es más ligero que el cobre, por lo tanto un cable de fibras ópticas es mucho más ligero que un cable de hilos de cobre para la misma capacidad. La reducción de peso es un factor importante y también gracias a su mayor ancho de banda y a las bajas pérdidas de las fibras es posible que una sola fibra reemplace a varios cables de cobre, y esto cobra importancia en aplicaciones aéreas o en aviones así como en otros medios de transporte.

Seguridad.

Es virtualmente imposible interceptar la transmisión de información por fibra óptica, además que gracias a que la fibra óptica no radia energía no se pueden rastrear ni detectar las señales.

Las propiedades dieléctricas aíslan a la señal, además que no existe energía eléctrica por lo que la fibra no presenta peligro de corto circuitos o chispazos, por esto tiene gran aplicación en ambientes inflamables y en otras aplicaciones donde los reglamentos de seguridad prohíben el uso de cables de cobre.

3.4 TRANSMISION POR FIBRAS OPTICAS

3.4.1 Reflexión interna total.

La fibra óptica funciona bajo el principio de reflexión interna total. La luz empieza a reflejarse a través de la fibra y continúa por ésta hasta el final. Las fibras ópticas están

construidas de dos capas de vidrio (o plástico), una capa rodea a la otra como se muestra en la figura 3.8 . La capa interna o núcleo tiene un índice de refracción mayor que la capa exterior o revestimiento (cladding). La luz inyectada en el núcleo que incide en la interfase entre núcleo y revestimiento con un ángulo mayor al crítico será reflejada nuevamente al núcleo. Si los ángulos de incidencia y reflexión son iguales, el rayo reflejado incidirá repetidamente en la interfase con el mismo ángulo y será nuevamente reflejado una y otra vez a lo largo de la fibra. Sin embargo el rayo de luz que incide en la interfase con un ángulo menor al crítico pasará a través del revestimiento y será absorbido o disipado por la cubierta.

3.4.2. Tipos De Fibras.

Existen varias formas de clasificar a las fibras. Una es por su tipo de material de la cual hay tres que son los siguientes:

- Toda la fibra es de vidrio Núcleo y revestimiento de vidrio
- Fibra PCS (plastic clad-silica) Núcleo de vidrio y revestimiento de plástico
- Toda de plástico Núcleo de plástico y revestimiento de plástico

La fibra óptica típica tiene un núcleo de 50 μm de diámetro y el del revestimiento es de 125 μm . Estas fibras permiten enlaces de alta velocidad y bajas pérdidas. Por otro lado las fibras de plástico tienen diámetros de núcleo y revestimiento de algunos cientos de μm , y tienen altas pérdidas y velocidades de transmisión limitadas. Las fibras de vidrio-plástico tienen dimensiones y características intermedias a las dos anteriores.

La forma más usual de clasificación de las fibras ópticas es por su modo y por el índice de refracción del núcleo. El modo es un concepto fisicomatemático que describe la forma de propagación de las ondas electromagnéticas, en un lenguaje básico el modo es simplemente la trayectoria en que el rayo de luz puede mantenerse viajando a través de la fibra. En la actualidad la mayoría de las fibras tienen varios modos de propagación de la luz, es importante saber que cada modo puede propagar cierta cantidad de energía luminosa.

El índice de refracción del contorno describe la relación que existe entre el índice del núcleo y el índice del revestimiento. Sí el índice del núcleo es el mismo en todo su

espesor, en el contorno existirá un brinco bien definido entre el índice del núcleo y el del revestimiento. Esto es lo que se llama una fibra con índice de refracción escalonado. En otras fibras el índice del núcleo no es uniforme pues es mayor en el centro del núcleo y gradualmente se reduce al acercarse al revestimiento, está es una fibra con índice de refracción gradual.

Por esta clasificación existen tres tipos de fibra :

- 1.- Fibra multimodo de índice escalonado.
- 2.- Fibra monomodo de índice escalonado.
- 3.- Fibra multimodo de índice gradual.

La figura 3.8 muestra un corte transversal de cada una de ellas.

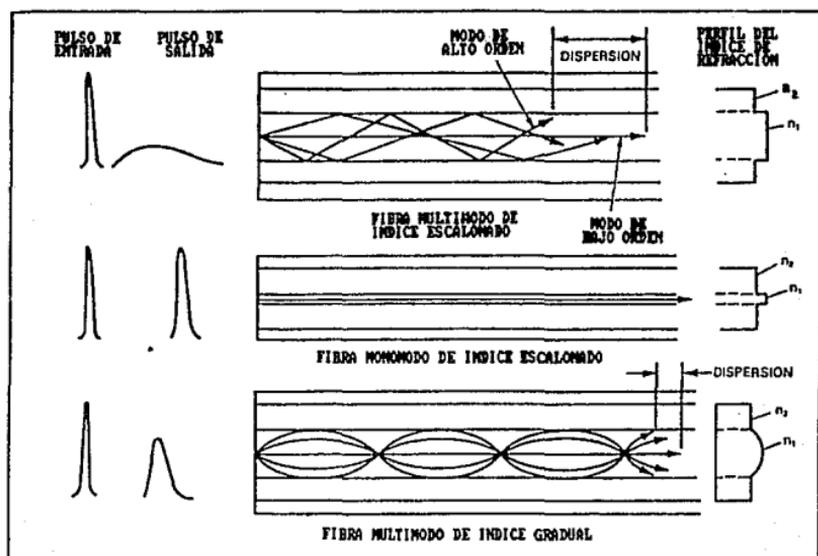


FIGURA 3.8 TIPOS DE FIBRAS.

1.- Fibra multimodo de índice escalonado.

Es el tipo más sencillo de fibra, tiene un diámetro desde $50\mu\text{m}$ hasta $400\mu\text{m}$, el cual permite varios modos de propagación (un núcleo con diámetro grande permite muchos modos de propagación).

La luz inyectada en una fibra multimodo de índice escalonado se refleja con diferentes ángulos por diferentes trayectorias, algunos rayos siguen trayectorias más cortas que otros. El rayo que viaja a través del núcleo sin reflejarse en ningún punto llegará al otro extremo antes. Otros rayos llegarán después, pues la mayoría de los rayos se reflejan por lo que su trayectoria y tiempo de llegada son mayores. Considerando esto es de suponerse que la luz que entra a la fibra al mismo tiempo llegará al otro extremo con una diferencia de tiempos es decir la luz se a diseminado.

Esta diseminación de la luz es llamada dispersión modal. Los patrones típicos de la dispersión modal para una fibra multimodo de índice escalonado son de 15 a 30 nseg. por kilometro. Para un rayo de luz que entró al mismo tiempo, el rayo en el modo más rápido viajara un km de 15 a 30 nseg. más rápido que el más lento. Si duplicamos la distancia a 2 km la dispersión se duplica de 30 a 60 nseg. Esta cantidad de tiempo podría parecer insignificante pero se puede concluir que la dispersión es la principal limitante en la velocidad o ancho de banda de operación de una fibra. Generalmente una fibra con un núcleo mayor incrementa la dispersión y aumenta el número de trayectorias de los rayos de luz.

La dispersión entre otros factores hace que la fibra multimodo de índice escalonado sea la menos eficiente de las tres y solo es utilizada cuando la velocidad no es un factor esencial.

2.- Fibra monomodo de índice escalonado.

Una manera de reducir la dispersión modal es reduciendo el diámetro del núcleo hasta que la fibra solo pueda propagar un solo modo en forma eficiente. La fibra monomodo tiene un diámetro de núcleo de solo 5 a $10\mu\text{m}$ y un diámetro de revestimiento de $125\mu\text{m}$. El pequeño diámetro del núcleo hace a esta fibra la más eficiente en dispersión y la mejor alternativa para largas distancias, aplicaciones de alta velocidad y aplicaciones en el área de telecomunicaciones. La contra parte es que ésta es una fibra muy difícil de

utilizar pues requiere de un emisor láser que inyecte la luz en un núcleo con un diámetro muy reducido, sin embargo las fibras monomodo cada día tienen más aplicación.

3.- Fibra multimodo de índice gradual.

Otro camino para reducir la dispersión modal es utilizar una fibra óptica de índice gradual. En este tipo de fibra el diámetro del núcleo se forma de varias capas concéntricas de vidrio, el índice de refracción es mayor en el centro y un poco menor en cada una de las capas hacia el exterior. Si recordamos que la luz viaja más rápido en un índice de refracción menor, es claro que mientras más se aleje del centro de la fibra, la luz viajara más rápido. La luz que viaje en los extremos del núcleo recorre un camino más largo pero también más rápido, esto hace que todos los rayos de luz independientemente de su trayectoria alcancen el otro extremo de la fibra al mismo tiempo aproximadamente. En este tipo de fibras debido a este comportamiento la dispersión modal se reduce a menos de 5 nseg/ km.

La fibra óptica de índice gradual tiene típicamente un diámetro de núcleo de 50, 60 o 85 μm , y un diámetro de revestimiento de 125 μm . Este tipo de fibra ofrece un ancho de banda mucho más grande que el de una fibra de índice escalonado. El gran diámetro de la fibra multimodo de índice gradual hace posible el evitar muchos de los problemas que presentan las fibras unimodo por su pequeño diámetro y debido a ésto, esta fibra es la más utilizada.

La tabla 3.5 muestra algunas de las características típicas de uso de las fibras ópticas utilizadas en cables.

Características de algunos cables de fibras ópticas

TIPO DE FIBRA	DIAMETRO DE NUCLEO μm	DIAMETRO DE REVESTIM. μm	APERTURA NUMERICA	ANCHO DE BANDA MHz/Km	ATENUACION EN dB/Km
MONOMODO	8	125	---	3200	.5 a 1300nm
	5	125	---	2400	.4 a 1300nm
INDICE GRADUAL	50	125	.20	400	4 a 850nm
	63	125	.29	250	7 a 850nm
	85	125	.26	200	6 a 850nm
	100	140	.30	20	5 a 850nm
INDICE ESCALONADO	200	380	.27	25	6 a 850nm
	300	440	.27	20	6 a 850nm
	200	350	.30	20	10 a 790nm
PCS	400	550	.30	15	10 a 790nm
	600	900	.40	20	6 a 790nm
PLASTICO	---	750	.50	20	400 a 650nm
	---	1000	.50	20	400 a 650nm

TABLA 3.5

3.4.3 Dispersión

La dispersión es la diseminación de los pulsos de luz al viajar a través de la fibra. Existen 3 tipos de dispersión que son la modal, espectral y cromática. Las dos últimas resultan de la transmisión de luz a diferentes longitudes de onda y a diferentes velocidades

esto depende directamente de la fuente emisora de luz, por ejemplo un LED emite un mayor rango de longitudes de onda que el emitido por un laser.

La dispersión limita el ancho de banda de la fibra. Si consideramos un tren de pulsos viajando por una fibra, cada pulso se dispersará en su viaje llagándose a traslapar y el receptor no podrá distinguir donde empieza y termina cada pulso. En transmisores de alta frecuencia los pulsos se transmiten más cerca los unos de los otros y como consecuencia tenemos un traslape más rápido. Como resultado tenemos que las características de dispersión de la fibra limitarán la velocidad a la que pueden ser transmitidas las señales a través de la fibra. Lo anterior se ilustra en la figura 3.9.

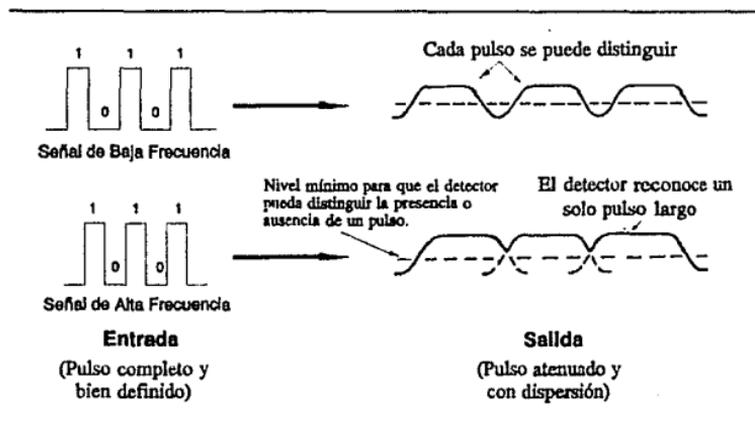


FIGURA 3.9 DISPERSIÓN

La dispersión también depende de el tipo de longitudes de onda transmitidas a través de la fibra. Por ejemplo la dispersión es menor a una longitud de onda de 1300 nm que a una de 850 nm. Este factor resulta importante en el momento de seleccionar los transmisores y equipo utilizado en un enlace por fibras ópticas. La mayoría y más recientes enlaces por fibra óptica operan entre 820 y 850 nm. Los últimos sistemas desarrollados y especialmente aquellos utilizados para aplicaciones de alta velocidad y larga distancia operan a 1300 nm. Aún más importante en el futuro será la transmisión a 1550 nm en donde la dispersión será casi inexistente. Desafortunadamente hoy en día no contamos con equipo económicamente aplicable para operar a 1550 nm. Una de las razones por la cual

las compañías telefónicas pudieron alargar la distancia entre repetidores de 6.4 km a 11 km es que la longitud de onda de transmisión cambio de 850 a 1300 nmts.

El ancho de banda de una fibra se acostumbra dar mediante la relación ancho de banda-distancia. Esta relación tiene una frecuencia y una distancia de por ejemplo 200 MHz-km. Lo que quiere decir esto es que la relación entre la frecuencia y la distancia no puede exceder el límite fijado. Por ejemplo se puede transmitir una señal de 200 MHz a 1 km y podemos duplicar la frecuencia acortando a la mitad la distancia 400 MHz a 500 mt o podemos transmitir a 40 MHz a 5 km, en todos los casos el producto debe ser 200.

3.4.4 Atenuación.

La atenuación es la pérdida de potencia de la señal. Entre el emisor y el receptor la luz pierde potencia es decir la señal de salida es menor que la señal de entrada. Si la señal de luz es demasiado atenuada durante la transmisión, el receptor no será capaz de detectarla adecuadamente.

La atenuación (como se muestra en la fig.3.10) es una relación de la amplitud de la señal. El área debajo del pulso representa la potencia de la señal. Al viajar la luz a través de la fibra ésta pierde paulatinamente su potencia. La potencia óptica en un enlace de fibras ópticas es expresada en microwats (μW) o miliwats (mW). Existen muchos factores que contribuyen a las pérdidas totales de potencia en un enlace, de los cuales los más importantes son los siguientes:

Desajustes en la conexión fibra-transmisor-receptor

- Desajustes en la apertura numérica
- Desajustes en el diámetro del núcleo
- Pérdidas en la unión del conector
- Pérdidas intrínsecas de la fibra óptica

Atenuación de la fibra

- Tolerancias en la variación de la fibra
- Anchos de banda transmitidos
- Pérdidas por propiedades físicas de la fibra

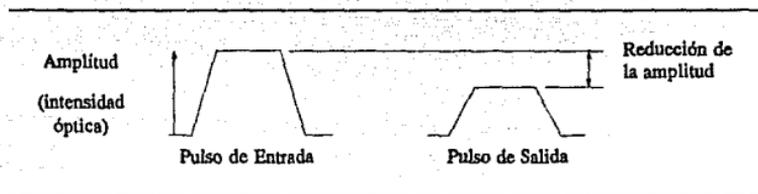


FIGURA 3.10 ATENUACIÓN.

El punto más importante son las pérdidas totales. Las pérdidas totales es la porción del total de la potencia emitida por el sistema que no llega al detector es decir es la suma de las pérdidas individuales. Las pérdidas se miden en decibeles (dB).

El decibel es el logaritmo de la razón entre la potencia de entrada al circuito y la potencia de salida del circuito.

$$\text{dB} = 10 \log_{10} (\text{potencia de salida} / \text{potencia de entrada})$$

El siguiente ejemplo aclara las pérdidas de potencia en decibeles. Una pérdida de 3 dB significa que la mitad de la potencia se perdió. Si tenemos 1000 μW de entrada, a la salida tendremos 500 μW . Una pérdida de 10 dB significa perder el 90 % de la potencia original de entrada. Por cada 10 dB más de incremento en las pérdidas la potencia restante decrece 10 veces, así tenemos que :

$$20 \text{ dB} = 1/100 \text{ de la potencia de entrada}$$

$$30 \text{ dB} = 1/1000 \text{ de la potencia de entrada}$$

Si consideramos que nuestro receptor requiere 5 μW de potencia luminosa para detectar adecuadamente la señal, nosotros podemos asegurar que recibirá esta potencia por dos medios: Minimizando las pérdidas con un enlace de bajas pérdidas o usando un sistema de mayor potencia. Por ejemplo si el sistema pierde 10 dB nuestro emisor tendrá que emitir una potencia de 50 μW para asegurar los 5 μW requeridos por el detector, pero si las pérdidas del sistema son de 20 dB, el emisor tendrá que emitir 500 μW .

La atenuación en las fibras ópticas se mide en dB por kilómetro. Importantes avances en la tecnología de las fibras ópticas han hecho posible la fabricación de fibras ópticas de bajas pérdidas. En 1968 las fibras ópticas tenían pérdidas de 1000 dB/km. Para 1970 eran de 20 dB/km y en 1972 se lograron de 4 dB/km, en la actualidad existen fibras ópticas con pérdidas de 0.3 dB/km.

Las fibras ópticas también pueden clasificarse por sus pérdidas en:

- Fibras ópticas de bajas pérdidas: menos de 10 dB/km (fibras de vidrio)
- Fibras ópticas de pérdidas medias: de 10 a 100 dB/km (fibras de vidrio, vidrio-plástico)
- Fibras de altas pérdidas: más de 100 dB/km (fibras de plástico)

La atenuación es el resultado de dos mecanismos de pérdidas que son la dispersión y la absorción. Las impurezas químicas pueden absorber la luz por lo que la energía óptica se convierte en calor. Los defectos estructurales y los esfuerzos mecánicos en la fibra provocan pérdidas por dispersión o desvían la luz de tal forma que ésta se escapa del núcleo y se pierde, lo anterior se puede ver en la figura 3.11.

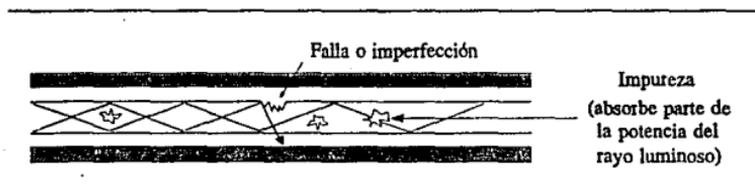


FIGURA 3.11 PERDIDAS POR INPERFECCIONES DE LA FIBRA.

La atenuación espectral es otra de las consideraciones importantes y se entiende de la siguiente manera; la fibra propaga algunas longitudes de onda mejor que otras. Como se puede ver en la fig 3.12 una onda de 820-nm viaja perfectamente a través de la fibra mientras que una onda de 950 nm es atenuada considerablemente. A una longitud de onda de 300 nm la cual coincide con una región de baja dispersión de la fibra, la atenuación es

baja. Debido a esto la atenuación tiene que ser especificada a una longitud de onda específica, así podemos decir que la atenuación de una fibra es de 50 dB/km a 950 nm, o de 5 dB/km a 820 nm y de 1 dB/km a 1300 nm.

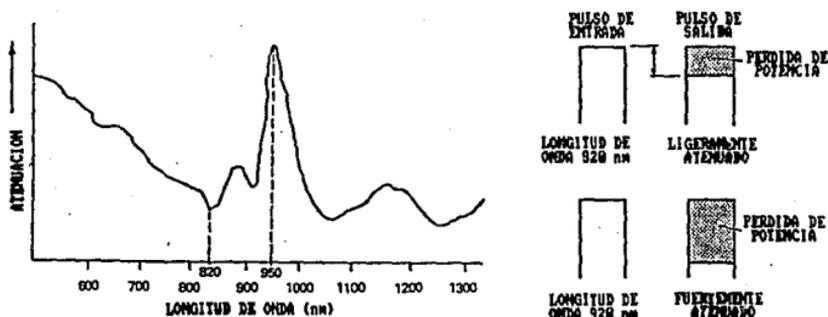


FIGURA 3.12 ATENUACIÓN ESPECTRAL.

Para lograr una baja atenuación, todos los componentes del sistema deben de ser compatibles en sus características de longitud de onda es decir, que si la fibra propaga eficientemente una señal de 820 nm el emisor debe emitir a esta longitud de onda y el receptor tiene que ser muy sensible a esta longitud de onda. La mayoría de los sistemas de fibras ópticas operan de 820 a 850 nm o a 1300 nm. Las fibras ópticas de plástico operan mejor a 650 nm que es la longitud de onda de la luz roja.

Una ventaja importante de las fibras ópticas es que la atenuación se mantiene constante en todas las frecuencias de modulación (fig. 3.13). En los cables de cobre la atenuación se incrementa con la frecuencia moduladora es decir a 10 MHz la señal es más atenuada que a 1 MHz utilizando el mismo cable. En las fibras ópticas las dos señales se atenúan en la misma proporción. Sus características de atenuación son las que hacen que las fibras ópticas sean atractivas para transmisiones de largas distancias y con alta velocidad.

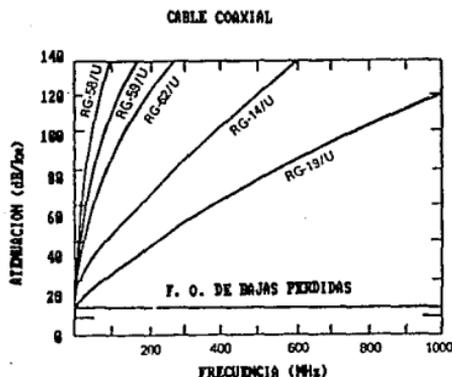


FIGURA 3.13 ATENUACIÓN - FRECUENCIA.

3.4.5 Apertura Numérica.

La apertura numérica (NA) es una cifra que expresa la habilidad de la fibra óptica para aceptar rayos de luz. Es muy ventajoso para una fibra el aceptar y propagar tanta luz como sea posible. El rayo de luz solo va a ser reflejado si llega al revestimiento de la fibra con un ángulo mayor que el crítico, éste forma un cono (cono de aceptación) el cual define cuales rayos de luz serán reflejados y cuales no. La apertura numérica define el ángulo máximo del cono de aceptación.

Una fibra con una gran apertura numérica tendrá un gran ángulo de aceptación y podrá atrapar a más rayos de luz. La desventaja de una gran apertura numérica es que ofrece un número mayor de posibles trayectorias para los rayos de luz, por lo tanto la dispersión aumenta. Generalmente una apertura numérica pequeña quiere decir que tenemos una fibra con un mayor ancho de banda. Las aperturas numéricas generalmente son desde 0.2 o menores para fibras monomodo hasta 0.5 para fibras de plástico. La mayoría de las fibras tienen una apertura numérica de alrededor de 0.2 a 0.3.

Matemáticamente la apertura numérica es el seno del ángulo de la mitad del cono de aceptación, (en la figura 3.14 es $AN = \sin \theta$). Esta es llamada la apertura numérica material debido a que se deriva de las propiedades del material de la fibra. Para fibras de

índice escalonado la apertura numérica puede ser calculada de los índices de refracción del núcleo y cubierta.

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

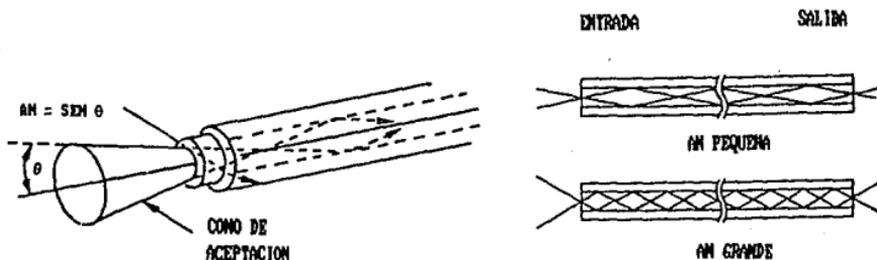


FIGURA 3.14 APERTURA NUMERICA.

La salida de una fibra también tiene una apertura numérica. Los rayos de luz que salen de la fibra forman un cono de salida. Los valores de apertura numérica de la fibra también definen las características del emisor (cono de salida) como del receptor (cono de aceptación). Si el emisor tiene una mayor apertura numérica que la fibra la luz de salida del emisor se saldrá del cono de aceptación de la fibra y se perderá. El emisor tiene que tener una apertura igual o menor a la de la fibra, de no cumplirse ésta existirán pérdidas en el enlace.

La apertura numérica en una fibra de enlace óptico a una cierta distancia es usualmente diferente de la apertura calculada con los índices de refracción. Cuando la luz es inyectada por primera vez, el revestimiento propaga parte de la luz pero debido a su ineficiencia estos modos se pierden en la corta distancia. La apertura numérica medida en la corta distancia de la fibra es mayor que la apertura numérica material.

La luz puede también ser inyectada en ángulos menores que el cono de aceptación, en este caso la fibra solo propagará los modos de menos ángulo, por lo que la apertura numérica medida será menor que la apertura numérica material para la corta distancia.

No todos los modos propagan la misma cantidad de energía, cada uno tiene su nivel característico de propagación. La luz que se inyectó primero se propagará en modos saturados o modos que se propagan por el revestimiento, a través de la distancia el exceso de energía y la energía de estos modos se pierde por excitación o entra a modos más comunes de propagación.

La longitud de fibra requerida para alcanzar un estado de modo de distribución equilibrado (MDE) va desde algunas decenas de metros para fibras de diámetro de núcleo grandes hasta varios kilómetros para fibras de índice escalonado con núcleos pequeños.

En una fibra de índice gradual una consecuencia del modo de distribución equilibrado es que el diámetro del núcleo que propaga la luz y la apertura numérica son reducidos en un 70 % de sus valores originales. En forma similar si la fibra es lo suficientemente larga para alcanzar el MDE la luz recibida con apertura numérica mayor o con un diámetro mayor de núcleo se perderá a través de la longitud de la fibra.

3.4.6 Ancho De Banda

La determinación de un parámetro de ancho de banda en las fibras ópticas no es trivial. Se complica básicamente por que depende de los siguientes factores:

- De la dispersión modal, intramodal y del material.
- Del perfil de índice de refracción con respecto a su valor ideal, perfil que en general es difícil de controlar en la fabricación.
- De las microdesviaciones aleatorias sufridas por la fibra en su cableado e instalación.
- De la forma de la distribución espectral de la fuente de luz utilizada.
- De las condiciones de inyección de la luz en la fibra.

En general, cada fibra en particular después de fabricada tiene una figura de dispersión modal, intramodal y del material única y esta figura puede determinarse si se controlan las condiciones de inyección, la forma espectral y la amplitud de la fuente usada.

De esta figura puede obtenerse una medida comercial de ancho de banda utilizable en la especificación de sistemas.

3.5 CABLES DE FIBRA OPTICA

Para la mayoría de las aplicaciones, la fibra óptica debe ser cubierta por una estructura protectora. Estas estructuras pueden ser desde una simple cubierta hasta estructuras de cubiertas múltiples con tubos o refuerzos de acero para cables multifibras. Los componentes del cable deben de proteger a la fibra durante todo su tiempo de vida contra variaciones en las condiciones ambientales y especialmente durante la instalación donde los grandes esfuerzos sobre el cable son comunes.

La figura 3.15 nos muestra algunas de las diferentes construcciones de cables de fibras ópticas.

Las dos principales protecciones que tiene la fibra óptica en el cable son la cubierta y los tubos huecos. La cubierta generalmente es de materiales como el PVC o el poliuretano, los cuales son aplicados sobre los tubos que contienen a la fibra.

La cubierta aplicada sobre la fibra directamente produce microdobles sobre ésta, los cuales incrementan la atenuación. Para fibras de pérdidas altas y medias la atenuación provocada por el forro es pequeña en comparación con la atenuación total. Las cubiertas ajustadas por evitar pequeños dobleces y por tener una alta resistencia a esfuerzos de compresión, son las más utilizadas para cables con aplicaciones como conexiones en cuartos de computadoras o centrales telefónicas.

Los microdobles causados por cubiertas ajustadas a la fibra se eliminan poniendo la fibra dentro de un tubo hueco de plástico resistente cuyo diámetro interno es varias veces mayor al diámetro de la fibra óptica lo que permite que el cable sea jalado, cableado o sometido a esfuerzos mecánicos sin que la fibra se vea afectada. Las fibras utilizadas en telecomunicaciones son generalmente acondicionadas dentro de cables con tubos huecos y sueltos para poder soportar los esfuerzos mecánicos resultantes de la instalación.

Muchos cables utilizan también refuerzos textiles o kevlar, éstos ayudan a lograr un cable con una estructura resistente a esfuerzos de jalado.

CARACTERISTICAS DE UN CABLE TRONCAL DE FIBRAS OPTICAS

CARACTERISTICA	CONSTRUCCION	
	MEDIA CAPACIDAD	ALTA CAPACIDAD
Número de tubos	6	6
Refuerzo central	Metálico o dieléctrico	Metálico o dieléctrico
Número total de fibras	4, 6, 8, 10 y 12	14, 16 y 18
Diámetro total (mm)	15	16.5
Peso (Kg/Km)	205	255
Radio de curvatura min (mm)	300	300
Tensión máxima permitida (Kg)	100	100
Resistencia a la compresión en 15 cm (Kg)	3000	3000
Temperatura de operación (°C)	-10 a 50	-10 a 50
Longitud de embarque	2000	2000

TABLA 3.6

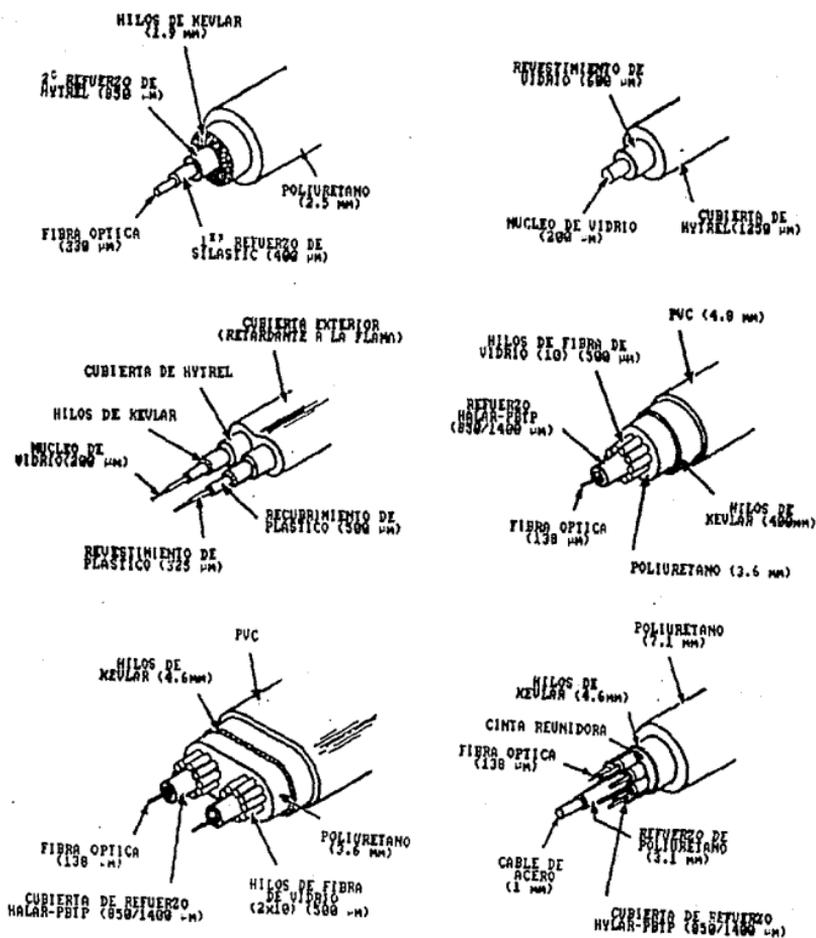


FIGURA 3.15

DIFFERENTES CONSTRUCCIONES DE CABLES DE FIBRA OPTICA.

CAPITULO IV

FORMA DE TRANSMISION.

4.1 INTRODUCCION

El desarrollo tecnológico mundial en el campo de las telecomunicaciones es cada día más rápido debido principalmente a dos factores que son; en primer lugar la creciente necesidad en las grandes ciudades de medios de comunicación más eficientes y económicos, y por otro lado el gran desarrollo que se está logrando en campos como la electrónica y la óptica.

Gracias a este desarrollo se presentan perspectivas muy brillantes en el área de las telecomunicaciones entre ellas sobresalen las posibilidades ofrecidas por; la implantación de nuevos servicios, la introducción de nuevas técnicas de conmutación y de transmisión, y el desarrollo de nuevos medios de transmisión.

Dentro de este desarrollo existen tendencias marcadas como la evolución de los sistemas de telecomunicación hacia formas digitales, en principio por las grandes ventajas y beneficios que presenta la transmisión digital, por el amplio desarrollo de la tecnología y equipo electrónico digital y también con el objeto de establecer a un corto plazo redes de telecomunicación digital primero, para posteriormente a un mediano plazo establecer una red digital de servicios integrados (R.D.S.I.).

Dentro del desarrollo del proyecto de videoteléfonos ya se definió que el medio de transmisión más conveniente es el cable de fibras ópticas. Por otro lado sabemos que dentro de los sistemas de comunicación por fibras ópticas existen dos grandes variantes o posibilidades en lo que a forma de transmisión se refiere y éstos son la transmisión digital y la transmisión analógica. Este aspecto es sin lugar a dudas parte fundamental del sistema de comunicación entre el hospital y clínicas, es por esta razón que se deben analizar las ventajas y desventajas que tienen cada una, así como los diferentes aspectos relacionados con ellas como lo pueden ser el modo de transmisión, la multicanalización, la codificación, los equipos de transmisión y recepción, etc, para finalmente definir cual es la mejor opción la cual debemos seleccionar.

4.2 PRINCIPIOS DE COMUNICACION.

La comunicación es básicamente un proceso de transferencia de información desde un punto fuente hasta otro punto receptor.

Considerando un esquema muy simple se tienen tres elementos en un sistema de comunicación, y son los que se muestran en la figura 4.1.

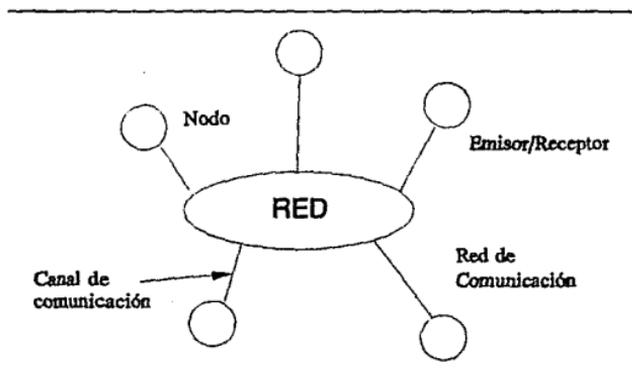


FIGURA 4.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN.

Estos son los principales elementos de un sistema de comunicación:

- **Emisor:** Pasa la información al canal de transmisión en una forma adecuada de señal para lograr una transmisión eficiente.
- **Canal de transmisión:** Es el enlace entre el emisor y el receptor, la atenuación y el ancho de banda del canal son algunas de sus características más importantes pues son en muchos sistemas de comunicación una limitante importante.
- **Receptor:** Es el elemento del sistema que recibe la señal del canal de transmisión y la transforma para recuperar la información original.

Ahora, los principales parámetros de un sistema de comunicación son; la atenuación, el ancho de banda, el ruido y la interferencia. A continuación se realizará una descripción de cada uno de ellos.

Atenuación.

Es la medida de la energía perdida en el sistema o canal de transmisión, se acostumbra expresar en decibelios (dB) (su definición se desarrolló en el capítulo anterior).

Ancho de banda.

La diferencia entre la frecuencia más baja y la más alta utilizables con cierto propósito se conoce como ancho de banda.

Los elementos de un sistema de comunicación presentan atenuaciones distintas al cambiar la frecuencia de la señal y se considera que el ancho de banda del sistema tiene como límites las frecuencias a las que la atenuación sea de 3dB con respecto al nivel promedio dentro de la banda de transmisión o respecto al nivel de una frecuencia de referencia dentro de dicha banda.

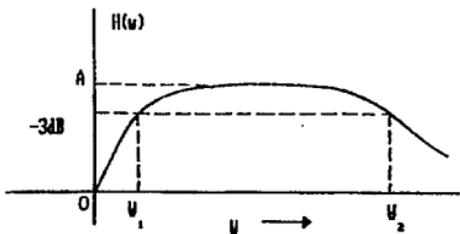


FIGURA 4.2 ANCHO DE BANDA.

El concepto de ancho de banda de una señal se entiende como la gama de frecuencias que contienen información significativa para la señal, es decir las frecuencias que se puede transmitir para mantener la señal con la información completa.

Es obvio que en un sistema con un buen desempeño, el ancho de banda del canal de transmisión debe ser igual o mayor al de la señal. El ancho de banda de un canal telefónico de voz es de 4 KHz, el de un canal de televisión es de 6 MHz.

Ruido e interferencia.

Se entiende por ruido a la presencia de señales aleatorias originadas en forma natural dentro y fuera del sistema, debido al movimiento desordenado de electrones. Dicho movimiento aumenta con la temperatura del medio, por lo que se conoce como ruido térmico. Cada elemento del sistema, equipo y medio de transmisión contribuye con ruido térmico lo que establece un límite inferior a la efectividad del sistema y determina un valor mínimo de señal transmitida que no quede cubierto por el ruido. La relación señal a ruido expresada en dB indica la calidad de la transmisión de un sistema de comunicación. Algunos valores típicos de relación señal a ruido requeridos en sistemas de comunicación son para señales de voz 30 dB y para video 45 dB.

Interferencia es la contaminación por señales externas generalmente artificiales. A diferencia del ruido térmico que es inherente a la comunicación, la interferencia sí puede eliminarse mediante filtros y protecciones, o eliminando la fuente del mismo.

Entre los casos más comunes de interferencia están las emisiones de radio en que un receptor puede captar 2 o más señales a la vez, otro caso es el acoplamiento indeseado entre pares de un cable telefónico derivando en el fenómeno de diafonía. Posiblemente la más común de las interferencias sea la interferencia electromagnética la cual se presenta en las transmisiones por cable que se realizan en lugares donde existe un cable de transmisión de energía, un motor o transformador cercano al cable de comunicación.

4.3 FORMA DE TRANSMISION DE LA INFORMACION.

Básicamente existen dos formas en las cuales cualquier tipo de información puede ser transmitida por un sistema de telecomunicación y éstas son la transmisión analógica y la transmisión digital, las cuales a continuación explicaremos.

La figura 4.3 muestra una señal analógica y una señal digital. El medio de transmisión puede ser diseñado para transmitir una u otra forma y éste puede ser : par

telefónico, cable coaxial de alta capacidad, enlace por microondas, satélites, guías de onda y cable de fibra óptica. Cabe hacer mención que cualquier tipo de información puede ser transmitida en cualquiera de ambas formas, sea analógica o digital.

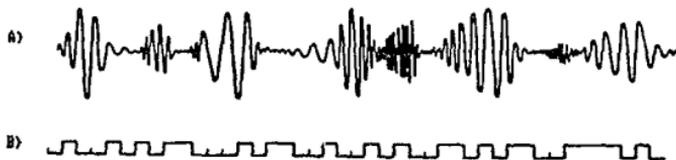


FIGURA 4.3 CUALQUIER TIPO DE INFORMACIÓN PUEDE SER TRANSMITIDA EN FORMA ANALÓGICA O DIGITAL.

A) SEÑAL ANALÓGICA B) SEÑAL DIGITAL.

4.3.1 Transmisión Analógica.

Cuando hablamos de una transmisión analógica nos referimos a la transmisión de una señal con un rango continuo de frecuencias, el ejemplo más sencillo es el sonido que podemos escuchar o la luz que vemos. Si hablamos del sonido, éste es un conjunto de frecuencias que empieza desde los 30 Hz hasta los 15000 Hz o para gente con muy buen oído hasta los 20000 Hz. Si nosotros quisiéramos transmitir música de alta fidelidad por medio de cables telefónicos (lo cual técnicamente hablando es posible), nosotros mandaríamos un rango continuo de frecuencias desde los 30 a los 20000 Hz., con lo que la corriente en el cable variaría en forma continua de igual manera que el sonido escuchado.

Es claro que para transmitir música de alta fidelidad los cables telefónicos no son el mejor medio y que las compañías telefónicas tampoco transmiten por razones de costos en todo el rango de frecuencias audibles por lo que solo utilizan frecuencias desde los 30 a los 3500 Hz., suficiente para que la voz de una persona sea reconocible e inteligible. Dentro de la transmisión analógica existen algunas diferentes formas para transmitir la información, y así por ejemplo cuando las señales telefónicas viajan a través de largas distancias en un cable lo hacen en paquetes, también pueden viajar más de una señal en el mismo medio si éstas van multiplexadas y así un canal puede transportar más de una señal.

En la mayoría de los casos las señales analógicas que se desean transmitir no pueden ser enviadas directamente por el canal de transmisión, por lo general se utiliza una onda portadora que se adapte mejor al medio de transmisión. Este proceso se conoce como modulación y consiste en la alteración sistemática de la onda portadora de acuerdo con la señal a transmitir (onda moduladora).

Existen varias técnicas de modulación para transmisión de señales analógicas, entre las más importantes están la modulación de amplitud AM, la modulación de la frecuencia FM y la modulación de fase PM, aunque también existen técnicas de modulación por pulsos como son la ASK, PSK y FSK.

- AM. La modulación de amplitud consiste en la variación de la amplitud de una señal portadora dependiendo de la amplitud de la señal que se desea transmitir (señal moduladora).

- FM. En el caso de modulación de la frecuencia, la amplitud de la señal portadora se mantiene constante y su frecuencia cambia en función de la señal moduladora.

- PM. La modulación de fase, consiste en el cambio de fase de la señal portadora dependiendo de la amplitud de la señal moduladora.

- Modulación de portadora por pulsos. Los pulsos de señales de datos generados por una terminal de computadora y equipos asociados, así como otras señales provenientes de equipos digitales, normalmente no son transmitidos a una gran distancia en forma simple. En lugar de ello dichos pulsos son utilizados para modular un a señal portadora analógica cuya frecuencia coincide con el medio de transmisión utilizado, por ejemplo en el caso de una transmisión de radio la frecuencia estará en el rango de los gigahertz. Para la transmisión de datos en líneas telefónicas, las frecuencias de voz (1-2 KHz) son empleadas. El equipo utilizado para este propósito se conoce con el nombre de modem (modulador-demodulador).

Existen tres tipos básicos de modulación por pulsos:

- ASK- amplitude shift keying (amplitud).
- FSK- frequency shift keying (frecuencia).
- PSK- phase shift keying (fase).

En la modulación ASK la portadora presenta una frecuencia constante la cual es conmutada a diferentes niveles. En el caso de pulsos binarios el 0 se transmite como cero voltaje y el 1 se transmite con un nivel distinto de cero con amplitud constante. Por lo anterior a este tipo de modulación también se le conoce como o.o.k. (on-off keying). Además la fase en el estado on puede variar de pulso a pulso, sin embargo esto no lleva información.

Por su parte la señal PSK posee una portadora de amplitud constante conmutándose los cambios de la fase de ésta a diferentes estados si los pulsos transmitidos son binarios, el estado on corresponde a que la portadora se encuentre en fase con alguna referencia, y el estado off con una portadora estando 180 grados fuera de fase. En una modulación PSK de 4 niveles la portadora puede ser conmutada a valores de 0, 90, 180, y 270 grados con respecto a la referencia utilizada.

En el caso de FSK, la frecuencia de una portadora con amplitud constante es conmutada entre varias frecuencias. Estos sistemas se consideran sistemas de modulación básica, existen variaciones y combinaciones. Uno de ellos es el DPSK (PSK diferencial) en el cual la información del pulso se transmite en el cambio de fase de 2 intervalos de pulsos adyacentes. Por ejemplo, es muy común el emplear ± 45 y ± 135 grados como base con un cambio de fase de un intervalo a otro codificando $+ 45$ como 11, $+135$ como 01, -135 como 00 y -45 como 10. De esta forma la ventaja del DPSK sobre el PSK es que no requiere la transmisión de una fase de referencia, todo lo que se requiere en el receptor es una memoria pequeña para guardar la fase por un intervalo de pulso.

Debido a su simplicidad los sistemas FSK son los más comúnmente usados a bajas velocidades (2400 b/s) donde la relación señal a ruido y la reducción de ancho de banda no resulta crítica. Las señales FSK son fáciles de demodular haciendo pasar la señal a través de filtros de banda angosta sintonizados a las frecuencias esperadas y observando la magnitud de la salida.

La señal PSK requiere un demodulador coherente, lo cual significa que la portadora con su correcta fase de referencia debe encontrarse disponible en el receptor de manera que la fase instantánea de la señal PSK pueda ser definida. Debido a la complejidad de la generación y disponibilidad de la señal de fase de referencia, estos sistemas sólo se utilizan cuando se requiere muy bajas relaciones señal a ruido. Este es el caso de las comunicaciones espaciales. Una combinación de los sistemas PSK y FSK se conoce como MSK (minimum shift keying) que aprovecha las ventajas de ambos sistemas.

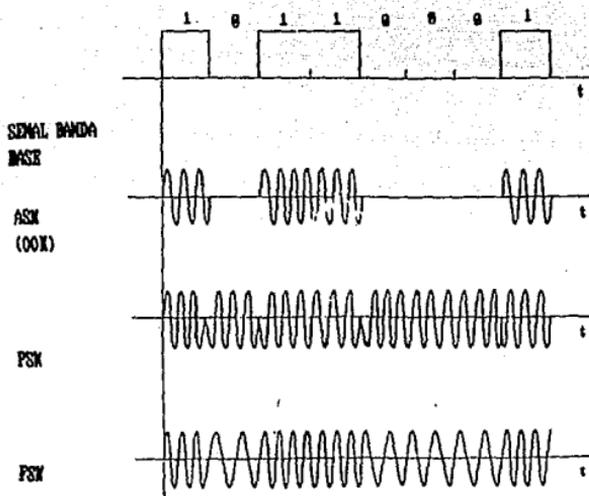


FIGURA 4.4 METODOS DE MODULACIÓN DE PORTADORA DE ALTA FRECUENCIA MEDIANTE PULSOS.

A continuación se enumeran varias razones específicas para aplicar la modulación:

1.- Modulación por facilidad de radiación.

Una radiación eficiente de ondas electromagnéticas requiere el uso de antenas de un tamaño relacionado con la longitud de onda que se está transmitiendo (por lo menos debe ser de una décima parte de dicha longitud). De este modo si se quisiera radiar directamente una señal de 100 Hz se requeriría tener una antena de 300 Km. Si se modula con esta señal a una portadora de alta frecuencia, por ejemplo 100 MHz en la banda de FM, la longitud de la antena sería de alrededor de 1 metro.

2.- Modulación para reducción de interferencia.

La modulación permite reducir el efecto de interferencia externa y ruido. Por usar una frecuencia portadora alejada de ciertas señales de interferencia conocida (aún en el

caso de frecuencias similares a la de señal) se reduce su efecto pues el sistema puede discriminar señales de la misma frecuencia pero que no estén modulando a la portadora del modo adecuado.

3.- Modulación para multicanalización y asignación de frecuencia.

Por medio de la modulación es posible sintonizar una estación seleccionada aunque en la misma zona estén transmitiendo varias señales compartiendo el mismo medio (aire, cable), sin modulación sólo podría operar una sola estación en cierta área. Por otra parte todas las técnicas de canalización que integran varias señales en una sola portadora y medio de transmisión son distintas formas de modulación.

En los casos en que una señal no requiera modulación para transmitirse, se habla de transmisión en banda base.

La transmisión analógica no solo es aplicable para señales de audio sino también se puede transmitir video en forma analógica. La transmisión de video en forma analógica se puede hacer sin un complicado proceso de codificación y es muy eficiente si se hace a través de fibra óptica aprovechando sus características de gran ancho de banda y bajas pérdidas. Aún más el equipo transmisor es pequeño en tamaño y de bajo costo. Sin embargo este método no es aplicable cuando se necesita transmitir a largas distancias debido a que la calidad de la señal decae mucho por la continua regeneración en los repetidores.

Existen dos métodos para transmitir video en forma analógica por fibra óptica y éstos son el método de modulación directa y el de pre-modulación. El método de modulación directa de intensidad (D-IM) consiste de un sistema óptico que transmite directamente los cambios de brillo del emisor de luz los cuales dependen de las señales de video de entrada al convertidor electro-óptico y luego al emisor. El emisor de luz transmite la señal óptica por fibra hasta el receptor.

El método de pre-modulación por pulsos de frecuencia y de modulación de intensidad (PFM-IM) consiste de un sistema que transmite la intensidad de luz después de que el PFM premodula todas las señales analógicas de entrada.

4.3.2 Transmisión digital.

Hay mucho que decir sobre la historia de las comunicaciones digitales. Por ejemplo, los sistemas de comunicaciones más primitivos eran digitales ya que la transmisión se efectuaba golpeando un tronco hueco o un tambor. Por otro lado la historia moderna de la comunicación digital empieza con la invención del Telégrafo (1850). Al inicio de la telegrafía también se introdujeron técnicas de multiplexaje que permitían la transmisión de varias señales sobre una sola línea.

A través de un canal digital es posible transmitir la voz humana convirtiendo previamente esta señal a una forma digital. Así como nosotros podemos convertir la señal digital de datos de una computadora a una señal analógica, podemos hacer el proceso de convertir una señal analógica en una digital, esto por medio de un modem. Por ejemplo, las señales de música de alta fidelidad, televisión, señales de telemetría etc... pueden ser convertidas en un tren de pulsos. La música de alta fidelidad necesita un mayor número de bits por segundo que una señal telefónica, pero una señal de televisión necesita de un número aún mucho mayor de bits por segundo. La cantidad de bits por segundo que se requiere depende del ancho de banda y del rango de frecuencias de la señal analógica así como también del número de los diferentes niveles de amplitud que queramos reproducir.

La transmisión digital de señales analógicas fue posible realizarse gracias a la modulación por codificación de pulsos (PCM) inventada por A. Reeves en 1936. Reeves descubrió que una señal era menos susceptible de interferencia por ruidos al cuantizar su amplitud y expresar el resultado en forma binaria. La forma más simple de transmisión digital es la transmisión binaria, en la cual cada elemento a transmitir se le asigna uno de dos posibles valores (1 o 0). En base a esto podemos decir que un mensaje digital no es más que una secuencia ordenada de símbolos definidos por un alfabeto de tamaño finito.

Así, el objetivo de los sistemas de comunicación digital está orientado a la transmisión de información en un período determinado y con el mínimo número de errores, de esta manera la tasa de señalización y la probabilidad de error juegan el mismo papel en la transmisión digital que lo que representa el ancho de banda y la relación señal-ruido en el caso de la transmisión analógica.

En general se dice que una señal digital está constituida por un tren de pulsos rectangulares en forma discreta, la cual en realidad es la forma en la que una computadora o una fuente de datos la produce. En la figura 4.5 podemos observar un mensaje binario "10110100", ésta es la información típicamente generada por una computadora. Este tipo

de forma de onda es una simple secuencia de prendido/apagado y se conoce como unipolar, ya que consta de una polaridad única, y de tipo síncrona debido a que todos los pulsos son de igual duración y no existe separación entre ellos.

Por lo anterior las señales unipolares contienen una componente de DC la cual resulta difícil de transmitir, no transporta información y provoca un desperdicio de potencia en el sistema. De manera similar, las señales síncronas requieren una coordinación de tiempo entre el transmisor y receptor. Lo que representa una mayor complejidad/costo en el diseño de estos sistemas.

Por otra parte, las señales bipolares con retorno a cero (RZ) como se observa en la figura 4.5 representan una solución alternativa a estos problemas, aunque los espacios generados al lograr una señal con auto-reloj son también un desperdicio de tiempo de transmisión. Es así que si la eficiencia resulta ser un factor preponderante, la transmisión bipolar síncrona como se muestra en la figura 4.5 tiene una mayor preferencia y por lo tanto una mayor aplicación. Existen además casos de señales de tipo multinivel como las mostradas en la misma figura 4.5, éstas son señales derivadas de la agrupación previa de dígitos binarios en bloques de dos.

Si un mensaje es adecuadamente representado por sus valores de muestreo, éste puede transmitirse eficientemente después de una modulación analógica de un tren de pulsos, en donde la señal analógica de información modula directamente a una señal portadora consistente en un tren periódico de pulsos con un pulso por cada muestra.

Existen varias técnicas para la modulación analógica de pulsos, entre ellas destacan las siguientes:

- PAM (modulación por amplitud de pulsos).
- PDM (modulación por duración de pulsos).
- PPM (modulación por posición de pulsos).
- PCM (modulación por codificación de pulsos).

En estas cuatro técnicas el parámetro utilizado en la modulación del pulso (se amplitud, duración, posición relativa o codificación) varía en proporción directa a los valores muestreados. Sin embargo, en el caso del muestreo con PAM y PDM los valores iguales a cero son normalmente representados por pulsos con amplitud o duración diferente a cero. Esto es con el objeto de evitar la pérdida de pulsos y preservar una

relación constante entre ellos. Lo anterior resulta importante para propósitos de sincronización en el multiplexaje por división en el tiempo. Debido a esto existen ciertos paralelismos entre la modulación tradicional y la modulación analógica por pulsos, el mensaje transmitido (en la forma de valores muestreados) es proporcional a la amplitud de la señal de información (PAM) lo que es muy similar a la transmisión tipo AM.

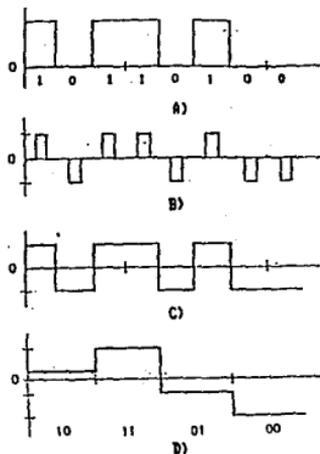


FIGURA 4.5

FORMAS DE SEÑALES DIGITALES.

- A) UNIPOLAR SINCRONA
- B) BIPOLAR CON RETORNO A CERO
- C) BIPOLAR SINCRONA
- D) BIPOLAR SINCRONA CUATERNARIA.

En la figura 4.6 se muestra un sistema transmisor por pulsos. El transmisor consiste en un filtro pasabajas, un muestreador, un modulador por pulsos y un modulador por portadora. El receptor incluye un demodulador de portadora, seguido por un convertidor que transforma la señal modulada por pulsos en un tren de impulsos ponderados equivalentes, posteriormente la señal es filtrada en un pasabajas para ser perfectamente recuperada.

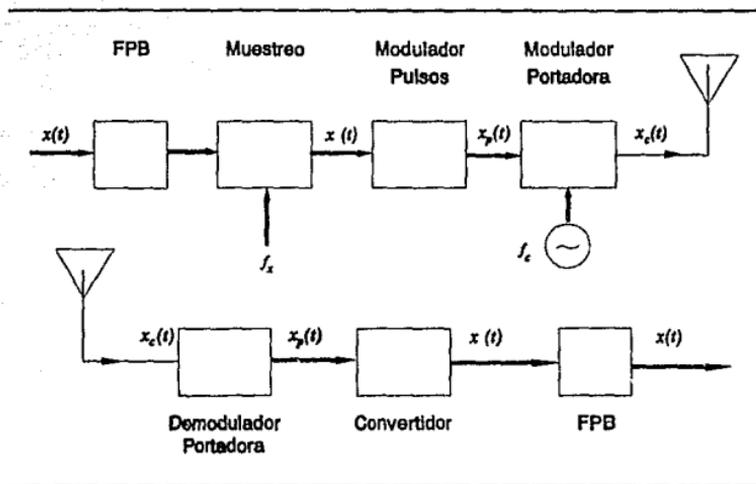


FIGURA 4.6 DIAGRAMA DE UN SISTEMA DE MODULACIÓN POR PULSOS.

Modulación por amplitud de pulsos (PAM).

La señal típica de PAM consiste en pulsos unipolares no rectangulares en donde la amplitud de los picos es proporcional a los valores muestreados instantáneamente del mensaje transmitido.

Ventajas.

- Los valores iguales a cero son representados con pulsos de cierta amplitud, permitiendo así conservar la relación entre pulsos.
- Al ser señales con retorno a cero son menos susceptibles a provocar la pérdida en la sincronización.
- Buena capacidad de regeneración.

Desventajas.

- Por ser una señal unipolar se transmite cierta componente de directa que significa desperdicio de potencia.
- Por ser señales con retorno a cero requieren mayor tiempo de transmisión (señales de baja tasa de señalización).
- Requiere mayor potencia en la transmisión.

Modulación por duración de pulsos (PDM).

La señal resultante de una modulación en PDM consiste en pulsos unipolares en donde el ancho del pulso depende directamente del valor muestreado de la señal de información.

Ventajas.

- Los valores iguales a cero son representados por pulsos de cierta duración permitiendo así conservar la relación entre pulsos.
- Al ser señales con retorno a cero, son menos susceptibles a provocar pérdida de la sincronización.
- Por ser señales de pulsos de igual amplitud, se tiene un mejor aprovechamiento de la potencia transmitida.
- Son señales con buenas características de relación señal-ruido.
- Al ser señales con retorno a cero presentan buena capacidad de regeneración.

Desventajas.

- Por ser señal unipolar se transmite cierta componente de directa lo cual significa cierto desperdicio de potencia.
- Por ser señales con retorno a cero requieren mayor tiempo de transmisión.

Modulación por posición de los pulsos (PPM).

La modulación PDM y PPM están muy relacionadas como se puede observar en la figura 4.8 ya que la modulación PPM puede ser generada de la modulación PDM, los pulsos modulados en duración son invertidos y diferenciados cambiando los flancos modulados en pulsos con diferente posición en el tiempo.

Ventajas.

- Los valores iguales a cero son representados por pulsos de cierta duración permitiendo así conservar la relación entre pulsos.
- Al ser señales con retorno a cero, son menos susceptibles a provocar pérdida de la sincronización.
- Por ser señales de pulsos de igual amplitud, se tiene un mejor aprovechamiento de la potencia transmitida.
- Son señales con buenas características de relación señal-ruido.
- Al ser señales con retorno a cero presentan buena capacidad de regeneración.

Desventajas.

- Por ser señal unipolar se transmite cierta componente de directa lo cual significa cierto desperdicio de potencia.
- Por ser señales con retorno a cero requieren mayor tiempo de transmisión.

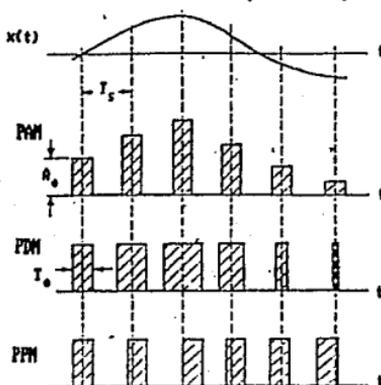


FIGURA 4.7 TIPOS DE MODULACIÓN ANALÓGICA DE PULSOS.

Modulación por codificación de pulsos (PCM).

La modulación por codificación de pulsos es una modulación en la cuál los mensajes están representados por un grupo codificado de pulsos digitales de amplitud discreta. Las

razones por las cuales se prefiere transmitir señales de pulsos moduladas analógicamente son las siguientes:

En una modulación analógica de una portadora analógica, el parámetro modulado varía continuamente y puede tomar cualquier valor en el rango del mensaje. De esta forma cuando la señal modulada es afectada por el ruido no hay forma para que el receptor pueda discernir el valor exacto transmitido. Supongamos sin embargo, que sólo valores discretos son transmitidos como resultado de una modulación de pulsos, si la separación entre estos valores es lo suficientemente larga comparada con la perturbación del ruido, implicará entonces una decisión del receptor para definir qué valor específico fue transmitido. Esto permite consecuentemente que el ruido aleatorio afecte en forma mínima.

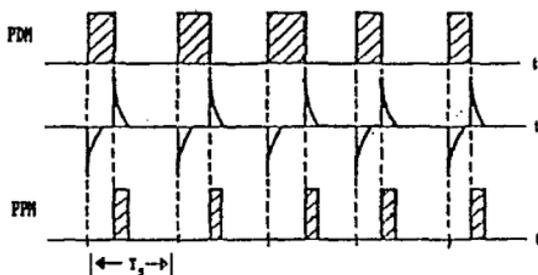


FIGURA 4.8 GENERACIÓN DE PPM A PARTIR DE PDM.

Así mismo el uso de los sistemas PCM en larga distancia en conjunto con los repetidores regenerativos ofrecen grandes ventajas sobre cualquier forma de transmisión analógica. Los elementos básicos para la transmisión de PCM son el muestreo, la cuantización y la codificación, representando este modelo un típico conversor analógico-digital (A/D).

Existen varios factores que han permitido que los sistemas PCM destaquen sobre otras formas de modulación y son las siguientes:

- El sistema PCM presenta una mejor característica de relación de señal a ruido que la transmisión en FM.

- Un sistema PCM diseñado para la transmisión de información analógica es rápidamente adaptable a otras señales de entrada, particularmente la transmisión de datos permitiendo gran versatilidad en la red.
- Su capacidad para la regeneración permite que el sistema PCM ofrezca ventajas en las redes con un gran número de repetidores.

Como se comento en párrafos anteriores, una de las señales que necesitan un mayor número de bits por segundo es la señal de video con audio (TV). La transmisión digital de señales de video es aplicable para transmitir a largas distancias con varios repetidores y con muy poco deterioro de la calidad de la señal por el uso de los mismos.

Existen varios métodos para la transmisión de señales de video en forma digital y éstas son algunas de ellas:

1.- Método de codificación directa en PCM.

Por este método se transmiten señales de video en forma digital como resultado de una codificación directa en PCM. La velocidad de transmisión necesaria es de alrededor de 100 Mb/seg.

2.- Método de codificación de alta frecuencia.

Por este método se transmiten señales de video con menos volumen de información usando técnicas especiales de codificación de señales de video, entre las que están las siguientes:

- Codificación por predicción de intraimágenes.

Esta técnica comprime el ancho de banda utilizando la correlación entre los elementos de las imágenes en las líneas de barrido. Basándose en los elementos conocidos de la imagen, el siguiente elemento es predicho. La señal diferencial entre el elemento predicho y el elemento actual es codificada y transmitida.

- Codificación por predicción de interimágenes.

Este método comprime el ancho de banda utilizando la correlación entre imágenes, una con respecto a cualquier otra con diferencia en el tiempo. La diferencia entre los elementos de la imagen previa y los de la imagen presente en la misma línea de barrido es codificada y transmitida.

- Codificación por predicción de intra/inter imágenes.

Este método combina los dos mencionados previamente con lo que se consigue una mayor reducción de la cantidad de bits a transmitir.

La tabla 4.1 es un cuadro comparativo de los métodos de transmisión de señales de video utilizando cables de fibra óptica.

4.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES.

La gran mayoría del sistema telefónico en el mundo se desarrollo en base a una transmisión analógica y actualmente gran parte sigue trabajando así por los miles de millones de dólares invertidos en equipo, pero es una realidad que la tecnología digital está rápidamente cubriendo estas áreas y las grandes ventajas de la transmisión digital se están empezando a explotar. Un nuevo sistema de telecomunicaciones está siendo instalado en EUA, éste utilizará la técnica de PCM, en dicho sistema las señales de voz y algunas otras analógicas serán convertidas en un tren de pulsos, codificadas y enviadas a través de un solo canal. EUA, Canadá, Japón y Alemania son algunos de los países que ya utilizan esta técnica. En México se están empezando a realizar los primeros trabajos para la digitalización de la red telefónica nacional.

El factor económico favorece a la transmisión digital por dos razones principales; ya existen medios de transmisión con un gran ancho de banda los cuales son capaces de transmitir una gran cantidad de información en forma digital con pocas perdidas, lo que resuelve el problema de la saturación de cables y ductos de telefonía, video y señalización, lo cual se puede aún eficientar multiplexando las señales.

Formas de transmisión de señales de video por fibra óptica.

Forma de transmisión	Transmisión Analógica	Transmisión Digital
Método	<p>Método de modulación directa de la intensidad D-IM.</p> <p>Método de pre-modulación de frecuencia y modulación de la intensidad PFM-IM.</p>	<p>Método codificación por modulación de pulsos PCM.</p> <p>Método codificación de alta eficiencia codificación por:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Predicción de intraimágenes. -Predicción de interimágenes. -Predicción de intra/inter imagen.
Características	Configuración y transmisión sencilla.	Transmisión para largas distancias.
Distancia aplicable.	Corta distancia.	Media y larga distancia.
Número de repetidores.	De 2 a 3 repetidores.	Varios repetidores.
Relación ancho de banda bit de error.	Más de 4 MHz.	De 64 kb/s a 100 Mb/s.

TABLA 4.1

Otra razón es que la circuitería y equipo utilizado para multiplexar y demultiplexar las señales analógicas y los filtros que éstas necesitan son más caros que los utilizados para una transmisión digital, pues éstos gracias a los nuevos desarrollos en electrónica (como la larga escala de integración) y por los altos volúmenes de producción son cada día más baratos.

Además de las ventajas anteriormente mencionadas hay que considerar también que en la transmisión de señales analógicas, donde las señales son amplificadas frecuentemente, el ruido y la distorsión son amplificadas en igual forma y estos efectos nocivos se van acumulando, situación que no sucede con las señales digitales pues en cada estación repetidora los pulsos son regenerados quedando igual a los originales lo cual hace posible la utilización de más repetidores ventaja que nos permite transmitir a mayores distancias.

El factor económico se suma a las ventajas anteriores y en éste interviene el acelerado incremento en la transmisión de datos. A pesar que actualmente la transmisión de datos utiliza una pequeña parte del total del ancho de banda disponible, su incremento es mucho más rápido que los demás usos de las redes de telecomunicaciones. Los datos son transmitidos en forma más económica por un circuito digital que por uno analógico. Con la tecnología actual se pueden transmitir diez veces más datos a través de una línea digital para voz que de una línea analógica.

Así tenemos que son varios los factores que inclinan la balanza hacia el uso de sistemas digitales de transmisión y éstos en resumen son algunos de ellos.

- 1.- La posibilidad de utilizar un mayor ancho de banda y aumento de la capacidad de transmisión de información en ciertos medios, como es el caso de la técnica de acceso múltiple por división de tiempo en la utilización de los satélites por medio de modulación digital.
- 2.- Equipos más económicos, ya que debido al gran desarrollo que ha tenido la fabricación de circuitos lógicos de alta velocidad, actualmente es más eficiente la fabricación de equipo digital que analógico.
- 3.- El incremento de capacidad en la distancia entre repetidores por el uso de repetidores digitales.
- 4.- La creciente necesidad de transmitir datos en redes locales de comunicación.

5.- La compatibilidad con diferentes fuentes de información analógica, tales como voz, señales de video, telemetría, etc... que al digitalizarse se pueden mezclar con señales de computadoras o transmisiones de datos lo cual permite la posibilidad a futuro de crear una Red Digital de Servicios Integrados de comunicación que transmita señales digitales muy parecidas al mismo tiempo, por ejemplo señales de TV, teléfono, facsímil, datos, etc... las cuales no necesitarán de circuitos con tecnología exclusiva para cada una y que no interfieren unas con otras.

6.- La calidad de la transmisión de señales digitales es prácticamente independiente de la distancia y de la topología de la red ya que la señal se regenera en los repetidores por lo cual, la calidad (relación señal a ruido, tasa de error, distorsión u otros parámetros) virtualmente no es afectada por la distancia entre la fuente y el usuario.

7.- La compatibilidad entre diferentes medios de transmisión, tales como sistemas por cable, vía satélite, microondas o fibra óptica, lo cual permite la interconexión de equipos compatibles sin la necesidad de decodificar la señal.

8.- Posibilidad de la utilización de nuevas facilidades, tales como la compresión y almacenamiento de datos, reconocimiento de patrones, etc.

9.- Aplicación de transmisión en medios extremadamente ruidosos. Como en el caso de la información de vehículos interplanetarios, donde la única manera de recuperar la información solo es posible mediante la codificación digitalmente redundante.

Aunque solo hemos mencionado las ventajas de las comunicaciones digitales, existen ciertas desventajas que actualmente se están abatiendo y éstas son:

1.- Que los sistemas digitales tengan que operar conjuntamente con los sistemas analógicos, pues las grandes inversiones que se hicieron en los últimos 30 años en sistemas analógicos seguirán operando por mucho tiempo hasta que paulatinamente se terminen de cambiar las muchas redes analógicas que existen en todo el mundo por redes completamente digitales.

2.- Algunas señales digitales requieren de un ancho de banda mayor, como en el caso de una señal de voz que al digitalizarse ocupa un mayor ancho de banda. Pero

esto también se está atacando utilizando procesamiento de señales y técnicas de modulación sofisticadas que reducen el ancho de banda.

Como nos podemos dar cuenta son claras las razones de utilizar señales digitales para la intercomunicación de los videotéfonos que transmitirán señales de video, voz y datos entre clínicas y hospitales. Sabiendo que los videotéfonos se comunicarán mediante señales digitales es conveniente conocer más a detalle algunos conceptos como los sistemas de transmisión digital, sistemas de multiplexión, técnicas de codificación y estándares de transmisión, que son algunos de los puntos que ahora veremos.

4.5 SISTEMA DE TRANSMISION DIGITAL SIMPLE.

En la figura 4.9 se muestra un diagrama de bloques de un sistema de transmisión digital simple. Las partes fundamentales del sistema son el transmisor, el medio de transmisión y el receptor. En el transmisor las fuentes de señal pueden ser de diferente índole. Por ejemplo, la salida de una computadora, un teletipo, señales de telemetría, señales de voz o video, etc. El codificador dará un formato de las señales que por naturaleza son digitales y las analógicas las digitalizará.

El modulador es la interfase entre el medio de transmisión y la señal digital al hacer variar ciertos parámetros (frecuencia, amplitud o fase) de una onda portadora. El medio de transmisión puede ser el espacio libre, un cable de cobre o una fibra óptica. Las señales transmitidas son afectadas por ruido, interferencia o distorsión inherentes al medio de transmisión y el receptor debe de demodular y decodificar la señal degradada a fin de reproducir la señal original.

En el diagrama de bloques de la figura 4.9, la transmisión se indica en un solo sentido entre dos puntos. Los sistemas de transmisión normalmente operan en modo "duplex" en el cual la transmisión es simultanea en ambas direcciones entre dos puntos. Al medio de transmisión entre los dos extremos se le llama circuito, el cual puede ser dedicado para uso exclusivo de dos usuarios o puede formarse una red para interconectar a varios usuarios (capítulo V).

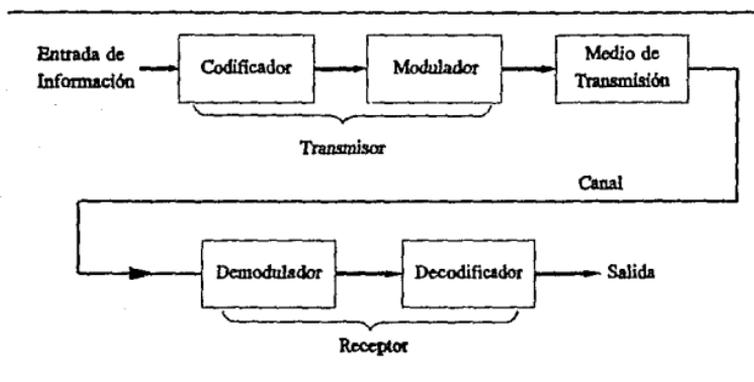


FIGURA 4.9 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DIGITAL SIMPLE.

4.6 MODELO DEL SISTEMA OPTICO DE TRANSMISION DIGITAL

El diagrama de bloques de un sistema de transmisión digital por fibras ópticas es el que se muestra en la figura 4.10.

En la terminal del emisor un codificador de línea convierte la secuencia de símbolos binarios (entrada de datos) con una velocidad inicial, en una secuencia de símbolos con una velocidad adecuada para su transmisión óptica.

Esta señal modula por medio de un circuito excitador la intensidad de la luz de una fuente óptica que puede ser un diodo electro-luminiscente (LED) o un diodo laser, de modo que cada símbolo de entrada se asocia a un impulso óptico de forma rectangular con un determinado ciclo de trabajo.

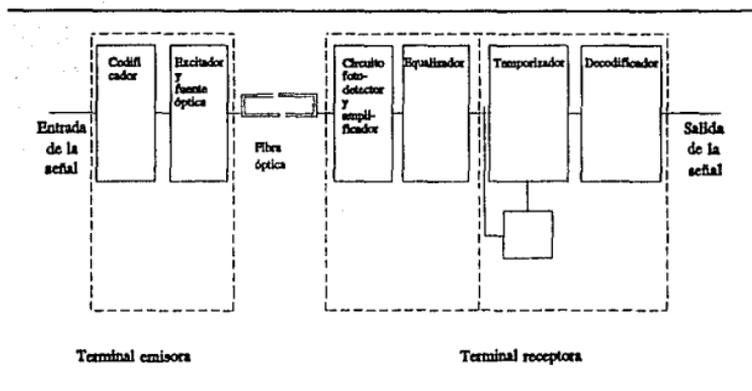


FIGURA 4.10 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DIGITAL POR FIBRAS ÓPTICAS.

En el receptor los impulsos ópticos son convertidos en eléctricos por un fotodetector constituido por un fotodiodo positivo intrínseco negativo (FDP) o un fotodiodo de avalancha (FDA), después de lo cual son amplificados y ecualizados para obtener la máxima relación señal/ruido.

La señal ecualizada es regenerada para lo cual se utiliza la referencia de tiempo extraída de la propia señal, y decodificada para recuperar la secuencia de información original (salida de datos).

4.7 SISTEMAS DE MULTIPLEXION.

El concepto de multicanalización o multiplex consiste en transmitir simultáneamente en el mismo medio dos o más señales. Esto puede ser tanto en el dominio del tiempo en una transmisión de señales digitales como en el dominio de la frecuencia en la transmisión de señales analógicas.

Por ejemplo, la baja atenuación en una amplia gama espectral permite transmitir por el mismo medio de transmisión varias longitudes de onda distintas moduladas por señales de información. Los múltiples canales de comunicación independientes realizados por multiplexación por división en longitud de onda pueden transportar las señales en el mismo sentido, lo que conduce a un aumento de la capacidad del enlace o también pueden ser dispuestos de modo que aprovechen la transmisión bidireccional para lograr así una mayor flexibilidad del sistema.

Para multiplexar en forma digital varias señales es necesario tomar varias muestras de cada una de ellas y enviarlas (transmitirlas) en forma alternada en el canal de transmisión (multiplexión por división de tiempo). Más detalladamente el canal de transmisión (transmisor y receptor) es conectado a cada señal de entrada por un corto tiempo para tomar una muestra de la señal y transmitirla. Así el transmisor es cambiado a la siguiente señal en una secuencia antes definida. Cuando todas las señales han sido muestreadas una vez, el ciclo se ha completado y el siguiente ciclo empieza, y así sucesivamente. Para evitar la pérdida de información y para asegurar que la información pueda ser recuperada en el receptor sin ninguna distorsión notable, la frecuencia de muestreo deberá ser al menos más grande que el doble de la frecuencia máxima de la señal a muestrear.

El método de multiplexaje por longitud de onda en sistemas ópticos consiste en utilizar un cierto número de señales portadoras cada una con una longitud de onda diferente. Cada una de estas señales portadoras será modulada por una señal óptica de información, estas señales de información podrán tener todas una longitud de onda lo suficientemente grande para contener la cantidad de información requerida y poder transmitirla a grandes distancias. En este tipo de sistemas existe un cierto número N de diodos laser, cada uno se modula de una manera independiente y todas las salidas se envían en una fibra única. A la salida de la fibra, las N diferentes longitudes de onda se separan y las señales distintas son detectadas por el mismo número N de fotodiodos de avalancha.

Para $N=10$ y utilizando fibras unimodo, se puede esperar con el uso de esta técnica obtener sistemas ópticos de banda ultragrande con longitud de onda de 100 a 1000 GHz-Km. Para lograr un sistema de multiplexado de longitud de onda efectivo, las longitudes de onda de los láseres deben ser estables y los dispositivos ópticos tales como filtros, mezcladores, aisladores ópticos y otros deben encontrarse disponibles comercialmente.

Se han diseñado subconjuntos ópticos peculiares que tienen por función combinar los haces ópticos a la entrada de la fibra (multiplexores) y dirigirlos hacia diferentes fotodetectores no selectivos (demultiplexores). Si bien los primeros pudieron en principio ser dispositivos ópticos de banda ancha, los últimos tienen necesariamente que ser elementos selectivos como filtros de eliminación de interferencia, prismas y retículas de difracción.

Para el diseño de estos elementos se sigue el principio de reducir al mínimo la pérdida de inserción al mismo tiempo que se trata de obtener una máxima atenuación de diafonía, teniendo en cuenta las características de la fuente óptica y el número requerido de caracteres. En general los dispositivos de dispersión angular son más adecuados para las fuentes láser de espectro estrecho, mientras que los LED pueden aprovechar mejor los filtros de eliminación de interferencia.

Para un sistema de una sola longitud de onda en que se emplea el mismo emisor y el mismo receptor, cabe esperar que como consecuencia de la pérdida de inserción se experimente una reducción de la atenuación disponible, la cual es actualmente para cada par de dispositivos de unos 3 a 4 dB cuando se utilizan fuentes láser, y de unos 5 a 7 dB cuando se utilizan LED's. La cantidad admisible de diafonía depende de la naturaleza de las señales utilizadas. Las señales digitales son muy insensibles a esta degradación y el efecto global puede evaluarse incluyendo una pérdida en la potencia, que podría ser del orden de 0.5 dB si la atenuación de diafonía óptica es superior a unos 12 a 15 dB.

4.8 TECNICAS DE CODIFICACION.

Como sabemos en una transmisión binaria la unidad mínima de información es el bit y éste puede ser un 1 o un 0. Esta condición puede representarse eléctricamente si hay corriente o no, pero puede darse el caso que la presencia de corriente indique que se transmitió un 0. Para evitar errores cuando se presente este caso se utilizan las técnicas de codificación.

La información escrita debe normalmente codificarse antes de ser transmitida por un sistema digital. Al transmitir la señal el ruido existente en un canal de transmisión puede provocar errores. Estos errores van a ocasionar que haya cierta incertidumbre en la información recibida. Si la incertidumbre es grande una gran cantidad de información se

necesitará para aclarar la situación y si la incertidumbre es pequeña, entonces se necesitará solo una pequeña cantidad de información para aclarar la situación.

Existen sistemas de codificación para disminuir esta incertidumbre, es decir códigos que minimizan los errores y esto lo logran introduciendo bits de redundancia. Un bit contiene poca información pues solo tiene dos posibilidades un 1 o un 0, si se transmite de dos en dos bits en forma secuencial tendremos 4 posibilidades 00, 01, 10, 11 y si transmitimos de 3 en 3 bits, tendremos 8 posibilidades y así sucesivamente. Algunos ejemplos de códigos binarios son el código Baudot para teleimpresión, el cual contiene cinco bits por caracter con lo que hace un total de 32 caracteres, en el código ASCII (American Standard Code for Information Interchange) cada caracter está compuesto de 7 bits con lo cual se tienen 128 caracteres.

Entre los códigos de transmisión adaptados para transmisión por fibra óptica están:

- HDB - Código "High Density Order 3".

Este código se utiliza para prevenir la pérdida de la regeneración de reloj. Consiste en suprimir secuencias con más de 3 ceros consecutivos.

- CMI - "Coded Mark Inversion".

Este código se utiliza para facilitar el interfazamiento óptico, los pulsos emitidos en señales ópticas son positivos o cero, así el código bipolar HDB3 no se usa directamente. El código CMI es un código muy redundante, facilitando así la recuperación de la señal de reloj y la detección de errores.

4.9 ELECCION DEL EMISOR Y EL RECEPTOR OPTICOS.

Tanto los láseres como los LEDs han encontrado sectores específicos y convenientes de aplicación en los sistemas ópticos digitales; sus parámetros se muestran tabla 4.2.

Parámetros Típicos de Fuentes Ópticas de Semiconductores.

Parámetro	LED	LASER
Máxima potencia inyectada a la fibra núcleo 50 m, AN 0.2.	0.05 mW.	1 mW.
Corriente de umbral.	----	50 - 200 mA.
Anchura de raya entre semi-máximos.	30 - 120 nm	2 - 10 nm.
Anchura de banda eléctrica - 6dB.	50 - 100 MHz.	200 o más MHz.
Aplicación típica.	hasta 150 Mbts/seg.	hasta 1 Gbts/seg.

TABLA 4.2

La potencia óptica emitida por las fuentes de semiconductores se puede controlar de una manera sencilla por medio de la corriente aplicada. En el caso de un LED que funciona con una modulación de dos niveles solo se necesita una conmutación de la corriente de excitación entre un valor cercano a cero y cierto valor máximo. Como la impedancia de entrada del LED comúnmente es equivalente a la de una resistencia de unos cuantos ohmios en paralelo con un capacitor de unos cientos de picofaradios, un amplificador de corriente de una sola etapa construida con un transistor de microondas puede suministrar los impulsos de corriente con los flancos abruptos deseados. En la figura 4.13 se puede ver la configuración del circuito excitador.

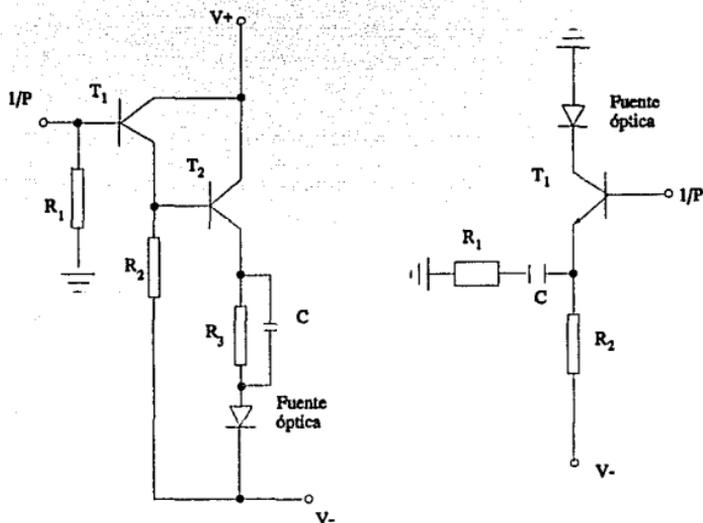


FIGURA 4.11 ESQUEMA DE EXCITADORES LED PARA SEÑALES DIGITALES.

En la sección de entrada del receptor pueden utilizarse fotodetectores PIN y de avalancha (FDP, FDA). El uso de fotodetectores FDA de silicio es común, pues el ahorro de potencia óptica debido a la ganancia en avalancha compensa con creces la utilización de una tensión de polarización elevada. Para aplicaciones con una velocidad de transmisión mayor, este tipo de fotodetectores tienen un comportamiento poco eficiente debido al ruido generado en el proceso de avalancha y a la corriente de oscuridad por lo que un FDP acoplado a un amplificador de transistor de efecto de campo FET es una mejor solución. Los parámetros principales del detector que entran en juego en el diseño del sistema se recapitulan en la tabla 4.3.

Principales Características De Los Detectores Ópticos.

Parámetro	FDA de Si	FDA de Ge	PIN	Unidad
Responsividad	0.7	0.6	0.4	A/W
Ganancia útil	100	10	1	--
Corriente de oscuridad	1	100	10	A
Exponente de ruido en exceso	0.4	1	--	--

TABLA 4.3

El preamplificador que sigue al detector debe diseñarse con mucho cuidado para obtener una alta ganancia y un bajo nivel de ruido. Se consideran dos tipos de circuito: el preamplificador de transimpedancia y el amplificador de tensión. El esquema de estos amplificadores se muestra a continuación.

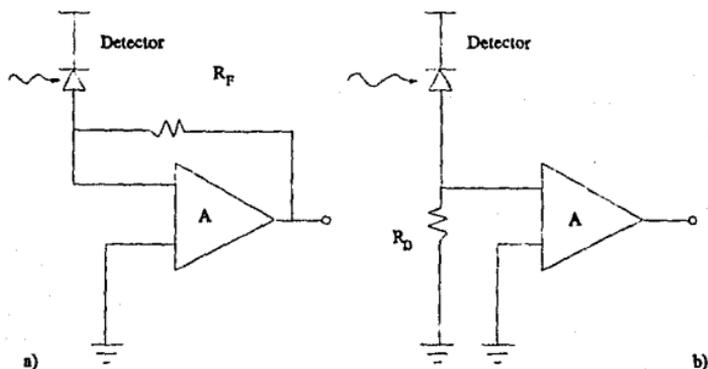


FIGURA 4.12 ESQUEMA DE CIRCUITOS PREAMPLIFICADORES.
 A) DE TRANSIMPEDANCIA B) DE ALTA IMPEDANCIA.

4.10 ESTANDARES DE TRANSMISION.

Los estándares juegan un papel muy importante para el establecimiento de la compatibilidad entre las facilidades y equipos de comunicaciones de los diferentes fabricantes en todo el mundo.

Estos estándares son desarrollados por varios grupos nacionales e internacionales. La organización que más contribuye a la estandarización de las transmisiones es la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) que fue fundada en 1865 y para 1982 contaba con 157 países miembros.

Otra fuente importante de estándares para transmisión es la ISO (Organización Internacional para Estandarización), la cual fue fundada en 1929 con el propósito de publicar y desarrollar estándares internacionales y actualmente cuenta con 71 países miembros. Algunas otras organizaciones y comites que trabajan sobre la estandarización de las transmisiones son la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas), la ANSI (Instituto Nacional Americano de Estandarización) y los comites CCIR (Comite Consultivo Internacional de Radio) y el CCITT (Comite Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía) éstos dos últimos pertenecientes a la ITU.

En el momento de decidir que transmisión utilizar y dependiendo del equipo de transmisión y de la red será necesario tomar en cuenta los estándares ya definidos para transmisión lo cual nos asegurará la compatibilidad de nuestro sistema con otros si es que en el futuro necesitáramos interconectarlos.

En la tabla 4.4 se muestran algunos de los grupos de estudio del CCITT y CCIR .

DESIGNACION	TITULO	REPORTES
CCITT Grupo VII	Redes de comunicación de datos.	CCITT 1981 Vol. VIII.2 y VIII.3
CCITT Grupo XV	Sistemas de transmisión.	CCITT 1981 Vol. III.1 y III.4
CCITT Grupo XVII	Comunicación de datos sobre la Red Telefónica.	CCITT 1981 Vol. VIII.1

Continúa..

DESIGNACION	TITULO	REPORTES
CCITT Grupo XVIII	Redes Digitales.	CCITT 1981 Vol. III.3
CCIR Grupo 4	Servicio de Satélite fijo.	CCIR 1982 Vol. IV
CCIR Grupo 5	Propagación en un medio no ionizado.	CCIR 1982 Vol. V
CCIR Grupo 7	Frecuencias estándar y señales de tiempo.	CCIR 1982 Vol. VIII
CCIR Grupo 9	Servicio fijo utilizando sistemas de respaldo por radio.	CCIR 1982 Vol. IX
CCIR Grupo 11	Servicio de transmisión de TV.	CCIR 1982 Vol. XI
CCIR/CCITT	Transmisión de audio y video sobre grandes distancias.	CCIR 1982 Vol. XII

TABLA 4.4

CAPITULO V

RED DE COMUNICACION.

5.1 INTRODUCCION.

Hemos visto que los recientes trabajos de desarrollo en el campo de las fibras ópticas (los cables de fibra óptica y la tecnología de los dispositivos ópticos) han progresado de tal forma que la aplicación de sistemas de transmisión por fibra óptica son una alternativa muy importante para aplicaciones en redes locales.

Desde que se consolidaron como un conveniente medio de transmisión, se han citado y destacado muchas veces las ventajas de las fibras ópticas, por otra parte la idoneidad de las fibras ópticas para diferentes sectores dentro del campo de las telecomunicaciones (desde la interconexión de algunos usuarios en una red local hasta su uso en enlaces submarinos) confirma la validez de la adopción de este nuevo soporte como medio de transmisión.

La característica de transmisión de banda ancha de las fibras ópticas ofrece nuevas posibilidades para la transmisión de diferentes señales simultáneamente y el suministro de nuevos servicios. Atendiendo en particular a sus aplicaciones en las redes locales y a todas sus características ya mencionadas, las fibras ópticas son un medio especialmente adecuado para el diseño de la red de intercomunicación por videoteléfonos entre el Hospital Central y sus clínicas de apoyo.

Una de las fases importantes dentro del diseño y análisis de un sistema de telecomunicación es la selección de la red. Este capítulo describe qué es una red local y los diferentes tipos de configuraciones que son factibles de utilizarse. Se definen además en forma genérica los parámetros y características de la red y los repetidores factibles de utilizarse, así como el método de cálculo para decidir cual será el espaciamiento entre ellos.

5.2 REDES DE TELECOMUNICACION.

Generalmente es sencillo interconectar entre sí dos o varios usuarios directamente a través de algunos cables, pero si consideramos la gran cantidad de usuarios que se pueden tener en un sistema de telecomunicación y pensando que todos ellos desean comunicarse entre sí, es fácil darse cuenta que es necesario desarrollar un sistema de enlace entre todos estos usuarios y que este sistema deberá interconectarlos eficazmente.

Este sistema deberá tener algunas otras características como que tiene que ser flexible en el sentido de poder ampliarse en el momento en que crezca el número de usuarios, que sea factible el darle mantenimiento y que sea compatible con otros sistemas. Este sistema de interconexión que necesitamos está contenido exactamente en el concepto de una red de comunicación. Una red consiste esencialmente en una serie de nodos interconectados entre sí por enlaces de transmisión que pueden ser cables, alambres, radio, satélites o fibras ópticas.

Más específicamente una red de telecomunicación es el conjunto de mecanismos y métodos que permiten hacer llegar un conjunto de entidades físicas o de información de un punto a otro en forma confiable y eficiente, poniendo en contacto en términos eléctricos u ópticos a una serie de dispositivos de comunicación separados entre sí por una distancia dada.

Basándonos en esta definición, una red es prácticamente cualquier medio de enlace entre dos o más puntos, ahora delimitaremos más esta definición con los siguientes conceptos:

- Las entidades que viajan a través de la red son simplemente señales eléctricas u ópticas.
- El sistema de mecanismos y métodos se limita al conjunto de equipos eléctricos o electrónicos de manipulación de las señales eléctricas u ópticas.
- Cada punto de enlace es un equipo capaz de efectuar transformaciones a las señales viajeras y se conoce como nodo.

Se puede ahora enunciar una definición formal de que es una red basándonos en los conceptos anteriores:

Una red es el conjunto de medios capaces de enlazar dos o más nodos para que éstos puedan establecer una comunicación confiable y eficiente.

En forma general existen redes para transmisiones de datos y redes transmisoras de audio y/o video. Las redes de datos utilizan técnicas de transmisión llamadas packet-switched. Por medio de esta técnica los bloques de datos llamados paquetes, son transmitidos desde un dispositivo transmisor a un receptor. Estos dispositivos pueden ser terminales, computadoras, impresoras y cualquier otro dispositivo de comunicación y/o manejo de datos. Las redes transmisoras de audio y video tienen su más amplia aplicación en los sistemas de telefonía. Estas redes generalmente transmiten señales de audio provenientes de un teléfono o señales de video, por ejemplo de T.V. Existen en la actualidad redes de telecomunicación que manejan datos así como audio y video. Estas redes se conocen como redes integrales de servicio.

Hablando de las redes para la transmisión de señales de audio y/o video, que son las que nos interesan por su aplicación en el sistema de videoteléfonos, se tienen diferentes tipos y configuraciones. El tipo y configuración de la red dependerá de los servicios suministrados, el número de abonados que se tengan que conectar y su ubicación. Entre los tipos de redes que existen están las redes en malla, en anillo, en árbol y en estrella, (ver figura 5.1). Existen también estructuras de redes híbridas por ejemplo una red anillo-estrella (ver figura 5.2). Cada una de ellas tiene ventajas y desventajas en comparación con las demás, esto depende de su aplicación.

5.2.1 Red en malla.

En una red en malla cada abonado está conectado con cada uno de los demás por una línea individual. Esta configuración requiere una cantidad considerablemente mayor de cables, de cámaras de empalme y de repetidores que cualquier otra. Sin embargo tiene una ventaja que es que no habrá necesidad de tener un control central. La eficacia en la utilización de las líneas en este tipo de red es muy baja y en general una red en que los abonados están conectados en malla no resultaría económicamente factible simplemente por el costo del equipo eléctrico y de la instalación y mantenimiento de éste. Por esta razón este tipo de red no se emplea en la práctica.

5.2.2 Red en anillo.

En una red en anillo todos los abonados están conectados por una sola línea común. Es decir el último abonado se conecta con el primero para así cerrar el circuito en el anillo. Toda información que sea introducida en la red por un abonado pasa a través de todos los nodos.

Por esta razón debe preverse un cierto número de canales de transmisión entre todos los nodos es decir entre las terminales de la red abonada y según el volumen de tráfico. Para esta aplicación se presta muy bien un sistema de multiplexión por división en el tiempo en combinación con un medio de transmisión de banda ancha.

En los nodos solo se extrae de la red información. Como algunas otras configuraciones de red, las redes en anillo requieren también dispositivos o equipos de control centralizados para evitar el bloqueo causado por ejemplo por la circulación repetida de información dirigida a una dirección errónea. En la red de abonados los canales de transmisión de una red en anillo son utilizados con mayor rendimiento que en una red en malla. En cambio tienen el inconveniente de que al ser la red en anillo una red unidireccional, ésta es afectada por las fallas que se producen en las estaciones de abonado y por roturas de cables.

Las acciones que se podrían tomar para mejorar la confiabilidad de este tipo de red son por ejemplo hacer la red de anillo bidireccional, pero esto repercute directamente en el costo de la misma. Una ampliación de la red en anillo estará limitada por el ancho de banda del medio de transmisión (tipo de cable) utilizado para formar el anillo, esto teniendo en cuenta el ancho de banda que necesita cada uno de los abonados. Otra de las ventajas de este tipo de red es que puede ser implementada para intercomunicar equipo común, sin que éste tenga grandes sofisticaciones.

5.2.3 Red en árbol.

La red en árbol consta de varias ramas que comprenden en el caso de una red para comunicación bidireccional, dos trayectos de sentidos opuestos de transmisión. Los dos trayectos contienen el mismo número de canales de transmisión. Cada abonado está conectado a dos trayectos, uno para emisión y otro para recepción. Para el intercambio de información en la red es esencial conectar las líneas en los puntos de bifurcación de tal manera que, en la línea receptora de todas las ramas la información introducida en la red

pueda llegar a todos los abonados. Además es necesario conectar los trayectos de ambos sentidos de transmisión al final de cada rama, de modo que sea posible un retorno de información. Comparando la red en árbol con la red en anillo, se puede decir que la red en árbol es más flexible en lo que respecta a una ampliación topográfica. Sin embargo, para ambos tipos de redes, el número de abonados está limitado por una capacidad de transmisión de las líneas utilizadas para la red. Una ampliación mediante una segunda línea traería consigo una duplicación del equipo utilizado a todo lo largo de la red. Otra ventaja de la red en árbol es que una rotura de cable solo puede entrañar la puesta fuera de servicio de una parte de la red, pero las consecuencias son más graves si se interrumpe la conexión entre dos puntos de bifurcación.

Al igual que en la red en anillo la habilidad del equipo de abonado tiene también cierta influencia sobre la fiabilidad total de la red y además debe señalarse que la red en árbol no es totalmente compatible con las redes de telecomunicación existentes. Se considera que las redes en árbol son adecuadas para aplicaciones exclusivas de distribución es decir cuando hay que transmitir información desde una fuente central a muchos abonados (por ejemplo en la televisión por cable).

5.2.4 Red en estrella.

En una red en estrella cada abonado está conectado a una central (por ejemplo telefónica) por una línea individual. En comparación con una red en anillo o en una red en árbol, en la red en estrella se necesita una cantidad mayor de cable. Estos inconvenientes están parcialmente compensados por el hecho de que a diferencia de las otras configuraciones de red, muchos de los parámetros esenciales como la fiabilidad, la disponibilidad, etc. estarán determinados principalmente por el equipo central.

En la zona de abonados bastará por lo general con una línea para ambos sentidos de transmisión sin que haya que emplear un equipo multiplexor. El ancho de banda necesario para esta línea es relativamente pequeño pues está determinado por el ancho de banda de transmisión utilizado por un solo abonado y no por el conjunto de los anchos de banda de las señales transmitidas para todos los abonados, como sucede en las redes de otros tipos.

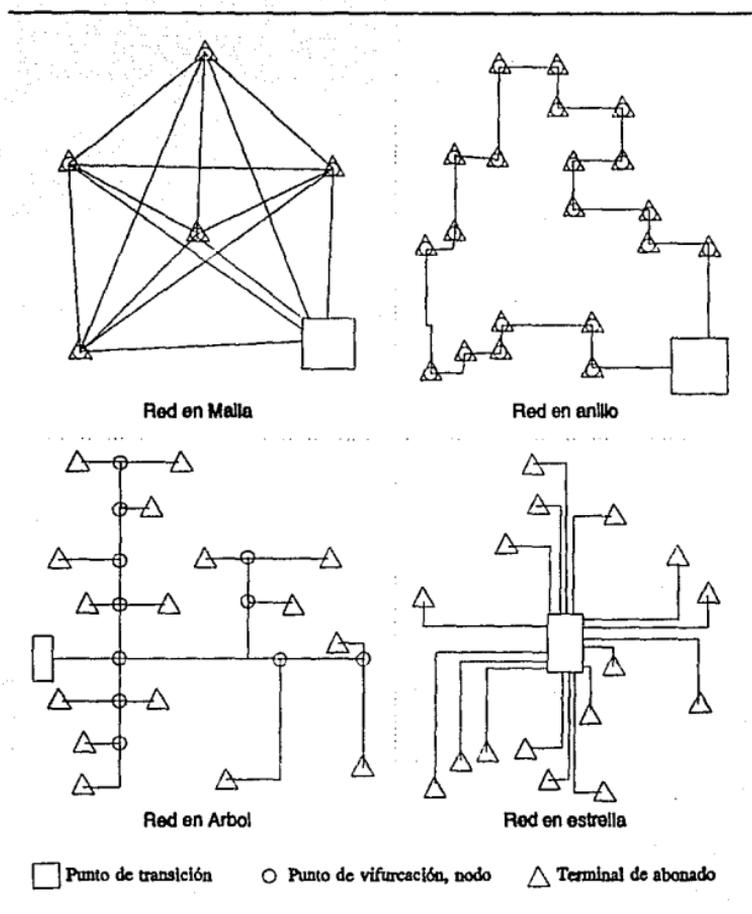


FIGURA 5.1 CONFIGURACIONES DE RED.

La red en estrella es relativamente insensible a la rotura de los cables pues solo son afectados aquellos abonados cuyas líneas están contenidas en el cable averiado, pero no los demás abonados, como es el caso típico de una red en anillo unidireccional. La red en

estrella ofrece además un elevado grado de protección contra la interceptación y condiciones favorables para el mantenimiento. Este tipo de red es también fácil de ampliar. Finalmente el equipo de abonado es bastante menos complejo y más barato que el requerido para los otros tipos de redes en que no hay un equipo central de conmutación ya que no se necesitan dispositivos de control, de conmutación, ni de supervisión. Por esta razón en las redes de comunicación bidireccionales y en particular en todas las redes telefónicas se utiliza casi siempre la configuración en estrella.

5.2.5 Redes híbridas.

Uno de los ejemplos más comunes de las redes de comunicación híbridas es la configuración anillo-estrella. Esta red opera de forma muy similar a la que opera una red en estrella, con la excepción de que ésta consta en primera instancia de centrales interconectadas en anillo, a partir de las cuales se interconectan abonados a través de una red en forma de estrella. Las ventajas que tiene esta configuración están dadas en base a las ventajas de la configuración en estrella y de la configuración en anillo. Al estar interconectada más de una central a la red la dependencia de ésta al buen funcionamiento de la central se divide por el número de subcentrales que tenga la red, y al estar los abonados interconectados a una subcentral por medio de una red en estrella su dependencia de funcionalidad a la rotura del cable disminuye al tener cada abonado su propio cable.

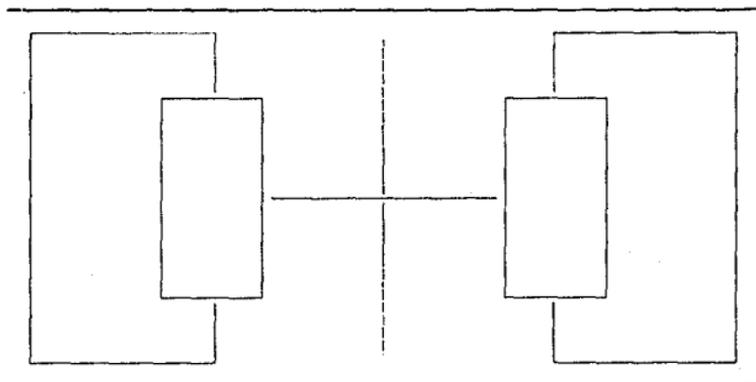


FIGURA 5.2 RED HIBRIDA ESTRELLA-ANILLO

5.3 REPETIDORES.

En el caso de sistemas con cables metálicos, la señal digital puede enviarse directamente después de ser convertida a una forma deseable para transmisión por cable, en el caso de sistemas que utilicen cables de fibra óptica la señal eléctrica debe convertirse primeramente a pulsos de luz por medio de un transmisor óptico.

Después de la propagación a lo largo del cable, cualquier señal recibida es una versión atenuada y distorsionada de la señal originalmente transmitida. Para regenerar la señal recibida se utilizan repetidores digitales a intervalos regulares de la línea de transmisión. En los sistemas que utilizan cables de fibra óptica los repetidores incluyen un receptor y un transmisor. En la transmisión de señales eléctricas, en cada extremo de la línea el receptor es idéntico a un repetidor en un solo sentido, sin embargo para transmisión por cable de fibras ópticas el receptor deberá convertir la señal óptica a eléctrica antes de poder regenerarla y retransmitirla.

En resumen un repetidor es un dispositivo el cual retransmite las señales que recibe después de haberlas regenerado con el objeto de mejorar o ampliar el rango o distancia de comunicación.

El repetidor más sencillo consiste en un receptor cuya señal de salida es conectada directamente a la entrada de un transmisor el cual está diseñado para transmitir a una segunda frecuencia. De esta manera todas las señales que el repetidor recibe a una determinada frecuencia las retransmite a una segunda frecuencia.

En el caso de los repetidores digitales, éstos pueden ser regenerativos, es decir que cada repetidor tiene un convertidor A/D, así como un amplificador. Si la probabilidad de error por repetidor es razonablemente baja, el número de etapas que se pueden utilizar es larga y las ventajas son altas.

Un poco más específicamente el propósito de un repetidor digital es lograr una reproducción exacta de la forma de onda digital original. En estos renglones lo describimos para sistemas de comunicación por cable pero los repetidores son semejantes para todos los sistemas de transmisión digital.

Las funciones que realiza un repetidor digital se pueden agrupar en tres partes esenciales que son : resincronización, remodelado y regeneración, estas funciones se ilustran en la figura 5.3.

Después de la transmisión de una señal digital sobre una sección de cable, cada pulso digital recibido está sobre varios símbolos de tiempo debido a efectos de atenuación y dispersión. Antes que los impulsos puedan ser muestreados para la regeneración y remodelado, éstos se deben completar por medio de técnicas de equalización y amplificación.

La retemporización en un repetidor se completa derivando el tiempo de los datos. Este método de autotemporización puede ser aceptable si los datos mantienen una densidad suficiente de transiciones, o cruces en cero. Las alternativas para el esquema de retemporización incluyen el uso de osciladores de alta precisión en cada repetidor o la transmisión separada de la señal de reloj, pero éstos últimos sistemas son costosos y poco usados.

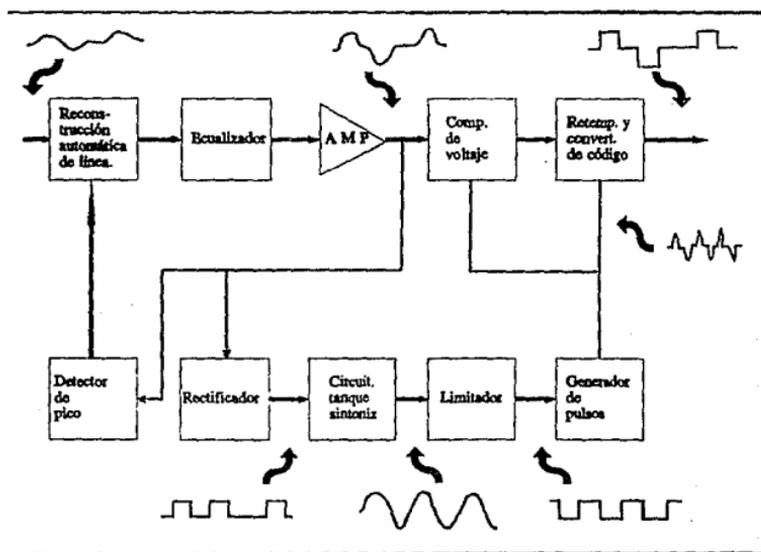


FIGURA 5.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL REPETIDOR REGENERATIVO.

Típicamente el circuito de recuperación de reloj consiste de un circuito sintonizador resonante a la frecuencia de tiempo. Este circuito es precedido por un rectificador que convierte los pulsos reconstruidos en marcas unipolares. Cada marca estimula al circuito tanque el cual produce una onda senoidal a la frecuencia de tiempo deseada. La señal senoidal decae exponencialmente hasta que otra marca estimula al circuito tanque.

En la medida que estas marcas lleguen, el circuito tanque será forzado a reproducir la frecuencia correcta de los datos de entrada. La señal de tiempo senoidal es limitada para producir una onda cuadrada de amplitud constante. El generador de pulsos deja picos de tiempo positivos y negativos en los cruces por cero de la onda cuadrada.

El regenerador realiza comparaciones de voltaje, muestreos de reloj y cualquier conversión de código. Usando los picos de tiempo generados por el circuito de recuperación de reloj, la señal reconstruida es muestreada cerca del centro de cada intervalo de símbolo. El resultado se compara con un umbral por medio de un circuito de decisión. El ancho de cada pulso regenerado se controla por el reloj recuperado. Finalmente, la conversión de código se aplica según sea requerida.

5.4 DETERMINACION DE LA DISTANCIA ENTRE LOS REPETIDORES.

Cuando se conocen las características del emisor, las características de la fibra y la sensibilidad del receptor, la determinación de la distancia entre los repetidores implica un sencillo proceso de distribución de la potencia óptica prevista. Siendo $W = 10 \log (E_{ix} / 2T)$ la potencia óptica medida (en dBm) inyectada en la fibra, ac la pérdida global (en dB) en los conectores de los equipos, ab la pérdida en (dB/km) en los empalmes y Ma un margen de seguridad (en dB), la distancia máxima entre los repetidores I_{max} puede deducirse de la siguiente expresión:

$$S_o + P_{I_{max}} = W - ac - (ab)I_{max} - Ma$$

En donde S_o es el valor de la sensibilidad del receptor (en dBm) y $P_{I_{max}}$ designa la penalización por la ecualización correspondiente a I_{max} y es la potencia óptica adicional requerida para compensar la pérdida de sensibilidad por el hecho de que los impulsos recibidos se superponen unos con otros debido a que la fibra tiene una anchura de banda finita. El margen de seguridad Ma incluye un margen para el funcionamiento propiamente dicho y un margen para tener en cuenta posibles ruidos debidos a la fuente o a los modos

de propagación, así como los factores de degradación de los repetidores tales como el error de equalización o las degradaciones debidas al ruido.

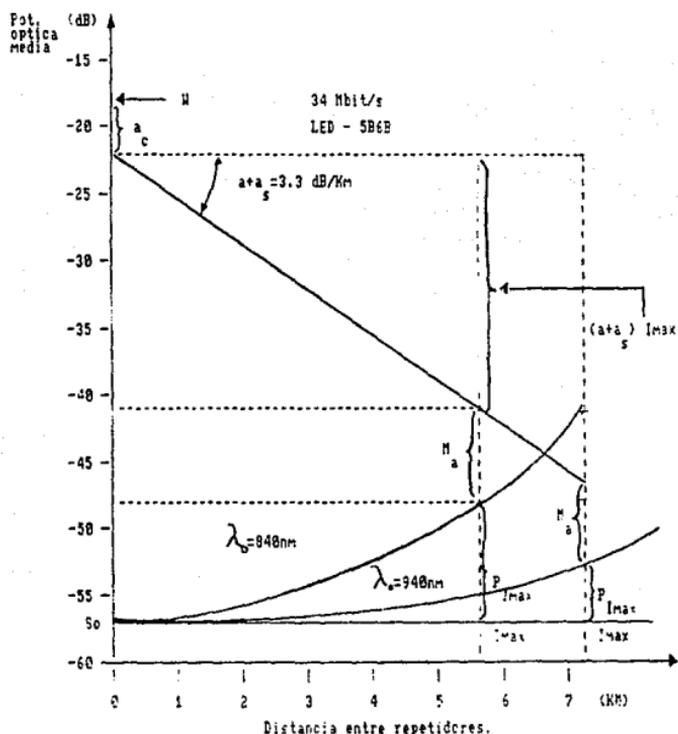


FIGURA 5.4 PROCEDIMIENTO GRAFICO PARA LA DETERMINACION DE LA DISTANCIA ENTRE REPETIDORES EN UN SISTEMA DE 34 MBITS/SEG. QUE EMPLEA UNA FUENTE LED A 850-900nm. UN DETECTOR FDA Y CODIGO DE LINEA 5B6B

Existe también un procedimiento gráfico para la determinación del espaciamiento entre repetidores, por ejemplo la figura 5.4 es una gráfica para un sistema con la velocidad de transmisión de 34 Mbits/s. En la gráfica se presentan curvas de sensibilidad del receptor en función de la longitud l del enlace. Para ejemplificar supongamos un sistema constituido por un detector FDA (fotodetector de avalancha), una fuente LED que funciona a una longitud de onda de 840 nm o una longitud de onda de 900 nm, y una fibra con una anchura de banda modal igual a $B_0 = 200$ MHz.

Puede verse que para una atenuación por la fibra de 3 dB/km y un margen de seguridad $M_a = 7$ dB, se obtiene una distancia entre los receptores de 5.6 km para una longitud de onda = 840 nm y de 7.21 km para una longitud de onda de 900 nm. Este método gráfico es muy útil para la determinación de la distancia entre los repetidores de sistemas que tienen una velocidad de transmisión y las características de la fibra bien definidas.

5.5 SELECCION DE LA RED PARA LA INTRECONEXION DE VIDEOTELEFONOS.

Conociendo ya las posibles configuraciones de una red y después de haberlas brevemente descrito, se plantea la decisión de determinar que configuración es la más adecuada para el sistema de videoteléfonos interconectados por fibras ópticas.

En la selección de la configuración de la red que utilizaremos para interconectar nuestros videoteléfonos es muy importante considerar los siguientes parámetros requeridos por nuestro sistema:

- Una fibra óptica para cada abonado.
- Una configuración modular para la instalación del sistema según las exigencias de los abonados.
- Plena compatibilidad con las actuales redes de servicios (telefonía).
- Alimentación individual del equipo de abonado.
- Servicio mínimo en el caso de interrupción de la alimentación de energía eléctrica (servicio telefónico).

- Compatibilidad en el futuro con una Red Digital de Servicios Integrados.

Tomando en cuenta los requerimientos del sistema de videoteléfonos el tipo de red que se selecciona es la red en Estrella y las razones son las que a continuación se mencionan.

Como se ha dicho anteriormente las redes en estrella utilizan una cantidad mayor de cable que las redes en árbol o en anillo, sin embargo en investigaciones sobre el costo de las redes locales se ha determinado que el costo del cable representa solo una pequeña parte del costo total. Esta tendencia se acentuará cuando la reducción esperada de los precios de las fibras ópticas, como consecuencia de la producción de fibras en cantidades cada vez mayores, haya llegado a un punto tal que dichos precios se aproximen al del cable de pares de cobre.

Una red de con cable de fibras ópticas configurada en estrella permitirá una transmisión bidireccional y el suministro de todos los servicios de banda estrecha y de banda ancha presentes y futuros requeridos para la operación de los videoteléfonos que comunicarán al hospital y clínicas.

De este modo tendremos una red de telecomunicación de banda ancha la cual tiene suficiente flexibilidad para responder a cambios en el futuro como la necesidad de un mayor ancho de banda o de ampliación de la red. Como se mencionó anteriormente también este tipo de red presenta ventajas con respecto a las otras redes en los aspectos de tener condiciones favorables para un mejor mantenimiento.

Si consideramos que para nuestra red de videoteléfonos las distancias serán relativamente cortas (30 kms.) y que la calidad de la información que necesitamos transmitir es alta, el utilizar una red en estrella con cable de fibras ópticas nos asegura una alta calidad de la información (la fibra óptica es inmune a las interferencias) y la configuración en estrella tiene la ventaja de que si el cable tuviera alguna falla o desperfecto solo se verá afectado el abonado que esté conectado a esa línea y con la consideración de que la reparación de la red por su misma estructura es relativamente fácil.

Pensando que en el futuro llegaremos a tener una red digital de servicios integrados (la cual tendría servicios como; telefonía, T.V. por cable, videotelefonía, transmisión de datos, facsímile, telex, correo electrónico, etc.) es importante considerar la ventaja de tener desde hoy una red que pueda en el futuro ser compatible y adaptarse a ésta. Para ello las características que debe tener nuestra red de videoteléfonos son: ser una configuración

compatible con otras configuraciones (red en estrella), transmitir en forma digital y contar con un medio de transmisión de tecnología avanzada (cable de fibras ópticas).

La alimentación de energía del equipo de abonado reviste una gran importancia sobretodo si la red es constituida por cable de fibras ópticas. Para este caso hay tres posibles soluciones que se mencionan a continuación, de éstas se considera que la alimentación local mediante una conexión a la red pública de suministro de energía es la mejor opción;

- Alimentación local de la terminal del abonado, mediante las conexiones a la red pública de suministro de energía.
- Utilización de fuentes de energía independientes como lo pueden ser generadores, baterías o paneles solares.
- Telealimentación a las terminales por medio de cables conductores de energía eléctrica.

5.6 DESARROLLO DE ALGUNAS REDES LOCALES DE COMUNICACION PARA MULTISERVICIOS, QUE UTILIZAN FIBRAS OPTICAS.

Se han estado realizando en los últimos 6 años proyectos de instalación de redes locales multiservicio con fibras ópticas. El objetivo que se persigue es la transmisión y el intercambio de servicios integrados de banda ancha mediante señales analógicas y digitales. Algunos de estos proyectos no solo abarcan un análisis tecnológico de los componentes individuales tales como cables, transmisores, multiplexores y de la estructura de la red elegida, sino que también están destinados a comprobar la importancia social de estos nuevos y vastos servicios así como su aceptación. A continuación se hace un resumen de algunos de los proyectos más importantes.

5.6.1 Proyecto Biarritz. Francia

El proyecto Biarritz consta de una red de fibras ópticas que enlaza a dos zonas de la ciudad y es el primer paso hacia una futura red de servicios integrados. Los servicios que presta esta red son: videotelefonía, posibilidad de escoger dos canales de T.V. entre 15 posibles y 1 canal de FM entre 12.

Los parámetros del sistema son los siguientes:

- Red en estrella
- Longitud máxima del cable : 1675 mts
- Un conector en cada extremo (perdida máxima: 1dB/conector)
- Un empalme cada 600 mts. (pérdida máxima: 0.5 dB/empalme)
- Atenuación del cable 4.5 dB/km (a 850 nm)
- 5 dB de margen para reparaciones y reserva del sistema
- Transmisión analógica (T.V.) y digital (telefonía)
- Unidades centralizadas para la conmutación y el control de la central y para la distribución de programas mediante transmisión a la unidad de conexión de abonado
- Unidad de conexión de abonado para hacerle llegar el tráfico telefónico y videotelefónico concentrado

5.6.2 Proyecto Yokosuka. Japón

El objetivo del proyecto Yokosuka es desarrollar un sistema de bucle de abonado para uso comercial que se utilizará para la transmisión de señales de videoconferencia, señales multiplexadas de pequeñas centrales privadas automáticas y de datos a gran velocidad. Además del sistema de uso comercial se está probando un sistema de bucle de abonado para uso particular y un sistema de distribución de T.V. por cable. El sistema para uso particular suministra servicio de vídeo de extremo a extremo o de centro a extremo así como los servicios telefónicos usuales.

Los parámetros de este sistema son los siguientes:

- Red en estrella
- Cable de fibra óptica de índice gradual 3dB/km (a 850 nm), 1.2 dB/km (a 1300 nm)

- Ancho de banda de 400 MHz x km
- Longitud del cable de 8.5 km
- 10 Fibras en total
- Servicios de telefonía, facsímile y de datos a alta velocidad, televisión y televisión de alta definición
- Señales con longitud de onda de 800 - 1300 nm
- Multiplexión por división de longitud de onda

5.6.3 Proyecto red rural de Elle, Canadá

En este proyecto participan un total de 150 abonados. Aproximadamente un 70 % de los participantes seleccionados están ubicados en pequeños núcleos de población y los demás se hallan dispersos en zonas rurales adyacentes. Se dará servicio a los abonados mediante bucles de fibra óptica que parten en una configuración en estrella de uno de los centros de distribución. Estos centros de distribución están alojados en remolques e interconectados mediante un cable de enlace de fibra óptica de 9 km de longitud sin repetidores, éste transporta señales digitales y analógicas. El bucle de abonado (de fibra óptica) más largo será de 5 km y transportará al local del abonado la señal compuesta aplicada al bucle. A través del bucle se suministrarán los siguientes servicios:

- Teléfono, un aparato principal y hasta cuatro extensiones
- Selección de serie de canales estereofónicos de frecuencia modulada
- Un canal para la transmisión duplex, síncrona y transparente de datos a 56 Kbits/s a cada abonado para servicios digitales suplementarios

Parámetros del sistema:

- Fibra óptica de índice gradual de 4 dB/km a 840 nm y 930 nm
- Ancho de banda de 400 MHz (enlace) y 600 MHz (bucle)
- Longitud de enlace de 9 km (sin repetidor)
- Longitud total de los bucles 75 km
- Longitud máxima de un bucle 5 km
- Transmisión digital datos y telefonía, y analógica T.V.
- 150 abonados

5.6.4 Red de abonados por fibra óptica en Berlín Alemania.

Esta red contempla la interconexión de 350 abonados telefónicos con la central telefónica y la transmisión de canales de T.V. y de FM estereofónico para 24 abonados (pudiéndose elegir 2 canales de T.V. entre 12 y 2 canales estereofónicos de FM entre 24).

Algunas características de la red.

- Configuración de la red en estrella
- Longitud máxima de cable 2.6 km
- Fibras ópticas de índice gradual 50/125 micron o 62.5/125 micron
- Atenuación de las fibras 3.0 a 6.0 dB/km (a 850 nm)
- Ancho de banda de 400 MHz x km
- Número de fibras de 2 a 320
- Transmisión analógica T.V. y telefonía y digital telefonía.

5.6.5 Proyecto BIGFON. Alemania

La finalidad de este proyecto es el estudiar los problemas tecnológicos y económicos y fomentar el desarrollo técnico en los campos de la electrónica digital de alta velocidad y sistemas de banda ancha. BIGFON (Breitbandiges Integriertes Glasfaser Fernmelde Orts Netz) que significa red local integrada de telecomunicaciones de banda ancha construida con fibra óptica, se trata de un sistema experimental en el que la tecnología del equipo prototipo se realizará funcionalmente como una parte integral de la actual red de telecomunicaciones en condiciones de tráfico normal. En este proyecto participan 320 abonados conectados por fibra óptica, de las ciudades de Hamburgo, Dusseldorf, Berlin, Stuttgart, Nuremberg y Munich.

Además de los servicios telefónicos y de datos convencionales, se ofrecen simultáneamente cuatro canales estereofónicos y 4 canales de televisión. Entre todos estos programas el televidente puede seleccionar los que desee y recibirlos individualmente gracias a un canal de retorno de banda estrecha y un conmutador telemandado. Por tanto la estructura del sistema permite siempre aumentar el número de programas que se ofrecen.

La videotelefonía es otro de los nuevos servicios que ofrece BIGFON y tendrá la calidad de televisión de acuerdo a la norma PAL G con un ancho de banda de señal de

video de 5 MHz. Para los transmisores hacia el abonado se utilizará alternativamente uno de los canales de televisión. Se necesitará otro canal, de banda ancha para la transmisión hacia el centro BIGFON. Sesenta y ocho de los 320 participantes están provistos de videoteléfonos.

Se da en este proyecto particular importancia el nuevo servicio de videotelefonía por sus grandes repercusiones tecnológicas sociales y económicas.

5.7 RED Y SISTEMA DE TRANSMISION PROPUESTO.

Como conclusión de este quinto capítulo se hará una recapitulación de las principales necesidades técnicas de nuestro sistema de videoteléfonos y qué estructuras y sistema nos llevarán a satisfacer estas necesidades. El sistema de videoteléfonos que se analiza en esta tesis es para comunicar un hospital central con varias clínicas de apoyo separadas del hospital algunos kilómetros.

Las principales necesidades del sistema de videoteléfonos son las siguientes:

- Capacidad para transmitir simultáneamente y en dos sentidos señales de audio y video, para lo cual requerimos un ancho de banda de 4 MHz.
- Alta calidad de las señales transmitidas.
- Seguridad de la información.
- Capacidad de ampliación del sistema a futuro.
- Compatibilidad en el futuro con una posible RDSI.
- Fácil mantenimiento del sistema.

Tomando en cuenta estas necesidades y haciendo un análisis comparativo de los diferentes medios de transmisión, elegimos al cable de fibras ópticas como medio de transmisión adecuado para nuestro sistema de videoteléfonos (capítulo III).

Más específicamente el cable que utilizaremos es un cable de fibras ópticas tipo monomodo, por tener este tipo de fibra los mejores valores de dispersión y por tanto de atenuación (0.15-0.6 dB/Km).

Como fue mencionado anteriormente en el capítulo III el emisor que tendremos que utilizar para este tipo de fibra es un emisor láser con una longitud de onda de 1300 nm por ser a esta longitud donde menores pérdidas tiene esta fibra.

Después de conocer y analizar los diferentes configuraciones de una red seleccionamos la red en estrella como la configuración idónea para nuestro sistema por su facilidad de transmisión en banda ancha de señales de audio y video en forma bidireccional, flexibilidad para acoplarse a otras redes y/o de ampliarse en el futuro, seguridad de la información y tener condiciones favorables para su mantenimiento.

Basándonos en lo expuesto anteriormente y considerando que el uso de sistemas digitales nos da la posibilidad de utilizar un mayor ancho de banda, de incrementar la distancia entre repetidores y de ser compatible con la RDSI, se decide elegir este sistema de transmisión. Existen además otras ventajas de la transmisión digital como son el aprovechar la optimización y el desarrollo de circuitos lógicos en el campo de la microelectrónica, la idoneidad de los sistemas ópticos para transmitir información en forma digital y la tendencia mundial de convertir las redes analógicas en redes digitales integradas. Todo esto nos permite concluir sin temor a equivocarnos que el modo de transmisión más conveniente para el sistema que estamos analizando es el digital.

En el capítulo IV se analizaron algunas técnicas de modulación, tomando en cuenta que nuestro sistema es de transmisión digital y considerando las ventajas de alta inmunidad al ruido, buena relación señal a ruido y alta capacidad de regeneración se sugiere utilizar la técnica de modulación en PCM para el sistema de videoteléfonos.

Por último es también muy importante evaluar las conveniencias y ventajas de utilizar sistemas de multiplexión, así para este caso se sugiere la multiplexión por división en el tiempo, por la facilidad de muestreo que tienen las señales digitales y por su eficiente regeneración en el receptor.

Ahora se presenta una lista de los parámetros sugeridos para el sistema de videoteléfonos que operará entre el hospital y clínicas,

Parámetros para la red y sistema de interconexión de videoteléfonos.

- Red en estrella.
- Longitud máxima del cable 40 Kms
- Fibra óptica monomodo de .3 dB/Km de atenuación
- Emisor laser de 1300 nm de longitud de onda
- Ancho de banda máximo de la fibra 400 MHz, el cual nos asegura una transmisión digital de audio y video de excelente calidad
- Servicios de videotelefonía y telefonía
- Multiplexión por división en el tiempo
- De 40 a 50 abonados
- Modulación de la señal en PCM
- Unidad centralizada para la conmutación

Hasta este capítulo tenemos ya definidos las necesidades y requerimientos de nuestro sistema así como el medio de transmisión, el tipo de red a utilizar y el modo de transmisión. Estos son los parámetros más importantes del sistema ya que de la correcta elección de éstos dependerá en mucho el óptimo funcionamiento del sistema. En el VI y último capítulo se definirán en forma genérica los requerimientos de lo que podríamos llamar el aparato videotelefónico, que es la parte del sistema con la cual tendrá contacto directo el usuario.

En el penúltimo inciso de este capítulo se repasaron algunos proyectos a nivel mundial en el campo de las telecomunicaciones que tienen en concepto y técnicas empleadas gran similitud con el nuestro, claro que en diferentes proporciones. La revisión de estos proyectos algunos europeos, otros asiáticos y algunos más americanos son un claro indicio de la tendencia tecnológica de las comunicaciones a nuestra época y de algún modo confirma que la propuesta del sistema de videoteléfonos que estamos tratando en esta tesis, así como los conceptos y tecnología están a la altura de la tecnología de punta a nivel mundial.

CAPITULO VI

CARACTERISTICAS PROPUESTAS PARA EL VIDEOTELEFONO.

6.1 ANTECEDENTES.

El videoteléfono se puede definir como un instrumento que convierte sonidos e imágenes en impulsos eléctricos para que éstos sean enviados a través de un medio de transmisión desde un emisor a un receptor, el cual convertirá nuevamente los impulsos eléctricos en sonidos e imágenes.

En cualquier medio de comunicación el objetivo final es transmitir información de un punto a otro con el mínimo de distorsión y la mejor calidad, al ser el videoteléfono un instrumento de comunicación debemos considerar estas dos características como requerimientos indispensables en el funcionamiento del mismo.

El videoteléfono ha dejado de ser el sueño futurista que todos nos imaginamos cuando vemos películas de ciencia ficción para representar hoy en día la tecnología de punta en el sector de las telecomunicaciones, campo que ha tenido un acelerado desarrollo en los últimos años, apoyado por el también acelerado desarrollo de la electrónica.

Fue hace muchos años (en 1964) cuando la compañía A.T.T. (American Telegraph and Telephone) lanzó en la Feria Mundial de Nueva York el videoteléfono como una propuesta de un innovador desarrollo dentro del campo de las telecomunicaciones, pareciendo presagiar el inicio de la era de la electrónica y las comunicaciones.

Durante los siguientes 20 años se han hecho intentos de desarrollar un videoteléfono con las características tecnológicas y de costos que satisfagan los requisitos del mercado, pero hasta hoy este objetivo no se ha alcanzado y comercialmente no se ha logrado mucho. Hoy en día la historia es diferente pues contamos actualmente con los medios tecnológicos y de estructura necesarios para desarrollar e introducir el servicio de videotelefonía.

En los últimos cinco años el desarrollo de la industria electrónica, de la tecnología de las fibras ópticas, la digitalización de las redes telefónicas y la tendencia a la creación

y estandarización de una Red Digital de Servicios Integrados, han puesto los medios y la pauta para el definitivo desarrollo del videoteléfono.

El uso del videoteléfono en empresas y negocios es el primer objetivo que las compañías de telecomunicaciones se han fijado ya que los beneficios económicos comercialmente hablando son muy grandes. La posibilidad de enviar señales digitalizadas, codificadas y comprimidas de audio y video a través de un cable telefónico que permite transmisiones de 56 kb/s, es el factor que ha permitido llegar a una transmisión de un costo relativamente bajo con una buena calidad, lo cual significa haber salvado los obstáculos técnicos y económicos que impedían el amplio desarrollo del videoteléfono.

Ninguna compañía se ha aventurado a pronosticar de que dimensión es el mercado potencial del videoteléfono, pero pensando en la posibilidad de instalar un videoteléfono en cada oficina de cada empresa es fácil imaginar que el potencial es enorme. Los impulsores más entusiastas del videoteléfono están pronosticando un rápido desarrollo gracias a una reducción del costo del equipo y de la transmisión, esto debido a una precipitada caída de los precios de los componentes por fabricarse éstos con tecnología de larga escala de integración, por los avances logrados en las técnicas de transmisión y por producciones en grandes volúmenes. Con esto podríamos tener en poco tiempo videoteléfonos en cada casa, tal vez en 10 años el tener un videoteléfono en casa sea tan común como tener una televisión.

Existen sin embargo opiniones no tan favorables, éstas no desean estar dentro de algunos años bajo la presión de la tecnología y la mercadotecnia para crearles la necesidad de tener el juguete electrónico de moda.

El hecho es que el avance de la tecnología impulsa los nuevos desarrollos y así después de tener disponible la tecnología para transmitir señales de audio y video a 56 kbit/seg por una línea telefónica, compañías telefónicas como ATT en Estados Unidos y KDD y NTT en Japón están ofreciendo este nuevo servicio digital al público y aún más, están también ya determinadas las tarifas para el uso de este nuevo servicio.

Como nos podemos dar cuenta por estas referencias y por algunas otras presentadas en los capítulos I y V, el videoteléfono es una realidad la cual puede aportar muchos beneficios a la sociedad, sobre todo en estos días en el que el valor de la información y el conocimiento son cada día mayores.

Es en este último capítulo donde se describirá más específicamente en que consiste el equipo de videotelefonía, el cual es el último aspecto que falta tratar dentro del sistema de intercomunicación por videotéléfonos.

6.2 EL EQUIPO DE VIDEOTELEFONIA.

Considerando que dentro de los planes de las compañías de servicio de telefonía, está el proveer circuitos digitales de 56, 64 y 144 kbits/s y en el futuro de crear una red digital de servicios integrados, el desarrollo de aparatos de videotelefonía es una necesidad y hoy en día es una realidad.

Aún hoy se sigue trabajando para desarrollar equipos terminales de videotelefonía de alta calidad, bajo costo y de simple y eficiente operación. Ya se tienen equipos terminales pero se siguen buscando mejoras en algunos aspectos como el costo, el consumo de potencia y algunos algoritmos de compresión y codificación de las señales. Este proceso de optimización ha sido presionado y acelerado por la pronta implementación de la RDSI.

Es así como Institutos de Investigación han desarrollado algoritmos de codificación, las compañías telefónicas han contribuido para la creación de las redes de telecomunicación y los fabricantes de equipo terminal han trabajado con las empresas manufactureras de circuitos integrados para reducir el costo de los equipos hasta niveles accesibles al público.

Partiremos del hecho que se tienen que dar las siguientes características en la terminal del videotéléfono:

- Podrá ser usado para integrarse a una RDSI.
- Deberá tener la flexibilidad de operar con canales digitales de 56 y 64 kbits/s. (Para el caso del continente americano se tiene pensado utilizar el canal de 56 kbits/s).
- El equipo será utilizado en habitaciones sin acústica y luz apropiada.

La figura 6.1 muestra un diagrama de bloques simplificado del circuito multiplexor codificador de videotelefonía. Los datos codificados que provienen del audio y video son

multiplexados en un canal de 40 kbits/s, mientras que la señalización, datos de control y algunos otros datos serán multiplexados en un canal de 16 kbits/s, la velocidad del total de señales será de 56 kbits/s.

El gran avance de este equipo es la capacidad para integrar las señales de voz, datos, control, imagen dinámica de video, y señales de imagen estática de video de alta resolución en un solo canal de 56 kbits/s, el cual lógicamente tiene grandes ventajas de costo en comparación con los sistemas de dos canales, de 64 kbits/s uno para audio y otro para video. Mucho tiene que ver el algoritmo de compresión de la señal de video, el cual comprime la señal de 100 Mbits/s a 44 kbits/s.

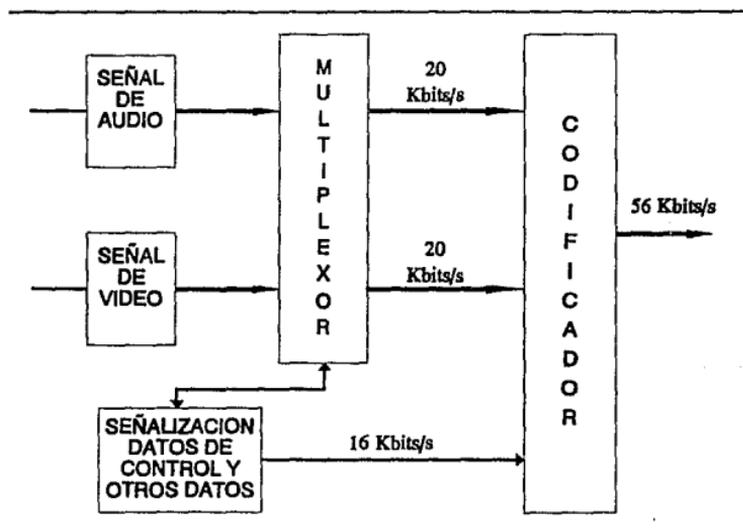


FIGURA 6.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TERMINAL DE VIDEOTELEFONIA

Existen también algoritmos y circuitos codificadores para transmitir señales de videotelefonía a 144 kbits/s, 128 kbits destinados para transmitir las imágenes y 16 kbits para las señales de audio y control. El relativamente alto número de bits para las señales

de imagen redundará en una mejor calidad de la misma, lo cual es conveniente para aplicaciones como la de nuestro proyecto de intercomunicación de hospitales y clínicas.

Regresando al diagrama de bloques de la figura 6.1 el codificador de audio es el codificador de voz de banda ancha recomendado por la CCITT. El algoritmo codificador trabaja en base a una codificación de ADPCM.

Las terminal de videotelefonía propu esta para operar en el sistema de videotelefonía que enlazará a el hospital y clínicas es el desarrollado por la compañía Bell y es el "Bell System Picture-phone" el cual es una impresionante pieza de la ingeniería electrónica moderna.

En esta terminal que cumple con los requisitos necesarios para operar en nuestro sistema de videotelefonía el usuario tendrá los siguientes componentes ; primero está un teléfono digital convencional el cual tiene 12 teclas, después el monitor del videoteléfono, una cámara, un micrófono, una bocina y por último la unidad de control la cual contiene las perillas de ajuste de la imagen del monitor y del sonido de la bocina. Separada de estos componentes está otra unidad de control y alimentación la cual contiene la fuente de energía para la alimentación del aparato terminal y los componentes de interfase de la misma. Esta unidad de control y alimentación generalmente estará fija a la pared junto a la caja de conexión de la línea y por lo tanto separada de lo que es en sí el equipo terminal de videotelefonía.

Entre las particularidades que puede tener este equipo terminal está la facilidad de no tener que sostener un auricular para hablar sino que el usuario podrá tener una conversación a manos libres y con libertad de movimientos. Otra característica es que el monitor está sobre una base la cual tiene una articulación que permite girar el monitor hasta 360°. La pantalla mostrará 30 cuadros por segundo, cada cuadro compuesto por 250 líneas. Sin embargo las líneas están interlazadas, las nones con la imagen de ese instante y las pares con las del siguiente cuadro para así obtener una relación de fluctuación de 60 veces por segundo, lo cual hace que el fenómeno de fluctuación prácticamente no sea notado por el ojo humano (como en la televisión).

En una comunicación en persona la conversación es cara a cara y los interlocutores la mayor parte del tiempo se miran a los ojos. El usuario del videoteléfono usualmente mirará a los ojos del usuario al otro extremo de la línea más que a la cámara y esto provocará que aparentemente el usuario está mirando a otra parte. Para minimizar este inconveniente el lente de la cámara se sitúa justo arriba de la pantalla, esta posición es la

más cercana a los ojos de la persona que mira la pantalla, con lo cual en el monitor se observará a una persona mirando un poco abajo, que es una posición normal durante una conversación.

El lente de la cámara del videoteléfono tiene un ángulo de visión de 53 grados aproximadamente, este lente está a menos de 30 cm arriba del escritorio o mesa, lo que permite una visión natural de la cara de la persona sentada en el escritorio. Si la persona está un metro alejada del videoteléfono el campo de visión normal será de 45X40 cm, que es suficiente para darle a la persona libertad de movimiento de un lado a otro. La unidad de control sin embargo tiene una perilla para ajuste de tamaño, mediante esta perilla se puede expandir el campo de visión hasta 72X66 cm. Con este campo de visión se puede lograr que se vean más de una persona en el monitor.

La perilla de tamaño de visión servirá entonces para fijar la distancia de visión y ésta podrá ser fijada a 0.5, 1 o 10 metros. En la distancia de 10 metros se podrán distinguir pizarrones, escritorios, personas de cuerpo entero etc. En la distancia de 0.5 metros se podrán tener vistas de documentos, gráficas, fotografías y objetos pequeños dentro de un campo de visión de 14X12 cm.

El diafragma del lente se ajusta automáticamente a las condiciones de luz de la habitación donde se encuentre el videoteléfono. La potencia de la señal de video actúa como un exposímetro y fotómetro, pero las partes superior e inferior de la toma no se considerarán para esta medición, esto se hace para evitar lecturas erróneas por la posible brillantez de las luces de la habitación y por la ropa blanca o muy clara del usuario. El diafragma tiene un mecanismo diseñado para trabajar libre de fricción y esto es para evitar al igual que en muchos otros componentes del videoteléfono el tener que incurrir en gastos frecuentes por ajuste o mantenimiento del equipo.

Cuando el diafragma está completamente abierto un circuito automático de ganancia actúa y hace posible utilizar el videoteléfono en lugares con poca luz. Sin embargo la calidad de la imagen es mejor con una adecuada iluminación y también la difusión de la imagen es mejor con tomas donde el diafragma no esté completamente abierto.

La parte de audio del equipo terminal de videotelefonía es muy similar sino es que casi igual a la de los teléfonos actuales por lo que su conocimiento y funcionamiento lo damos por entendido.

Las principales características de un equipo terminal de videotelefonía como el descrito anteriormente son las siguientes:

Ancho de banda	1 MHz
Tamaño de la pantalla	14X12 cm
Cuadros por segundo	30
Número de líneas por cuadro	250
Distancia normal de visión	1 mt
Area normal de visión	De 45X40 cm a 72X66 cm
Area para acercamientos	14X12 cm
Velocidad de transmisión	De 56 a 64 kbits/s.

6.3 FUNCIONAMIENTO DEL VIDEOTELEFONO.

Una comunicación por videoteléfono se iniciará en el equipo terminal en la misma forma como se inicia hoy una llamada común en un teléfono excepto que el botón " # " deberá oprimirse antes de marcar el número telefónico convencional. El incluir el símbolo # dentro del número telefónico será indicador de que se trata de una comunicación hacia un videoteléfono.

El resto del número telefónico será el número convencional de la persona, área o institución a la que se quiera llamar. Si el subscriptor al que estamos llamando no tiene como equipo terminal un videoteléfono, su teléfono timbrará normalmente y en la pantalla del videoteléfono emisor de la llamada aparecerá una indicación mostrando que el equipo terminal receptor no es un videoteléfono. De igual modo en el caso de llamar de un teléfono convencional a un videoteléfono, en la pantalla del equipo receptor aparecerá la indicación de que la llamada se hace desde un teléfono convencional.

Esta facilidad de poderse comunicar desde un teléfono convencional a un videoteléfono y viceversa, traerá consigo una especie de presión social en el entendido de que los usuarios que aún no tengan un videoteléfono tratarán de adquirirlo para pertenecer a un estatus determinado de la sociedad.

Continuando con la descripción de cómo sería la comunicación y funcionamiento del videoteléfono diremos que el timbre de la terminal receptora de una llamada videotelefónica será de un tono distintivo. La persona a la que se hace la llamada descolgará el auricular y la imagen de su interlocutor aparecerá en la pantalla, es preciso indicar que el aparato terminal también tendrá la modalidad de que los interlocutores se puedan comunicar a manos libres, es decir que accionando un botón se activará el micrófono y la bocina para poder hablar sin necesidad de tener el auricular pegado al oído y boca. Así mismo entre otros controles el aparato terminal tendrá una perilla para ajuste del volumen de la bocina de la función de manos libres.

Entre otras de las facilidades del equipo terminal de videotelefonía están las opciones de ajuste de la imagen, con este control el usuario podrá ajustar a su gusto el tamaño, contraste y brillo de la imagen. El usuario también podrá ajustar la toma de su propia imagen, es decir la imagen de la cámara de su videoteléfono que es la que se transmite para posteriormente ser recibida por el aparato receptor. Las características que se pueden ajustar de la propia imagen son el tamaño, la altura y la distancia, para hacer estos ajustes el aparato tendrá una perilla que al accionarla aparecerá en nuestro monitor la imagen que esté transmitiendo nuestro videoteléfono y teniendo la posibilidad de observar nuestra propia imagen la podremos ajustar.

Una ventaja del aparato videotelefónico es la posibilidad de elegir si queremos o no que nuestra imagen sea transmitida, esta opción es útil porque puede existir el caso en que sea conveniente el entablar una comunicación solo auditiva y no una auditiva y visual.

Todas las facilidades que tienen los teléfonos actuales se podrán tener en el aparato videotelefónico. Algunas de estas facilidades son las memorias, extensiones secretariales (con o sin monitor), numeración abreviada, rellamado automático, posibilidad de conectarse a un conmutador etc.

Todas estas funciones y facilidades del equipo terminal de videotelefonía tienen una gran importancia y utilidad para su uso en la intercomunicación entre el hospital central y las clínicas de apoyo. Por ejemplo uno de los casos ya comentados es el de la comunicación entre el laboratorio de análisis clínicos y la sala de operaciones, esta

comunicación permite al cirujano consultar al patólogo y además le permite la consulta de alguna placa o de algún análisis clínico, y de igual manera le permite a un patólogo observar alguna lesión o padecimiento del paciente en operación, todo esto con la grandísima ventaja de no tener que salir o entrar a la sala de operaciones y tener la información disponible en un mínimo de tiempo.

Esta misma aplicación de comunicación audiovisual se presenta cuando el cirujano necesita consultar una placa de rayos X del laboratorio de radiología para realizar algún trasplante o continuar con su cirugía.

Para consultar la placa de rayos X se enfoca la cámara del videoteléfono sobre esta placa, se comprueba que la imagen esté bien enfocada por medio de la opción de observar la imagen que se está transmitiendo, así la imagen de la placa se transmite al videoteléfono de la sala de operaciones, aún más también el cirujano podrá consultar verbalmente al técnico de radiología para cualquier duda o comentario y en caso necesario pedir un acercamiento de cierto punto de la placa de rayos X para alguna consulta muy específica.

Así como este ejemplo existen muchos y por esto aseguramos que las posibilidades de uso del videoteléfono en el hospital y clínicas son muy grandes, y serán cada día más con el desarrollo de todas las técnicas modernas de la medicina como son la fluoroscopia, exploración infrarroja, las técnicas ópticas de diagnóstico y análisis, la tomografía etc...

Las ventajas de una comunicación completa (visual y auditiva) aunadas a la velocidad en que se puede obtener la información no importando distancia, lugar y hora, hacen del uso del videoteléfono en hospitales y clínicas una ventaja que puede ser la diferencia entre la vida y muerte. Algunos ejemplos más de aplicaciones en hospitales y clínicas son los que se mencionaron en el capítulo II.

6.4 PROPUESTA DE ALGUNAS BASES EXPERIMENTALES PARA EL DESARROLLO DE NORMAS.

6.4.1 Introducción.

Expresándose sencillamente se podría decir que el objetivo de una norma que fije bases para el desarrollo de la videotelefonía, es el asegurar que la comunicación entre dos

videotéfonos permita que los interlocutores se vean y se escuchen de tal forma que tanto su comunicación verbal como corporal sea entendida por cada uno de ellos.

La noción de ver lo que está sucediendo en algún lugar distante por medio de señales eléctricas transmitidas a través de alambres es tan vieja como el teléfono mismo. De hecho los primeros trabajos de la televisión estuvieron dirigidos hacia un servicio de alambreado visual de punto a punto. Aun cuando la televisión se desarrolló como un servicio de difusión, ésta trajo consigo la mayor parte de la tecnología necesaria para hacer técnicamente factible el servicio visual telefónico. Sin embargo económicamente las técnicas desarrolladas para la televisión son en muchos aspectos inapropiadas para el servicio de videotelefonía.

Como fue mencionado anteriormente, la estación de abonado debe estar equipada con una cámara, un receptor y equipo sonoro, todo esto integrado de tal forma que asegure una gran durabilidad y seguridad, además se debe considerar que esta terminal en un inicio será manufacturada en cantidades relativamente modestas; esto sugiere un costo por equipo de varias veces el de un receptor de televisión en el hogar. El abonado necesita de un canal de comunicación privado y en dos sentidos pero los sistemas actuales de cable de corta distancia usados para la televisión son costosos, especialmente en la etapa inicial en la cual el desarrollo del sistema es apenas incipiente, y la opción de una transmisión de videotelefonía similar a la transmisión por microondas de la televisión actual tiene un costo prohibitivo.

Como conclusión a esta breve introducción podemos decir que los aspectos claves del diseño y de la implantación de un sistema de videotelefonía giran alrededor de cuestiones sobre costos. Por esta razón es de gran importancia que al establecer una serie de normas que rijan el desarrollo de la videotelefonía, nos propongamos que estas normas aseguren una adecuada intercomunicación visual y auditiva, pero que no exijamos una calidad en el servicio mayor a la necesaria, pues esto puede repercutirnos en grandes problemas de costos. Otro aspecto importante es que al desarrollar las normas se debe tratar de asegurar un servicio de videotelefonía para el presente, pero también para el futuro, considerando como limitante el aspecto costos.

6.4.2 Principales consideraciones para el servicio de videotelefonía.

Los factores subjetivos que comprende el establecer las normas de video son suficientemente complejos, por lo que no se dispone de una teoría extensa. Así pues el

valorar los factores económicos y técnicos tiende a cada paso a requerir también de pruebas subjetivas. Aún más una vez que se haya establecido tentativamente una serie de normas, se deberán probar éstas bajo condiciones reales con el objeto de comprobar la eficacia general y la utilidad del servicio que ellas definen.

Los inicios de las bases experimentales para las normas sobre videotelefonía se efectuaron en los Laboratorios Bell, en el año de 1956 se iniciaron algunos estudios encaminados a la definición de las características del equipo de abonado, experimentos sobre métodos eficientes de coordinación digital de la señal de video y sobre normas que caracterizan la señal de video susceptible a ser codificada.

Alrededor de 1960 se creó una definición inicial del servicio utilizando una señal de video de 0.5 MHz que podría ser transmitida y conectada a costos aceptables. Se creó el primer aparato de videotelefonía para abonado y se instaló una red de ocho estaciones interconectadas, posteriormente esta red fue puesta en exhibición en la citada Feria Mundial de Nueva York.

En 1965 se instalaron terminales videotelefónicas de abonado en 28 oficinas de los Laboratorios Bell en Nueva Jersey, así mismo se llevo a efecto una prueba de funcionamiento en las oficinas de la Union Carbide Corporation en Nueva York y Chicago, esta prueba se realizó instalando una red de 35 estaciones de abonado donde se monitorearon algunas de las características de la operación del videoteléfono.

Sobre la base de los resultados de estas pruebas y de experimentos continuos de laboratorio y también estudios económicos, se establecieron en 1966 normas para un equipo mejorado de videotelefonía llamado Modelo II de los Laboratorios Bell. Redes experimentales con este equipo de abonado se instalaron en oficinas de la Westinhouse Corporation en Nueva York y Pittsburg en 1969 y en oficinas de la American Telephone and Telegraph y Western Electric Companies también en Nueva York.

En base a los resultados de estas pruebas se determinó que en vista del costo tan alto de la transmisión de televisión, sería derrochador el pensar en considerar estas normas para la transmisión de las señales de videotelefonía. La posibilidad de usar menos líneas de exploración y menos ancho de banda es perfectamente viable. Con un adecuado mantenimiento del equipo y claro también del cable de transmisión, la calidad de la imagen puede mantenerse dentro del objetivo. La posible reducción del ancho de banda también está limitada por una resistencia del ser humano a percibir imágenes muy borrosas y vacilantes. Sin embargo y esto es de mucha importancia, el ancho de banda disponible para

el sistema de videotelefonía debe ser lo suficientemente grande con el objeto de proporcionar una capacidad de completo movimiento, adecuado por ejemplo para leer los labios y con una resolución suficiente para lograr una imagen natural de la cara.

La mayor parte del realce visual de la comunicación videotelefónica requiere solo de una imagen monocromática; sus elementos son sonrisas, gestos, muecas, expresiones de diversión o de compasión. Existen valores adicionales en la naturalidad de una imagen transmitida a color, pero éstos no se han juzgado suficientes para encarecer o retrasar la implantación de estos servicios hasta que puedan ser económicamente atractivos. Pero sí se sugiere el considerar los sistemas de transmisión y recepción para utilizar en el futuro sistemas a color.

Al establecer las normas para obtener imágenes visuales plenamente adecuadas a un costo mínimo, los parámetros de video tales como el número de líneas de exploración, resolución y el grado permisible de deterioro de la imagen, son de importancia primaria ya que determinan los costos de los sistemas de transmisión. Estos requerimientos deben ser evaluados en términos de una configuración de terminal de abonado más específica, particularmente respecto a reconocer la distancia, tamaño de la imagen y proporción y aspecto de ésta.

Para continuar con la discusión de las normas veremos ahora la configuración de la terminal de abonado. Dado el requerimiento inicial de que el equipo se diseñe para ser usado en el espacio que proporciona un escritorio o mesa, existen algunas restricciones que deben ser consideradas.

Para que ambas partes de una conversación videotelefónica disfruten de un intercambio visual normal, deberán de poder verse uno a otro a los ojos. Esta necesidad puede ser satisfecha de dos formas; la primera es colocando la cámara atrás de un espejo semiplanteado el cual refleja la imagen del tubo de exhibición para que pueda ser así vista por el usuario al mismo tiempo que realice una toma de su cara, la segunda es posicionando la cámara en la parte superior del monitor tal como se explico con anterioridad.

La proporción de la distancia de la visión y del tamaño de la pantalla está relacionada en mucho al número de líneas de exploración y a la resolución horizontal, y de hecho a muchas otras normas de calidad de la imagen. Esto es debido a que el usuario quiere estar suficientemente cerca como para ver todo detalle útil de la imagen, pero suficientemente lejos como para que la estructura lineal y otros efectos visuales resultantes

del proceso de escudriñamiento, no le molesten. En la aplicación de videotelefonía la distancia de la visión tiende a ser la variable independiente dejando que el tamaño de la imagen y las normas de exploración puedan ser seleccionadas según el costo del ancho de banda de la transmisión.

Debido a que el servicio de videotelefonía debe operar en los espacios relativamente pequeños en los que se usa el teléfono, la distancia visual disponible está limitada. Para un escritorio de una medida ordinaria una distancia mayor de aproximadamente 1.4 metros es inconveniente. Aun ésta es muy grande para muchas situaciones telefónicas. Así también las distancias visuales más cortas tienden a degradar la imagen obtenida por la cámara, la cual debe localizarse tan cerca de la exhibición como sea práctico. Tales alcances cortos de la cámara tienden a introducir efectos de distorsión por la perspectiva. Un alcance corto de la cámara priva también al usuario de la libertad para hacer movimientos normales hacia adelante y hacia atrás. Un usuario que se inclina 0.3 metros hacia adelante de un alcance normal de 0.9 metros, puede transmitir una imagen todavía aceptable, pero se ha encontrado que el efecto de moverse de 0.6 metros a 0.3 metros es casi grotesco.

Un alcance de la cámara más largo reduce también la altura a la cual se encuentra situada la cámara y por lo tanto nos lleva a requerir un aparato más compacto. Ya que la cabeza debe aparecer cerca del centro de la imagen la cámara debe de estar localizada ya sea cerca del nivel de la cabeza o estar inclinada hacia arriba o hacia abajo según su localización. El inclinar la cámara tiende a introducir luces superiores o inferiores en la imagen y si se lleva a un extremo, hace que las paredes y libreros parezcan estarse inclinando hacia atrás y produce también una vista distorsionada de la cara.

Debido a que estos factores han sido confirmados por las experiencias obtenidas con el equipo desarrollado por los Laboratorios Bell, se ha seleccionado una distancia de 0.92 metros con el objeto de colocar el instrumento lo mas lejos que sea posible, teniéndolo en el escritorio o mesa en la que trabaje o se siente el usuario. Esta norma se ha verificado a través de las varias pruebas a las que han sido sometidos los dos equipos modelo.

La selección del tamaño de la imagen es algo más complicada. Un factor primario es la conveniencia de un aparato compacto para el abonado. Sin embargo si la reacción estética o psicológica del usuario es que la imagen es demasiado pequeña (debido a la distancia de visión propuesta y al tamaño del aparato), se puede presentar el caso de que el mismo usuario trate de compensar el tamaño de la imagen acercándose hacia la cámara lo cual redundaría en un deterioro de la propia imagen captada por la cámara y de la apreciación de la imagen que él observa en su monitor.

Un límite superior al tamaño de la imagen se impone por el hecho de que el escritorio se usa también para otras actividades. Parece ser sin embargo que las preferencias estéticas restringen el tamaño de la imagen más de lo que lo haría el tamaño del escritorio o mesa. Se encontró que se preferían alturas de la imagen variando de 0.14 metros a 0.16 metros en distancias visuales de 0.66 metros a 1.07 metros.

Para estas pruebas se utilizó una imagen de 525 líneas y las preferencias de altura obtenidas están por lo tanto basadas en las preferencias estéticas más que en una buena visibilidad de la imagen en la pantalla por efectos del escudriñamiento. En pruebas realizadas con imágenes con un ancho de banda limitado, se encontró que con una imagen de 245 líneas y con una altura de 0.20 metros las personas consideraron demasiado cercana una distancia visual de 1 metro, mientras que con una imagen de 0.15 metros y con el mismo número de líneas la distancia de 1 metro fue enteramente satisfactoria.

La altura de la imagen deberá ser escogida para poner la información transmitida a completa disposición de una persona con una visión normal. El observador tiende a aproximarse a la imagen hasta que la estructura de exploración se vuelva suficientemente entremetida de manera que no represente ninguna ventaja el acercarse más. A través de las varias pruebas y estudios realizados por el equipo de investigadores de los Laboratorios Bell, se decidió que la altura óptima de la imagen de un videoteléfono es de 0.13 metros.

La selección de la altura de la imagen no puede estar enteramente divorciada de la selección de la relación del ancho al alto del cuadro de imagen. Los estudios sobre la relación preferida del ancho al alto del cuadro para una vista de cabeza y hombros, arrojaron una relación de 3:4 entre el ancho y el alto, esta misma relación es la utilizada en la mayoría de los monitores de T.V., aunque también es común una relación de 1.1:1. Esta última relación proporciona una libertad de movimiento adecuada para el usuario y también es económica en cuanto al ancho de banda.

Es necesario también considerar dentro de los requerimientos del aparato de videotelefonía, los controles y funciones del propio aparato, así en una llamada videotelefónica el auricular no solo es una obstrucción visual ocultando partes importantes de la cara, sino que también entorpece el movimiento de las manos, interfiriendo con los gestos normales y con la manipulación de los objetos a ser exhibidos. Por esta razón se consideran esenciales un micrófono y un altavoz para cada aparato terminal. Es necesario también considerar que el auricular debe estar disponible para aquellas ocasiones en que la privacidad o el ruido del ambiente hacen indeseable o menos práctico el uso del altavoz.

Otras de las funciones que deben considerarse como un requisito del aparato videotelefónico es la autovisión. En el caso de los nuevos usuarios el empleo de esta facilidad deberá ser típicamente alto durante los primeros meses de uso, ya que no tienen la confianza todavía en el uso del aparato y en las imágenes que éste transmitirá, por lo tanto supervisará frecuentemente la imagen para ver si se encuentra adecuadamente encuadrado.

6.5 ALGUNOS ASPECTOS SOBRE LOS COSTOS Y COMERCIALIZACION DEL VIDEOTELEFONO.

El tema de costos y de comercialización si bien no se aplica totalmente al proyecto que se desarrolló pues no es objeto de este trabajo el comercializar el videoteléfono, se mencionará porque es de mucho interés conocer otras posibles opciones de diseño de la red de servicio, y además como una referencia para futuros trabajos relacionados con este tema.

Curiosamente el videoteléfono es un desarrollo que empezó sin haber tenido una investigación de mercado adecuada. Muchas personas durante la presentación del videoteléfono en la Feria Mundial de Nueva York fueron entrevistadas para saber si era de su agrado el poder ver la imagen de su interlocutor durante una llamada telefónica, y casi todas las personas opinaron que sí sería de su agrado, pero a nadie le preguntaron si compraría un videoteléfono con un costo "x" por el aparato y el servicio.

El costo en la ciudad de Chicago a principios de los años 70's era de \$50 dólares por mes por uso de una línea de videoteléfono (este costo incluía el uso de 30 minutos al mes del videoteléfono) y \$25 dólares por mes por uso del aparato videotelefónico. El cargo por uso de cada minuto después de los 30 primeros era de 0.15 dólares por minuto. Es conveniente comentar que estos costos eran promocionales por la introducción de este servicio y que poco más tarde y en muchas otras ciudades de los Estados Unidos el costo sería del doble al mencionado anteriormente.

A fines de los años 60's la compañía telefónica americana ATT pronosticó que para 1980 el 1% de todos los teléfonos de uso doméstico en los Estados Unidos serían cambiados por videoteléfonos y en el caso de los teléfonos de uso en negocios el pronóstico era de el 3%, esto es que en términos generales para 1980 en Estados Unidos el 1.5% de todos los teléfonos tendrían el servicio de videotelefonía. Estos pronósticos serían revisados

en 1973 y para entonces se esperó que en 1980 habría en Estados Unidos medio millón de videoteléfonos en servicio. Inicialmente la comercialización del videoteléfono aún con los precios de promoción fue un fracaso, pero se pensó que con los nuevos desarrollos tecnológicos el costo del videoteléfono se reduciría substancialmente y que los pronósticos de venta podrían ser alcanzados.

Para 1975 el costo del servicio de videotelefonía seguía siendo 10 veces mayor al del teléfono convencional. En los años siguientes esta relación cambio debido al desarrollo y uso de las líneas digitales, el desarrollo de los circuitos lógicos y las técnicas de compactación y codificación de señales, entonces la relación paso a ser de 6 a 1.

Todavía se ha trabajado aún en el desarrollo de un servicio de videotelefonía más competitivo y se han logrado avances significativos sobre todo reduciendo el ancho de banda y aumentando la velocidad de transmisión de señales digitales, esto junto con el desarrollo que en los últimos años se ha dado en la Red Digital De Servicios Integrados, la total compatibilidad del videoteléfono con esta red y el enriquecimiento de las funciones del videoteléfono moderno (en el cual como se ha mencionado con anterioridad ya no solo se puede ver la imagen del interlocutor sino que además se pueden ver imágenes de documentos e información gráfica) han permitido que para un futuro muy cercano el costo de este servicio sea de un poco más del doble que el del teléfono normal, lo cual considerando las muchas ventajas del servicio de videotelefonía no se encuentra fuera de la realidad.

Con estos últimos avances en la tecnología del servicio videotelefónico y ante una época donde la importancia de contar con información oportuna y de calidad puede significar mucho dinero, el uso del videoteléfono cobra especial interés, sobre todo en un inicio en áreas como las empresas de servicios y en los negocios en general.

Algunos especialistas en telecomunicaciones afirman que estos días son el mejor momento histórico para que finalmente el videoteléfono se desarrolle a gran escala y esto se debe a que el sistema telefónico actual tiene grandes deficiencias técnicas, de servicios y limitantes para su expansión. Y no solo el servicio telefónico convencional tiene grandes necesidades, también existe una gran necesidad de facilidades para la transmisión de datos. Estas necesidades y la introducción de la RDSI son algunos de los factores y requisitos que permitirán la mencionada expansión del servicio de videotelefonía.

Existe también una tendencia más conservadora para el desarrollo del servicio de videotelefonía, esta tendencia trata de aprovechar la capacidad ya instalada de telefonía y

adaptarla y complementarla para el servicio del videoteléfono. Bajo esta filosofía el teléfono convencional es utilizado para establecer las llamadas, las funciones de control de la red y las señales utilizadas para el llamado son básicamente las mismas que en la telefonía convencional. Lo que se debe agregar es el cableado para la transmisión bidireccional de las señales de video (el cual deberá estar integrado en la red ya existente) y además todas las señales y dispositivos de control y conmutación propias del videoteléfono.

Para las funciones de conmutación de este tipo de red de videoteléfonos se diseñó una pequeña unidad de conmutación la cual también se añadirá a la red de telefonía actual. Esta unidad controlará la transmisión de las señales de video en los cables que se agregarán para este propósito. Las señales de telefonía serán conmutadas en la misma forma como lo hace hasta ahora el equipo actual y la conmutación de las señales de video funcionará en forma paralela a ésta.

La tendencia expuesta ha sido pensada buscando minimizar el aspecto de costo de este nuevo servicio y los trastornos al servicio telefónico ya existente, pero principalmente dando una opción realmente factible para aquellas aplicaciones donde la justificación tecno-económica es difícil de alcanzar, como por ejemplo es el caso del uso del videoteléfono en el hogar.

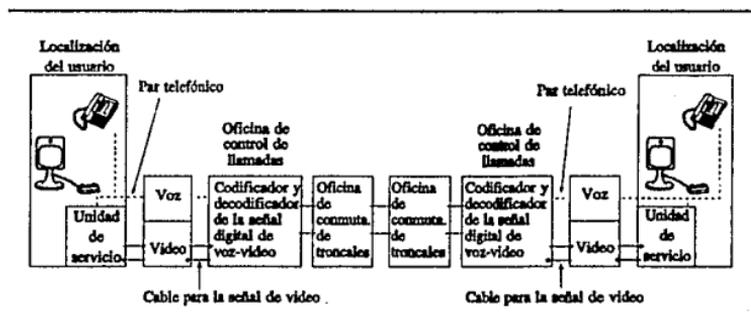


FIGURA 6.2 DIAGRAMA DE BLOQUES QUE ILUSTRAS CÓMO PODRÍA INTEGRARSE EL SERVICIO DE VIDEOTELEFONÍA A LA RED ACTUAL.

Cuando el prefijo # sea marcado junto con el número telefónico, indicará que se está haciendo una llamada videotelefónica y esto provocará que el conmutador de video entre en operación en paralelo con la conmutación telefónica.

Si un número es marcado desde un videoteléfono y se marca también el carácter #, entonces la línea de este videoteléfono será conectada al conmutador convencional de telefonía y se mandará una señal de línea ocupada a la central de videotelefonía. Así la conmutación y transmisión del videoteléfono puede ser ingeniosamente acomodada en la red actual de telefonía.

Así resumiendo el tema de costos del servicio de videotelefonía, podemos decir que existen dos opciones para introducir el videoteléfono; una de ellas es el crear una nueva red de audio y video donde operen los videoteléfonos y una segunda opción es el adecuar y complementar la red telefónica actual para que pueda operar en ella el servicio de videotelefonía. La diferencia es en gran parte un aspecto de costos, aunque el crear una nueva red de transmisión y comunicación que puede ser la RDSI es una alternativa que tiene una justificación tecno-económica para ciertas aplicaciones actuales además que es la tendencia tecnológica que apunta hacia las telecomunicaciones de un futuro muy próximo.

6.6 IMPLICACIONES DEL USO DEL VIDEOTELEFONO EN LA SOCIEDAD.

El desarrollo del videoteléfono y su posterior proyección a toda una sociedad es una gran oportunidad y a la vez un gran compromiso, un hecho muy similar a éste sucedió cuando Alexander Graham Bell y la gente que continuó su trabajo desarrollaron en 1876 el teléfono, ésta fue una labor que transformo los sistemas de comunicación lo cual ha redundado en un beneficio a la sociedad entera.

Hoy estamos ante un desarrollo que puede tener un impacto tan grande como el del teléfono, estamos ante la oportunidad de eficientar en gran magnitud las comunicaciones lo cual redundará en una mejor difusión del conocimiento, en lograr una mayor disponibilidad y oportunidad de la información, en reducir las distancias y una gran lista de ventajas resultantes de las anteriores, pero esto también es un compromiso pues existen ciertos aspectos e implicaciones psicológicas que desconocemos y que existirán en una telecomunicación auditiva y visual entre persona y persona.

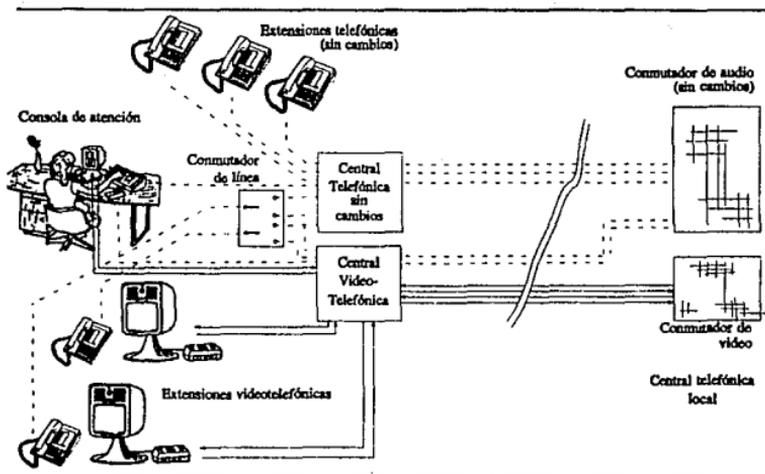


FIGURA 6.3 RED TELEFÓNICA ACTUAL ADAPTADA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL VIDEOTELEFONO.

Mucha gente la primera vez que tenga contacto con un videoteléfono se imaginará los beneficios que él y la demás gente tendrán al poder utilizar este aparato para mostrar objetos, escritos, dibujos y demás información material, pero pensará un poco más en cómo se verá la persona con la que estará hablando y cómo se verá él ante esta misma persona. Este tipo de reacciones serán muy comunes y de resultados muy diversos y aunque son naturales del ser humano, esto nos da una idea de que tan difícil es predecir como reaccionará la gente ante algo nuevo, diferente y que tal vez para algunos no sea una necesidad.

Para aquellos que la comunicación es parte importante de su trabajo, forma de vida o que significa una necesidad dentro de su desarrollo personal, encontrarán en el videoteléfono una herramienta de mucha utilidad y valor, sobre todo por las ventajas que tiene una comunicación cara a cara. Pensemos que después de que pase el impacto social del uso del videoteléfono y que podamos utilizarlo inconscientemente como un medio de comunicación sin pensar en sus peculiaridades, los interlocutores sentirán en su conversación un mayor sentimiento de proximidad e intimidad.

En una llamada videotelefónica se comunicarán también todas esas respuestas inconscientes que hacen rica la comunicación cara a cara, se podrán apreciar sonrisas, expresiones de asombro, miedo, dolor o también una inexpresión del interlocutor, es decir toda esa información extra que no tenemos en una conversación telefónica, así la segunda mejor opción después de estar presente será el realizar una llamada videotelefónica.

Claro que no todos piensan de esta manera tan entusiasta, existen algunos comunicólogos que opinan que el hacer una llamada videotelefónica tendrá implicaciones sociales y hasta podría llegar a ser penoso para algún tipo de gente el tener que recibir una llamada videotelefónica en su hogar. Algunos otros pensarán que el mantener una conversación a través de un videoteléfono será como tratar de platicar con una computadora o de hablar con un desconocido con deficiencia mental. Una reacción normal que se puede esperar es un cierto interés y entusiasmo hacia el uso del videoteléfono pero restringido por los costos del servicio, pues mucha gente pensará que es muy divertido hablar por videoteléfono pero no estarán dispuestos a pagar el costo de este servicio.

Probablemente en un inicio tendremos la tendencia de tratar de fijar la vista en nuestro interlocutor y esto en una conversación persona a persona no es una práctica común, en una conversación normal la gente mira los ojos de su interlocutor en forma ocasional, esto es una especie de ritual inconsciente durante una conversación y que será igual con el tiempo en el videoteléfono. Existirá también cierta distorsión cuando la cara de un interlocutor se acerque mucho a la cámara, esta distorsión causará que la imagen del interlocutor aparezca con algunas sombras sobre su rostro. Todas estas distorsiones tendrán algún efecto de tipo emocional pero a través del uso rutinario de este medio de comunicación, las distorsiones y emociones serán inconscientes para nosotros.

Es innegable que es todo un proyecto de investigación el estudiar los aspectos humanos de la comunicación hombre-máquina-hombre y que es un campo muy poco explorado y en consecuencia desconocido, pero esto está cambiando porque la interacción del hombre con computadoras y la comunicación del hombre con el hombre a través de medios electrónicos es cada día un fenómeno más común.

CONCLUSIONES

Después de cubrir los objetivos fijados desde un inicio en este trabajo, y de realizar un análisis del mismo, se presentan ahora las siguientes conclusiones.

- 1° Las comunicaciones juegan un papel muy importante en el desarrollo de la sociedad moderna y el grado en que se aprovechen éstas puede ser un factor decisivo para el éxito o fracaso de muchas de las actividades prioritarias de la actualidad.
- 2° Hoy en día existen una serie de requerimientos y necesidades de telecomunicación que no han podido ser satisfechas por los sistemas y recursos convencionales de que disponemos, sin embargo, ya está desarrollada la tecnología en las áreas de electrónica y telecomunicaciones que pueden cubrirlas.
- 3° Las Redes Locales Multiservicio de fibras ópticas además de los nuevos sistemas de transmisión digital, son tecnologías de punta disponibles que han demostrado sus posibles aplicaciones y sus ventajas en varios proyectos dentro de países altamente desarrollados. Estas tecnologías son factibles de utilizarse en México lo que nos permitiría primero cubrir muchas de las necesidades y problemas que en las áreas de telecomunicación padecemos hoy, y después posicionar a nuestro país dentro de los más altos niveles tecnológicos en este ramo.

Un ejemplo de esto es la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) la cual es una necesidad imperiosa que parece empezar a implementarse en México, éste es un primer paso que empieza a marcar la pauta de los próximos desarrollos en estas áreas.

- 4° La videotelefonía es una realidad hoy en nuestros días, esta tecnología tiene un gran número de aplicaciones y beneficios, además su desarrollo ya está a niveles que permiten su uso a costos razonables con lo que la justificación de su aplicación es completamente factible para ciertos usos. Es claro que falta trabajar más en lo referente a la estandarización y aspectos normativos de este servicio pero hasta en esto el avance actual es ya muy importante.

- 5° Una aplicación real y específica de la videotelefonía es el uso de este servicio como medio de telecomunicación entre hospitales y clínicas. La implementación de esta aplicación además de ser factible, se puede justificar por los considerables beneficios que tanto en el campo de lo económico como en el campo del bienestar social y en la optimización de recursos disponibles se pueden lograr. Este es un proyecto que según el análisis realizado tiene todas las posibilidades de éxito.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

- Bartee, Thomas C., Editor in Chief, Digital Communications. New York, N.Y.: SAMS, First Edition, First Printing, 1986.
- Carlson, B., Communication Systems. New Jersey, N.Y.: McGraw Hill, 1975.
- Clark, John W., Medical Instrumentation - Biomedical Engineering. New Jersey, N.Y.: Inter-University Electronics Series, McGraw Hill. Vol. 1 y 2 1973 .
- Clynes, Manfred and John Milsum, Biomedical Engineering Systems. New Jersey, N.Y.: Inter-University Electronics Series, McGraw Hill. Vol. 10 1970 .
- Feher, K., Advanced Digital Communications. New Jersey, N.Y.: Prentice Hall, 1987.
- Freeman, Roger L., Telecommunication Transmission Hand-book. New York, N.Y.: John Wiley and Sons, 1981.
- Hoenig, Stuart A. y Daphne H. Scott, Aparatos Médicos Eléctricos. New York, N.Y.: Academic Press, 1975.
- Keiser, Gerd, Optical Fiber Communications. New Jersey, N.Y.: International Student Edition, McGraw Hill, 2nd Printing, 1984.
- Lathi, B. P., Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación. Editorial Limusa México, 4a Impresión, 1983.
- Laufman, Harold, Hospital Special Care Facilities. New York, N.Y.: Clinical Engineering Series, Academic Press, 1981.
- Martin, James, Future Developments in Telecommunications. New Jersey, N.Y.: Prentice-Hall Inc., Second Edition, 1988.
- Miller, S.E. Chynoweth A.G., Optical Fiber Telecommunications. New York, N.Y.: Academic Press, 1979.

Misha, Schwartz, Information, Transmission, Modulation and Noise. New Jersey, N.Y.: McGraw Hill, 1981.

Misha, Schwartz, Telecommunications Networks Protocols Modeling and Analysis. New York, N.Y.: Addison Wesley Publishing Company, 1987.

Roth, Herbert H., Erwin S. Telscher and Irwin M. Kane, Electrical safety in health care facilities. Clinical Engineering Series, New York, N.Y.: Academic Press, 1975.

PUBLICACIONES Y REVISTAS :

Chiariglione, L., N. Dal Degan, A. D'Ottavio, y R. Poluzzi. Integration Prospects For An ISDN Visual Telephone. CH 2298-9/86/0000-0251. Proceedings of the IEEE, 1986.

Du Castel, F., G. Pays, y G. Brillet. Terminals For The ISDN Era: From Speech To Image. IEEE Communications Magazine. 25 no. 3, (March 1987.)

Elton, Martin C. J., Visual Communication Systems. Trials And Experiences. 0018-9219/85/0400-0700. Proceedings Of The IEEE, 73 (April 4, 1985.)

Finley, R. Marion Jr. Optical Fibers In Local Area Networks. IEEE Communications Magazine, 22 no. 8. (August 1984.)

Gosh, John, High-Resolution Digitized Still TV Pictures Rush Along Phone Lines. Electronics, (September 22, 1982.)

Iversen, Wesley R., Picture Phones Get A New Image. Electronics (August 19, 1985.)

Mortensen, Paul, Full-Motion Videophones Appearing in Japan. Light Wave. (July 1987.)

Prisco, John J. and Robert J. Hoss. Fiber Optic Regional Area Networks. IEEE Communications Magazine, 23 no. 11. (November 1985.)

Tsao, C. David. A Local Area Network Architecture Overview. IEEE Communications Magazine. 22 no. 8. (August 1984.)