



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO DE
COMUNICACIÓN DIDÁCTICO MEDIANTE FIBRA ÓPTICA Y SU
COMPARATIVA CON LA NUEVA INTERFAZ (FDDI) COMO
UNA RED RÁPIDA DE COMUNICACIONES**

AUTOR: EDWIN MARCELO MOREANO MELENDEZ

DIRECTOR: ING. FABIÁN SÁENZ

SANGOLQUI

2015



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO DE COMUNICACIÓN DIDÁCTICO MEDIANTE FIBRA óptica Y SU COMPARATIVA CON LA NUEVA INTERFAZ (FDDI) COMO UNA RED RÁPIDA DE COMUNICACIONES" realizado por el señor Marcelo Moreano, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos , técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor Marcelo Moreano para que lo sustente públicamente.

Quito, 20 de Diciembre del 2015

Ing. Fabián Sáenz Enderica

Director



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo Marcelo Moreano con cedula de identidad N 1717345340 declaro que este trabajo de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO DE COMUNICACIÓN DIDÁCTICO MEDIANTE FIBRA ÓPTICA Y SU COMPARATIVA CON LA NUEVA INTERFAZ (FDDI) COMO UNA RED RÁPIDA DE COMUNICACIONES" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación realizada.

Quito, 20 de Diciembre del 2015

Edwin Marcelo Moreano Meléndez

Cc: 1717345340



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo Marcelo Moreano autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la Institución el presente trabajo de titulación "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO DE COMUNICACIÓN DIDÁCTICO MEDIANTE FIBRA ÓPTICA Y SU COMPARATIVA CON LA NUEVA INTERFAZ (FDDI) COMO UNA RED RÁPIDA DE COMUNICACIONES", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Quito, 20 de Diciembre del 2015

Edwin Marcelo Moreano Meléndez

Cc: 1717345340

DEDICATORIA

Dedico con todo cariño este trabajo de titulación a mis padres Juan y Lourdes que realizaron un gran esfuerzo para que pueda finalizar mi preparación universitaria, a mi novia Cristina por darme fuerzas para no rendirme y seguir luchando por mi superación personal y a toda mi familia por siempre darme ese apoyo incondicional para culminar esta etapa en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por el cariño y la educación que proporcionaron en mí, por el apoyo cuando recibí éxitos en mi vida y por ser mi guía para luchar en los momentos difíciles durante mi proceso universitario

Al Ing. Fabián Sáenz por su ayuda y consejos para continuar en este proceso a fin de lograr mi titulación de tesis

A mi novia Cristina por ser la chispa que no dejo que desista en la culminación de mi proyecto de titulación y darme siempre sus buenas energías sobre mis tropiezos.

A mi abuelita Marina por apoyarme y motivarme en todas mis acciones para poder seguir adelante en mi vida universitaria.

A mi familia y amigos y todos los demás que no menciono pero de alguna forma hicieron que pueda llegar hasta el final y pusieron su granito de arena, gracias por toda su ayuda.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	4
1.1.1 General.....	4
1.1.2 Específicos	4
CAPÍTULO II	5
CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y LA FDDI	5
2.1 Modulo de comunicación didáctico	5
2.1.1 Elementos de un sistema de comunicación por Fibra Óptica	5
2.1.2 Transmisión de información por Fibras Ópticas.....	7
2.1.3 Fuentes y receptores ópticos.....	19
2.1.3.1 Diodos electroluminiscentes (led)	21
2.1.3.2 Diodo Laser de inyección	22
2.1.3.3 Características comparadas de los emisores	24
2.1.4 Circuitos de modulación de las fuentes	26
2.1.4.1 Circuitos de modulación analógica para los LEDs.....	26
2.1.4.2 Circuitos de modulación digital	27
2.1.4.3 Foto detectores ópticos	31
2.1.5 Empalmes y conectores	32
2.2 interfaz FDDI.....	35
2.2.1 Estándar de la FDDI	35
2.2.1.1 Ubicación del Estándar.....	36
2.2.2 Medio de transmisión.....	37
2.2.3 Formato de trama	38
2.2.4 Codificación	41
2.2.5 Métodos de acceso.....	43
2.2.6 Procedimientos complementarios de funcionamiento.....	44

2.2.6.1	Procedimiento de inicialización.....	45
2.2.6.2	Proceso de petición	46
2.2.6.3	Proceso de guía.....	48
2.2.6.4	Temporizadores en el proceso de transmisión	48
CAPÍTULO III.....	49	
CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA FDDI	49	
3.1	Tipos de Nodos.....	50
3.2	Configuraciones (conexiones) típicas	53
3.3	Dispositivos de Interconexión en redes FDDI	59
3.3.1	Dispositivos de Interconexión	61
3.4	Autoprotección contra fallas	66
3.5	Clases de servicios soportados	71
CAPÍTULO IV	75	
DISEÑO DE UN MODULO DIDÁCTICO DE COMUNICACIONES POR FIBRA ÓPTICA	75	
4.1	Criterios para el diseño de un sistema de comunicaciones por fibra óptica.....	75
4.1.1	Diseño del transmisor óptico.....	77
4.1.2	Proceso de diseño para la selección del cable de fibra óptica	81
4.1.3	Diseño del receptor óptico	83
4.2	Diseño de un canal de voz y datos por fibra óptica	92
4.2.1	Canal de voz.....	95
4.2.1.1	Captura de la señal de voz	96
4.2.1.2	Transmisor.....	97
4.2.1.3	Receptor	99
4.2.2	Canal de datos.....	101
CAPÍTULO V	106	
CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	106	
5.1	Elaboración del Módulo didáctico	106
5.2	Pruebas del Prototipo	110
5.3	Resultados.....	110
5.4	Costos	120
CAPÍTULO VI	122	
CONCLUSIONES	122	
6.1	Conclusiones	122
6.2	Recomendaciones	123

BIBLIOGRAFÍA.....124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Inconvenientes y ventajas de los LEDES	25
Tabla 2 Código empleado por FDDi.....	41
Tabla 3 Variables de temporización.....	45
Tabla 4 Conexiones de Puertos FDDI	53
Tabla 5 Costos del Hardware.....	120
Tabla 6 Costos de Ingeniería.....	121
Tabla 7 Costo total del proyecto	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de Comunicación Básico	5
Figura 2 Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones por Fibra Óptica	6
Figura 3 Modo de transmisión Simplex.....	7
Figura 4 Modo de transmisión Half Dúplex.....	7
Figura 5 Modo de transmisión Full Dúplex.....	8
Figura 6 Flujo energético modulado en amplitud	9
Figura 7 Modulación PAM. La señal se convierte en un tren de pulsos de duración W , a la frecuencia $2B$ modulados en amplitud	11
Figura 8 Modulación PMD. La señal se convierte en un tren de pulsos a la frecuencia $2B$ cuyas duraciones son moduladas	12
Figura 9 Modulación PPM. La señal se convierte en un tren de pulsos de duración W en el cual las posiciones se modulan.....	13
Figura 10 Modulación por codificación de pulsos. La magnitud de las muestras corresponde un nivel y este corresponde un número binario	14
Figura 11 Diversos tipos de codificación.....	15
Figura 12 Multicanalización por división de frecuencia (FDM)	17
Figura 13 Multicanalización por división de frecuencia (FDM)	18
Figura 14 Unión p-n en equilibrio térmico	21
Figura 15 Estructura de un LED con la fibra óptica colocada en su sitio	22
Figura 16 Cavidad resonante Fabry - Perot.....	23
Figura 17 Circuitos de modulación analógica para un LED	26
Figura 18 Driver analógico	27
Figura 19 Driver analógico con un LED en la rama de retroalimentación	27
Figura 20 Circuitos de pre polarización para un LED.....	28
Figura 21 Driver de transistor.....	28
Figura 22 Circuitos de modulación digital para un LED	29
Figura 23 Circuitos de modulación digital en alta frecuencia para un LED ...	29
Figura 24 Circuitos de modulación digital para un diodo laser. El circuito de pre polarización debe conectarse a la bobina L.....	30

Figura 25 Circuitos de control automático para la corriente de pre polarización de un diodo laser	30
Figura 26 Fusión por arco eléctrico.....	33
Figura 27 Conexión doble a base de caldeo.....	33
Figura 28 Empalme simple con Pegamento	33
Figura 29 Empalme con sección cuadrada.....	33
Figura 31 Grupo de conectores rectangulares y circulares.....	34
Figura 30 Empalme con sección cilíndrica tubo termo táctil	34
Figura 32 Relación entre FDDI y modelo OSI.....	36
Figura 35 Subcampos trama de control	38
Figura 33 Relación entre FDDI y modelo OSI.....	38
Figura 34 Símbolos J y K de SD.....	38
Figura 36 Campo de control de trama	39
Figura 38 Formato de trama para FDDI.....	40
Figura 39 Fin de la trama.....	41
Figura 37 Subcampos delimitador de fin.....	40
Figura 40 Formato del campo de estado de trama	41
Figura 41 Esquema de codificación FDDI 1) representación binaria de 1A Hex, 2) Codificación 4B/5B de 1) y 3) Codificación NRZI de 2) ...	42
Figura 42 Método de acceso a comunicación utilizado por FDDI	44
Figura 43 Diagrama de flujo procedimiento de inicialización	46
Figura 44 Diagrama de flujo proceso de petición.....	47
Figura 45 Diagrama de flujo proceso guía	48
Figura 46 Estación clase A	50
Figura 47 Estación clase B	51
Figura 48 Concentrador clase A.	51
Figura 49 Concentrador clase B	52
Figura 50 Concentrador Nulo.....	53
Figura 51 Anillo dual sin ramificaciones.....	54
Figura 52 Anillo dual con ramificaciones.....	55
Figura 53 Anillo en concentrador de enlace nulo	56
Figura 54 Conexión en doble reposición.....	56

Figura 55 Configuración no deseable	57
Figura 56 Anillo esclavo para dos nodos	58
Figura 57 Anillo esclavo para nodos múltiples	58
Figura 58 Ejemplo de configuración ilegal	59
Figura 59 Esquema de una red FDDI de gran tamaño	60
Figura 60 Capas de interconexión del modelo de referencia OSI.....	61
Figura 61 Aplicación de repetidores en una red FDDI	62
Figura 62 Redes FDDI interconectadas por puentes	63
Figura 63 Punteo entre dos redes (FDDI y Ethernet).....	64
Figura 64 Red FDDI utilizada como dorsal	64
Figura 65 Enrutamiento de información entre dos redes.	65
Figura 66 Redes interconectas a través de una pasarela.....	66
Figura 67 Implantación FDDI	67
Figura 68 Interruptores derivados (a) mecánica y (b) estado sólido óptico. Las líneas sólidas indican camino normal de la luz; las punteadas indican el camino de luz derivado y la posición de derivación del prisma.	68
Figura 69 Falla tipo 2 y su recuperación	69
Figura 70 Parámetros de Operación del derivador óptico.....	70
Figura 71 Modos de falla tipo 3 y su recuperación usando un lazo de retorno: (a) falla en NIU, (b) falla de doble enlace y (c) falla de nodo aislado.....	71
Figura 72 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para el receptor óptico.	79
Figura 73 Diagrama de flujo que muestra el proceso del diseño para la selección de fibra óptica.....	81
Figura 74 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para la selección del receptor óptico.....	84
Figura 75 Funcionamiento TOSLINK.	87
Figura 76 Tipo de Fibra Óptica para transmisión TOSLINK.....	88
Figura 77 Transmisor TOSLINK.....	88
Figura 78 Dimensiones Transmisor TOSLINK.....	89

Figura 79 Receptor TOSLINK.....	89
Figura 80 Dimensiones Receptor TOSLINK	90
Figura 81 Cable Patchcord	90
Figura 82 Transmisión Simplex.....	91
Figura 83 Circuito integrado MAX232	91
Figura 84 DataSheet MAX232	92
Figura 85 Señal de voz	95
Figura 86 Diagrama de bloques de Sistema Diseñado.....	97
Figura 87 Esquema del transmisor	98
Figura 88 Esquema del IC-741.	99
Figura 89 PCB del módulo de transmisión de señal de voz.....	99
Figura 90 Diagrama esquemático del módulo de recepción de voz.....	100
Figura 91 PCB del módulo de recepción de la señal de voz.....	100
Figura 92 Demodulador FSK – PLL	102
Figura 93 PCB del módulo de recepción de la señal de voz.....	103
Figura 95 a) Señal FSK b) descomposición en 2 señales ASK	104
Figura 96 PCB del módulo de recepción de la señal de datos	105
Figura 97 Distribución del módulo de recepción de la señal de datos	105
Figura 98 Modulo de Transmisión de Voz.	107
Figura 99 Módulo de recepción de voz.	107
Figura 100 Módulo de transmisión de datos.	108
Figura 101 Módulo de recepción de datos.....	109
Figura 102 Sistema de transmisión de voz y datos finalizado	109
Figura 103 Transmisión de datos a una velocidad de 1200b/s.....	111
Figura 104 Recepción de datos a una velocidad de 1200b/s.	112
Figura 105 Transmisión de datos a una velocidad de 2400b/s.....	113
Figura 106 Recepción de datos a una velocidad de 2400b/s	113
Figura 107 Transmisión de datos a una velocidad de 4800b/s.....	114
Figura 108 Recepción de datos a una velocidad de 4800b/s	115
Figura 109 Transmisión de datos a una velocidad de 9600b/s.....	115
Figura 110 Recepción de datos a una velocidad de 9600b/s	116
Figura 111 Transmisión de datos a una velocidad de 19200b/s.....	116

Figura 112 Recepción de datos a una velocidad de 19200b/s	117
Figura 113 Transmisión de datos a una velocidad de 38400b/s.....	117
Figura 114 Recepción de datos a una velocidad de 38400b/s	118
Figura 115 Transmisión de Voz	119
Figura 116 Recepción de Voz.....	119

RESUMEN

La presente tesis desarrolla la comparativa entre el futuro de la fibra óptica con la que actualmente podemos encontrar en el mercado. Inicialmente hablaremos sobre sus inicios y evolución así como los avances tecnológicos en cuanto a la fibra óptica y su interfaz FDDI. Para ello se realiza un análisis de la estructura de la fibra, tipos de transmisión, alcances de la fibra, radios de curvatura, tipos de conectores, etc. Estas temáticas se complementan con gráficas y fotografías a fin de tener un conocimiento más amplio previo a la comparativa de la interfaz mencionada. Los siguientes capítulos se enfocan en la construcción del módulo de comunicación didáctica que será el objeto de comparación con las nuevas tecnologías que vendrán en el futuro para la fibra óptica. Además del diseño se muestran los esquemas a utilizar para el transmisor y receptor óptico, su canal de voz y diagramas esquemáticos que serán útiles en otros proyectos a realizar. En otra fase, se realizan diferentes tipos de pruebas para comprobar que nuestro módulo de comunicación es operativo tanto en voz como en datos y se muestra con los resultados obtenidos en el programa Hyper Terminal Pro así como las ondas de voz representadas en el osciloscopio. Para finalizar, se aclara el presupuesto utilizado para dicha construcción efectuando un completo estudio sobre el estándar FDDI con lo que se concluye que la evolución de la fibra óptica es una gran solución en la era de la comunicación digital actual.

PALABRAS CLAVE:

- **FIBRA ÓPTICA**
- **INTERFAZ**
- **FDDI**
- **MÓDULO DE COMUNICACIÓN**
- **DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS**
- **HYPER TERMINAL PRO**
- **COMUNICACIÓN**

ABSTRACT

The Thesis compares the future of the optic fiber with the one we can find in the market. Initially we will talk about its beginnings and evolution, also the optic fiber technological advancement and the FDDI interphase. Therefore we do a structure analysis of the fiber, transmission types, fiber range, curvature radius, connector types, etc. These themes are completed with graphics and photography in order of getting a wider knowledge before comparing the mentioned interphase. The next chapters are focused in the didactic communication module construction which would be the comparison object with the new technologies that will come in the optic fiber future. Besides the design, it shows the optical transmitter and receiver, its voice channel schemes and schematic diagram that will be useful in other projects. In another phase, we realize different types of tests to proof that our communication module is operative with voice and with data, and it shows the results in the Hyper terminal Pro program and the voice waves represented on the oscilloscope. In conclusion, there is a clarification of the used budget for the construction mentioned before, realizing a complete study of the standard FDDI, which concludes that the optic fiber evolution is a great solution to the current digital communication era.

Key Words:

- **OPTIC FIBER**
- **INTERPHASE**
- **FDDI**
- **COMUNICATION MODULE**
- **SCEMATIC DIAGRAMS**
- **HYPER TERMINAL PRO**
- **COMMUNICATION**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El hombre siempre ha tenido la necesidad de comunicarse por medio de sonidos, el habla, la vista, etc. Con el transcurso del tiempo, el hombre ha ideado diferentes medios de comunicación con prioridad a los medios visuales y auditivos; adicionalmente, el hombre necesitó plasmar sus ideas de una manera más precisa con lo cual comenzó a comunicarse mediante dibujos y pinturas.

Esto abrió el camino a la creación de lenguajes gráficos y alfabetos dando paso a la información en papel como cartas y libros que se multiplicaron gracias al uso de la imprenta, pero ellos se hicieron varias preguntas: ¿de qué sirve tener este tipo de información si no se la puede difundir a lugares distantes?, ¿cómo avisar a tropas aliadas que vienen enemigos o que existe una epidemia en tal sector?.

Señales de humo y sonidos de tambores fueron algunos métodos para acortar distancias pero con ello surgió la interrogante de la velocidad: ¿para qué sirve saber que se acerca un huracán si no existe el tiempo necesario para evacuar la zona? Éste y muchos ejemplos más ahora en nuestra vida cotidiana juegan un papel muy importante que necesitan enviar información rápidamente.

Al comprobar que las ondas luminosas se propagan a idéntica velocidad que las de origen electromagnético surge la difusión mediante cables de material vítreo.

Si bien es cierto en la década de los 80 se dio un impulso muy importante en las redes de computadoras, esta evolución ha sido regida por

el constante incremento de las necesidades de transmitir cada vez mayores cantidades de información a mayores velocidades.

Con ello las motivaciones que surgen para la realización de esta tesis son que es un tema de mucho interés y actualidad en Quito ya que por sus características, su aplicación va en aumento.

Para finalizar lo que deseamos es seguir de cerca los desarrollos tecnológicos en el manejo de información de datos particularmente en comunicaciones basadas en fibra óptica de altas velocidades.

Justificación e Importancia

El desarrollo de esta tesis es fundamental para los futuros profesionales de la Escuela Politécnica del Ejército ya que mediante ella resaltamos el desarrollo, capacidad y estudio de nuevas aplicaciones que pueden servir para la sociedad en la que vivimos, además del impacto tecnológico que tendrán sus nuevos proyectos en nuestra vida cotidiana.

Si bien es cierto con el desarrollo de la tecnología, las vías de transmisión cableadas han tratado de ser optimizadas ya que la cantidad de datos que viajara por este medio será cada vez más y más pesada. Para ello, se ha ideado soluciones como aumentar el ancho de banda, mejorar la tecnología de transmisión, o cambiar los métodos de transmisión, como es el caso de la fibra óptica la cual se basa en rayos de luz.

Con este desarrollo, la disponibilidad y disminución de costos han acelerado su aceptación con lo antes mencionado y las facilidades que la fibra óptica nos proporciona, con ello se procede a realizar el análisis de (FDDI), así como también el diseño de un módulo de comunicación didáctico por fibra óptica para realizar una comparativa de cómo ha ido evolucionando la tecnología y en el cual se pueda apreciar los principios básicos de la misma, así como la amplia gama de aplicaciones que ya existen o que podrían aparecer dentro de algunos años.

El proyecto se justifica ya que permitirá a la sociedad y demás personas conocer un poco más de las nuevas tecnologías que están posicionadas en nuestro país como es el caso de servicios de internet, de transmisión submarina, etc. En muchos casos, será una información muy importante para la realización de nuevas aplicaciones que puedan requerir este tipo de transmisión en una red.

Alcance del Proyecto

En la presente tesis se desarrollará la teoría sobre las fibras ópticas, su atenuación, dispersión, ancho de banda que utilizan, estructura así como el tipo de fibras que pueden existir. Todo ello para tener una idea más clara sobre la tecnología a desarrollar en la presente tesis.

Hablaremos sobre los sistemas de comunicación por fibra óptica, los elementos que comprenden sus empalmes, etc. Esta información nos permitirá dar las pautas para el diseño de nuestro modulo didáctico el cual será nuestra guía de comparación con la nueva tecnología FDDI.

En una tercera fase se entrará a fondo en el diseño y construcción del módulo, los criterios que debemos tomar en cuenta, el esquema del transmisor y receptor, su canal de voz y diagramas esquemáticos que serán útiles en otros proyectos a realizar.

Para finalizar, se efectuará un completo estudio sobre el estándar FDDI, el cual es de nuestra importancia al revisar su medio de transmisión, formato de trama, codificación, y todo lo que comprende a esta nueva tecnología y su funcionamiento.

Se pretende aclarar todas o la mayoría de las dudas que surgen sobre esta interfaz y se espera sea una base para encaminar un progreso en la Comunidad Politécnica como la posibilidad de implementar dicho diseño para un enlace óptico que podría ser útil en diferentes ramas de nuestra universidad.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Diseñar y construir un módulo de comunicación didáctico el cual será la base de comparación de la nueva interfaz FDDI como una red rápida de comunicaciones con la ayuda del conocimiento aprendido en la carrera para que sea fuente de futuros desarrollos en la Comunidad Politécnica.

1.1.2 Específicos

- Comprender los antecedentes del proyecto.
- Definir el fundamento teórico de la fibra óptica y sus nuevas tecnologías.
- Identificar las consideraciones de la FDDI
- Establecer los criterios para el esquema de nuestro modulo didáctico.
- Construir el prototipo propuesto en el proyecto.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y LA FDDI

2.1 Modulo de comunicación didáctico

2.1.1 Elementos de un sistema de comunicación por Fibra Óptica

Los sistemas de comunicación aparecen desde que surgió la necesidad de transmitir la información de un punto a otro o de un punto a muchos otros, si bien es cierto hemos experimentado el progreso de nuevos sistemas en los últimos tiempos, así como las diversas formas para realizar esta tarea de comunicación.

Los principales objetivos para generar mejores sistemas se han desarrollado basándose en varios aspectos tales como: el mejoramiento de la fidelidad en la transmisión, incrementar la velocidad de transferencia para garantizar una comunicación eficaz, incrementar la distancia sin variar la calidad de transmisión entre repetidores, entre otras.

Un sistema de comunicación básico consta de los siguientes elementos: Transmisor, un medio de comunicación y un receptor como se observa en la figura 1.

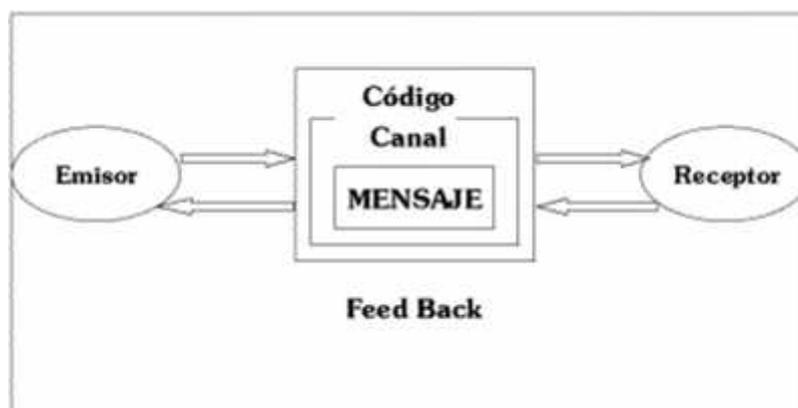


Figura 1 Sistema de Comunicación Básico

La función del emisor es de procesar el mensaje que va a ser transmitido, modificarlo y convertirlo en una señal que puede ser enviada por el medio de comunicación, esta puede ser eléctrica u óptica; el receptor a su vez se encargara de recibir dicha señal, convertirla y modificarla de tal manera para ser interpretada y recuperar el mensaje original

Como podemos observar en todos los sistemas es de vital importancia el mensaje o la información a transmitir y sus transformaciones hasta llegar de un lugar a otro.

Un sistema de telecomunicaciones óptica utiliza como medio de transmisión las fibras ópticas para transportar los mensajes del emisor, estos se transforman en luz o flujo energético y serán emitidos hasta llegar a un receptor el cual realizara el proceso inverso y los convertirá en un mensaje entendible por el mismo

En la figura 2 podemos observar más a fondo un sistema de comunicaciones por fibra óptica en diagrama de bloques:

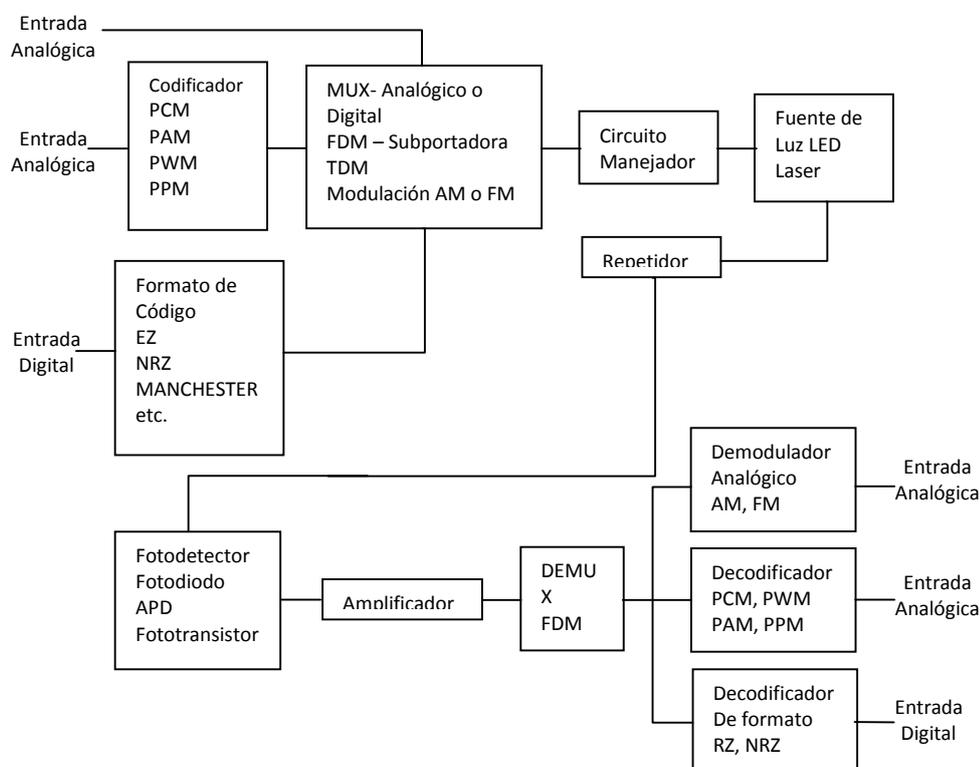


Figura 2 Diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones por Fibra Óptica

2.1.2 Transmisión de información por Fibras Ópticas

Para explicar de mejor manera los modos de transmisión esta se basa en diferentes formas de cómo se utiliza el canal, las cuales pueden ser:

Simplex:

Este modo de transmisión es cuando el canal se usa para transmitir la información exclusivamente en un solo sentido sin que este pueda invertir la transmisión, lo que significa que el receptor nunca podrá emitir un mensaje, como se observa en la figura 3.

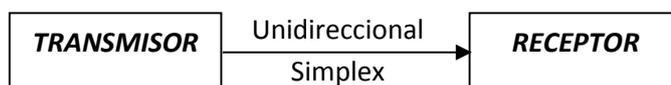


Figura 3 Modo de transmisión Simplex

Half Duplex:

A este modo de transmisión también se lo conoce como semiduplex ya que se puede utilizar un canal en ambas direcciones pero no simultáneamente, esto significa que el emisor puede convertirse en receptor y viceversa pero en instantes de tiempo diferentes.

En determinado momento al finalizar la comunicación se conmutaran el otro par de receptor y emisor para que la comunicación ocurra en sentido contrario (Figura 4), con la ayuda de interruptores como sucede con walkie talkies (radioteléfono portátil)

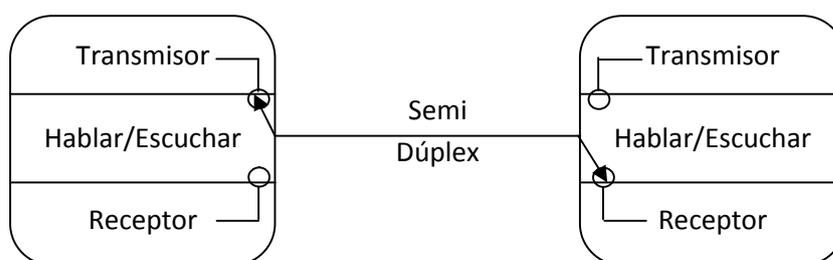


Figura 4 Modo de transmisión Half Dúplex

Este modo de transmisión realiza la función completa en ambas direcciones simultáneamente, ya que utiliza 2 canales o uno de banda ancha (Figura 5), este modo es el más rápido pero también el más costoso.

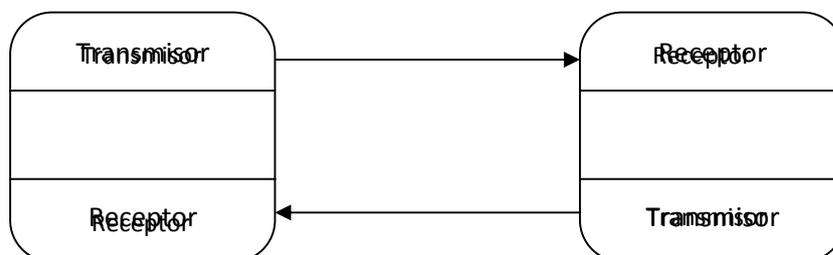


Figura 5 Modo de transmisión Full Dúplex

Cabe recalcar que en todos los modos de transmisión, los sistemas para transmitirlos pueden ser:

Continuo, discreto y mixtos.

Continuo.- El mensaje y el flujo energético transmitido son funciones continuas del tiempo, a estos sistemas se los conoce como “analógicos”, un ejemplo de estos mensajes pueden ser, las corrientes eléctricas

Discreto.- El mensaje y el flujo energético transmitido son secuencias de símbolos discretos como es el caso de la telegrafía o un enlace entre computadoras

Mixto.- En este caso el mensaje y flujo energético transmitido no son totalmente continuos ni discretos, puede suceder que el mensaje sea continuo mientras que el flujo energético es discreto.

Transmisión de señales Continuas (Analógicas)

Estas transmisiones ocurren cuando el mensaje se transforma en una señal eléctrica analógica $e(t)$, el emisor es el encargado de transformar dicha señal en una señal óptica $p(t)$; la magnitud del flujo energético varían con el tiempo para lo cual el sistema recibe el nombre de modulación en banda base (Figura 6), la fórmula del flujo energético que recibe el detector es:

$$Pr(t) = Po (1+m \text{ sen } wt)$$

Po = Flujo energético promedio recibido o el flujo energético recibido en ausencia de modulación.

m = Índice de modulación

w = Frecuencia angular de modulación

Cuando este flujo $Pr(t)$ llega al detector se transforma en una corriente eléctrica $i(t)$.

$$i(t) = M.S.Pr(t)$$

S y M son la sensibilidad y el rendimiento del detector.

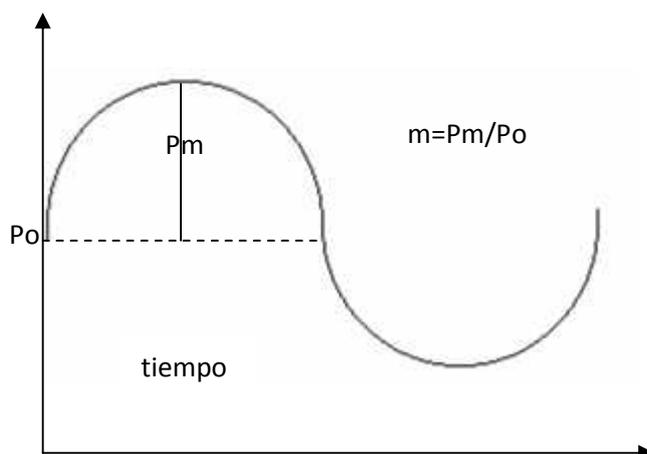


Figura 6 Flujo energético modulado en amplitud

Transmisión de señales Discretas

En esta transmisión el mensaje está contenido en un instante t , en la amplitud de una señal $e(t)$ continua en el tiempo. La transmisión de esta información consiste en enviar los valores de la amplitud $e(t)$ en instantes sucesivos, la operación para la toma de estos valores sucesivos se la conoce como muestreo.

En una transmisión digital el valor de la muestra se convierte a forma binaria (0 y 1), esta sucesión de código se transforma en pulsos q se envían por la línea de transmisión.

Muestreo

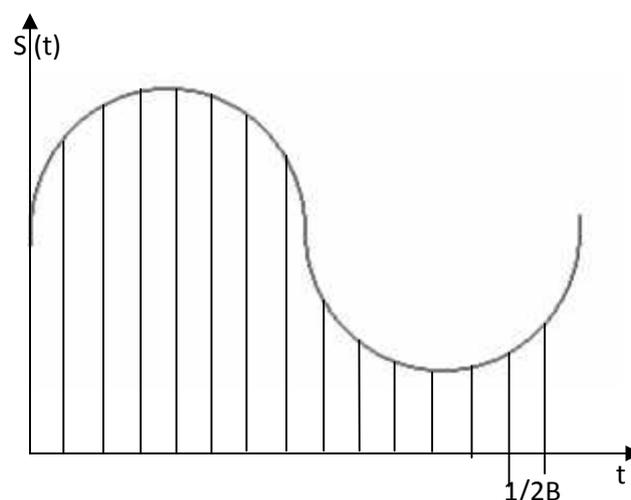
Una señal continua $e(t)$ puede descomponerse en una suma de señales sinusoidales simples las cuales están contenidas totalmente en una banda de 0 a B por segundo, donde B es la frecuencia más alta en el espectro de la señal. Para definir completamente la función $e(t)$ una de las condiciones a cumplirse es que las muestras se tomen en instantes separados con un mínimo de $\frac{1}{2}B$ segundos, para lo cual es necesaria una frecuencia de muestreo mínima igual a $2B$.

Transmisión por pulsos

Los trenes de pulsos pueden utilizarse para transportar la información muestreada, la frecuencia del tren de pulsos es igual a la frecuencia de muestreo.

Modulación de amplitud de pulso (PAM)

En esta modulación cada muestra corresponde un pulso donde su amplitud es proporcional a la magnitud de la muestra (Figura 7), estos pulsos poseen un periodo $\frac{1}{2} B$ y una duración W siempre constantes, un requisito de esta modulación es que $W < \frac{1}{2} B$, toda la información se la encuentra en la amplitud y en la frecuencia de pulsos



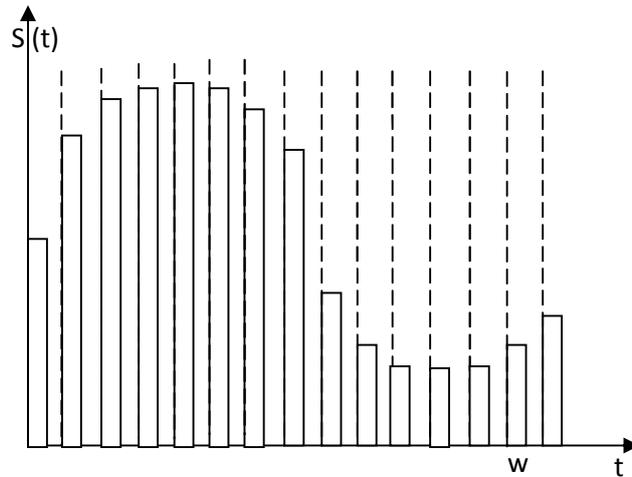
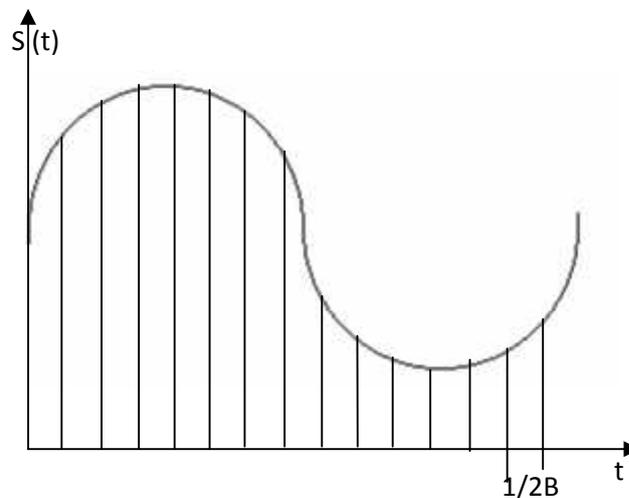


Figura 7 Modulación PAM. La señal se convierte en un tren de pulsos de duración W , a la frecuencia $2B$ modulados en amplitud

PDM

En esta, cada pulso posee una duración W que es proporcional a la magnitud de la muestra (Figura 8), estos pulsos tienen una amplitud constante y frentes de subida con separaciones de $\frac{1}{2} B$ y poseen el mismo requisito que la modulación PAM, toda la información en este caso se la encuentra en la frecuencia de los pulsos y en su amplitud (MILEAF, 1985)



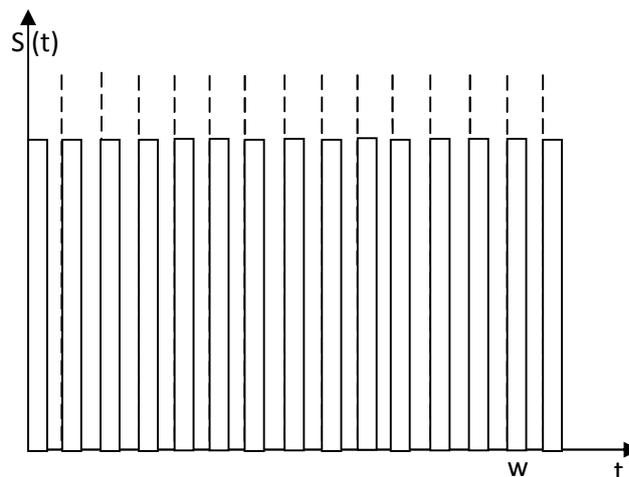


Figura 8 Modulación PDM. La señal se convierte en un tren de pulsos a la frecuencia $2B$ cuyas duraciones son moduladas

PPM

A diferencia de PAM y PDM cada muestra corresponde a un pulso desplazado un tiempo Dt con respecto al instante de muestreo t (Dt es proporcional a la magnitud de la muestra) (Figura 9).

Es necesario que el t más grande sea menor a $(1/2 B - W)$, la información está contenida en t con lo cual es necesario transmitir al mismo tiempo una señal de sincronización que permita determinar este tiempo y su frecuencia de muestreo, cabe recalcar que la señal de sincronización no es necesaria en la modulación.

Para estos sistemas de pulsos las bandas de paso B requeridas son:

$$\text{PAM} \quad B=1/W$$

$$\text{PDM} \quad 1/W \leq B \leq 5/W$$

$$\text{PPM} \quad B=5/W$$

W =duración del pulso

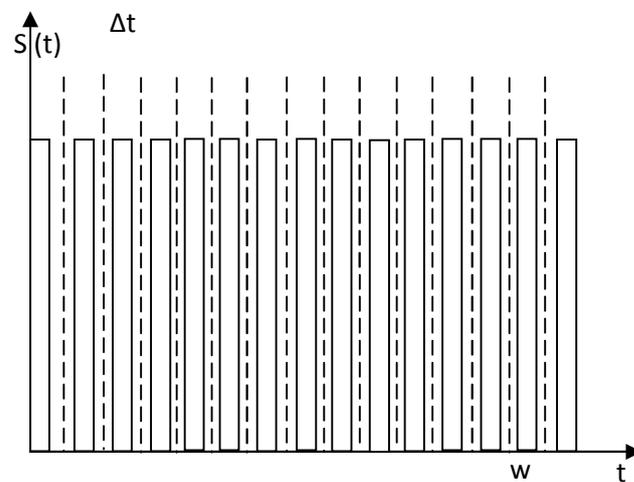
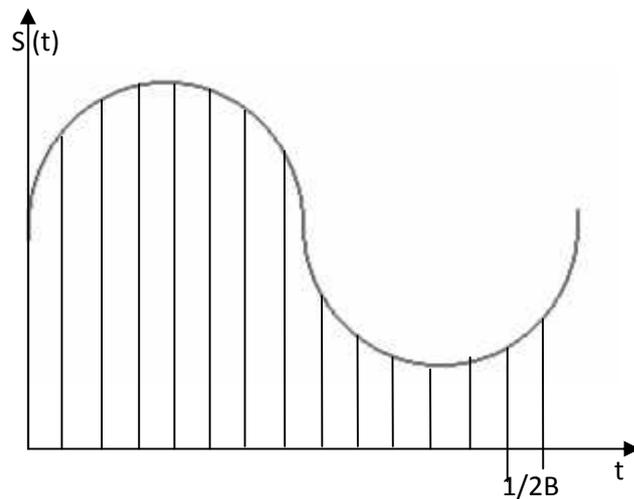


Figura 9 Modulación PPM. La señal se convierte en un tren de pulsos de duración W en el cual las posiciones se modulan

Demodulación

En el otro terminal del sistema de transmisión, los pulsos modulados deberán ser demodulados para recuperar la señal $e(t)$.

Para recuperar esta señal en modulación de amplitud simplemente sería necesario un filtro ideal paso bajo con frecuencia de corte igual a B para obtener $e(t)$.

En la modulación de duración sería necesario hacer una conversión de PDM a PAM.

En la modulación por posición deberíamos realizar una conversión PPM a PDM seguida de otra PDM a PAM.

Cuantificación y Codificación

Estos 2 términos tienen como objetivo asociar a cada magnitud un número que la caracterice, con el fin de reducir el infinito número de representar magnitudes de las posibles muestras se cuantifican los valores, esta se basa en dividir la amplitud máxima que pueden tener las diversas muestras en un valor finito de niveles discretos.

Por lo tanto la cuantificación corresponde a dar un valor a cada muestra y la codificación es un proceso que va de la mano que convierte este número en una sucesión de 1 o de 0 (código binario) (Figura 10) (MILEAF, 1985)

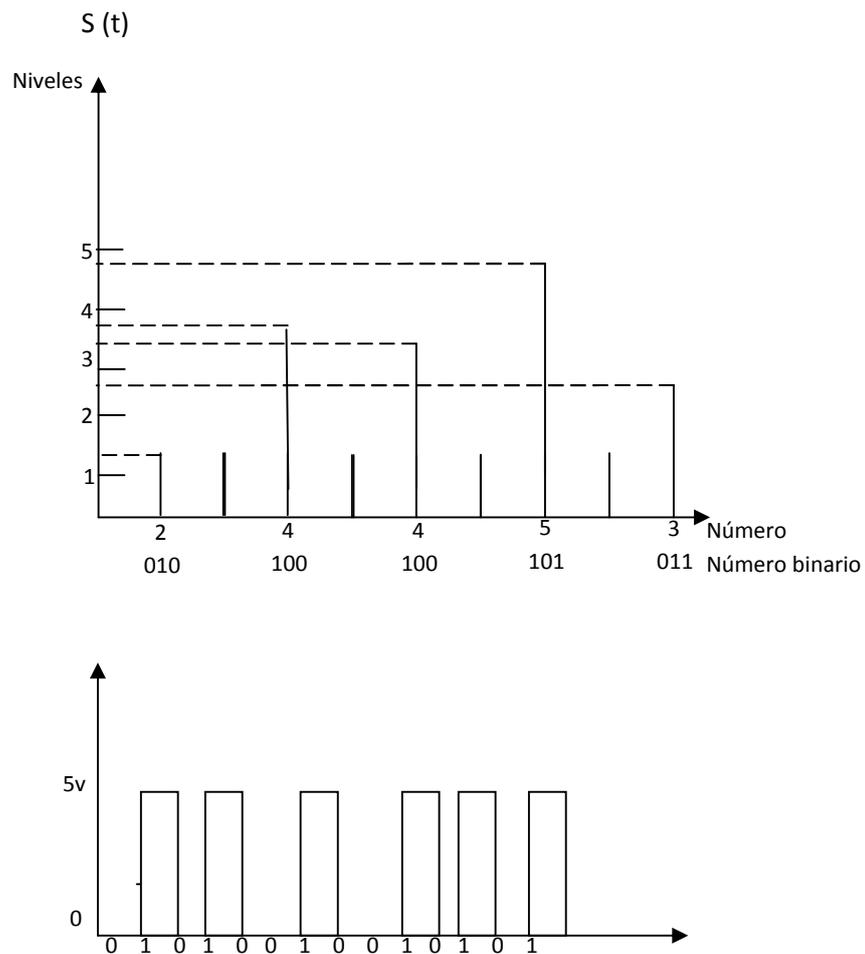


Figura 10 Modulación por codificación de pulsos. La magnitud de las muestras corresponde un nivel y este corresponde un número binario

El resultado final es una señal numérica de 7 bits para muestras tomadas a una frecuencia $2B$,

Otros Códigos

Una de las codificaciones más simples es la que apunta al “uno” binario como un estado de (5v) y al “cero” binario como un estado (0v) denominados como estado alto y estado bajo sucesivamente, este tipo de sistemas son compatibles con sistemas de comunicación ópticos que pueden funcionar de manera discreta (luz y ausencia de luz). Sin embargo podrían elegirse otros códigos dependiendo su comodidad.

Como sabemos los sistemas de fibra óptica poseen una gran banda de transmisión y para aprovechar de esta los códigos pueden aumentar de números de bits, los cuales son mejor aceptados que los códigos formados por varios niveles diferentes.

Codificación sin regreso a cero (NRZ)

En esta codificación la señal esta en un nivel alto en duración de un “uno” y baja para una duración de un “cero” como se muestra en la figura 11:

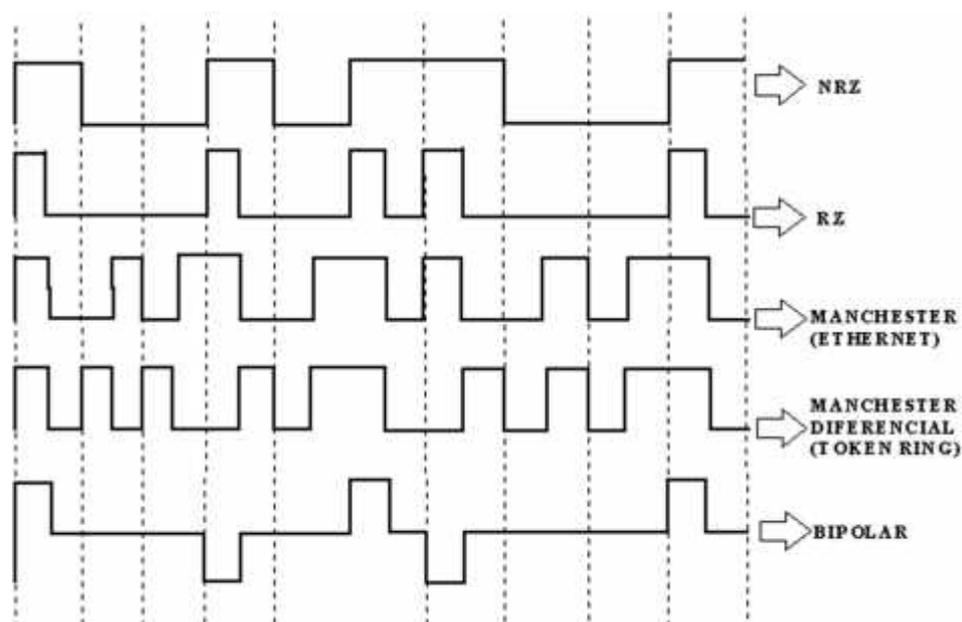


Figura 11 Diversos tipos de codificación

Esta codificación presenta algunos inconvenientes:

1. Cuando se presenta una sucesión de nivel alto (“uno”) esta es una señal constante no pulsante, lo que obliga a tener circuitos electrónicos que puedan identificar 2 señales continuas, además mediante esta explicación en un nivel bajo (“0”) no se podría determinar si es una sucesión de “ceros” o una carencia de señal
2. Mediante estas sucesiones de niveles bajos y altos es imposible sincronizar la recepción, ya que los intervalos unitarios no se encuentran definidos en el tiempo, lo que implica que no podamos reconstruir $e(t)$

Codificación con regreso a cero (RZ)

A diferencia de la codificación NRZ esta presenta una señal baja para una duración de un “cero” y un nivel alto para la primera mitad de la duración de un “uno”, para esta codificación es necesario aclarar que se necesitan 2 intervalos unitarios por bit, ya que el bit “uno” se presenta durante la mitad del tiempo del bit, lo que impide que la señal quede alta durante la sucesión de “unos”. (MILEAF, 1985)

Uno de los inconvenientes de esta codificación es que se hace imposible la sincronización durante una sucesión de “ceros”

Codificación Manchester

En esta codificación los niveles se presentan por transiciones ya sea de un estado bajo a un alto como “cero” o de un estado alto a un bajo como “uno”, en esta al igual que en la codificación RZ es necesario 2 intervalos unitarios por bit con la diferencia de que esta posee una sincronización fácil por lo que el acoplamiento continuo no es necesario.

Transmisión de varias señales

Tal vez sea importante transmitir al mismo tiempo varias señales $e(t)$, para esto se deberá multiplexar o multicanalizar las señales, una manera más rápida podría ser utilizar un sistema de transmisión para cada canal pero esta podría ser una solución costosa con lo cual sería preferible transmitir los diversos mensajes por el mismo canal de transmisión

Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

Esta es una técnica para transmitir al mismo tiempo sobre un mismo canal varias señales analógicas que tienen frecuencias diferentes, en esta Multiplexación cada señal se modula a una frecuencia f_n , estas señales a su vez modulan a una subportadora maestra a muy alta frecuencia F , la cual es inyectada en el canal o la fibra óptica como se muestra en la figura:

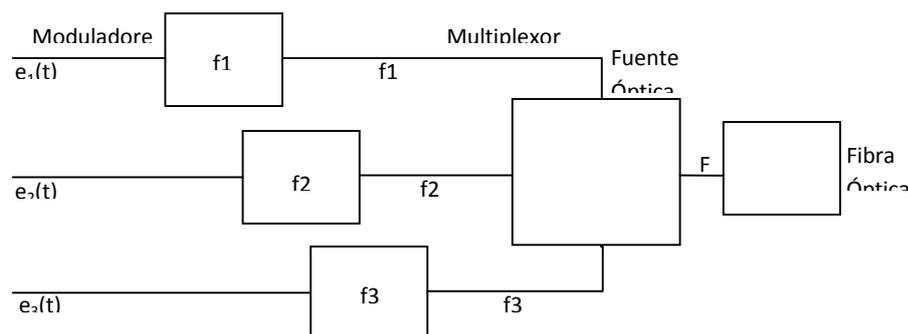


Figura 12 Multicanalización por división de frecuencia (FDM)

Multiplexación por división de tiempo (TDM)

Es una técnica que permite transmitir en el mismo canal muchas señales digitales, la cual se basa en verificar el sobrante de tiempo basándose en el tiempo de muestreo necesario para transmitir un bit, con este tiempo libre lo que se piensa es verificar cuantas muestras podrían viajar por el mismo canal de transmisión.

Para controlar la sincronización se transmite 1 bit suplementario después de n muestras dependiendo el formato de transmisión utilizado (ejemplo vigésima cuarta muestra en un formato T_1).

Esta Multiplexación puede ser utilizada para modulaciones de pulsos como: (MILEAF, 1985)

- PAM
- PDM
- PPM

Multiplexación por división de longitud de onda ()

Esta técnica es específica para telecomunicaciones óptica. Esta utiliza la propiedad que posee la fibra óptica de presentar baja atenuación a varias longitudes de onda para inyectar luz a diversos $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$. La luz emitida por cada fuente se modula mediante una señal eléctrica diferente y los diferentes flujos resultantes se introducen en una sola fibra óptica para luego ser filtrada para cada λ en el otro extremo de la fibra.

Un sistema multicanal por división de longitud de onda está compuesto por:

- Fuentes emisoras en λ diferentes
- Un multiplexor óptico que acopla las luces emitidas en una sola
- Una fibra de pequeña atenuación a las λ por transmitir
- Un demultiplexor para separar las luces emitidas
- Detectores ópticos para convertir luz en señales eléctricas

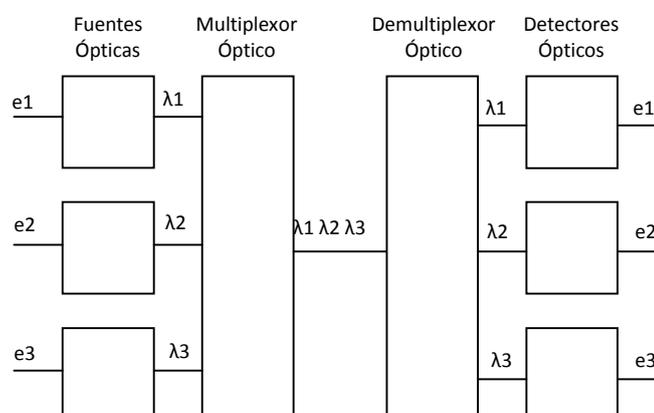


Figura 13 Multicanalización por división de frecuencia (FDM)

2.1.3 Fuentes y receptores ópticos

Fuentes Ópticas

En los sistemas de transmisión por fibra óptica se utiliza luz para propagar la información por el canal, esta información se puede transmitir en forma analógica o digital.

Para cualquiera de estos casos que sea el sistema utilizado se necesita una fuente luminosa. Estos sistemas son más eficientes cuanto mayor información pueda transmitirse a una gran distancia. Teniendo esto en cuenta nuestro primer criterio a considerar para la selección de nuestras fuentes ópticas es la compatibilidad que deberá poseer con la fibra ya que cada una posee ciertas características propias. (JARDON AGUILAR, 1995)

Como sabemos en el paso de información por fibra la luz se deberá inyectar por la cara de entrada de la misma, que es un disco con una superficie extremadamente pequeña la cual puede ser inferior a $500\mu\text{m}$. Por otra parte es necesario entender que solo la luz contenida en el cono de admisión se propagara de una manera adecuada u optima en la fibra.

Existen diferentes tipos de fibras y las mismas cumplen con atenuaciones mínimas dependiendo a la longitud de onda por ejemplo:

- Entre 0.8 y $0.9\mu\text{m}$ para fibras de vidrio compuestas
- Entre 1.1 y $1.3\mu\text{m}$ para las de sílice de núcleo purificado con P_2O_5
- Y alrededor de $1.55\mu\text{m}$ para las de sílice de núcleo impurificado con GeO_2

La dispersión modal es nula para fibras monomodo, en el caso de la dispersión cromática es directamente proporcional a la longitud de onda espectral de la fuente a utilizar.

Todas las características mencionadas tienen mucha influencia para la elección de una fuente luminosa la cual debe:

1. Emitir luz con direcciones compatibles con el cono de admisión o apertura numérica de la fibra
2. Tener una superficie de emisión pequeña si fuera posible inferior a la superficie de entrada de la fibra
3. (Estas 2 condiciones son esenciales para poder inyectar mayor cantidad de luz en la fibra)
4. Transmitir en longitudes de onda para que las fibras sean más transparentes y con esto recuperar la mayor cantidad de luz posible en el otro extremo de la fibra
5. Tener una longitud de onda espectral pequeña para minimizar la dispersión cromática

Además estos criterios la fuente debe:

1. Tener intensidad
2. Tener un tiempo de respuesta rápido
3. Que sea de fácil modulación
4. Ser pequeña
5. Ser económica

Existen 2 clases de fuentes luminosas:

- Las incandescentes
- Y las luminiscentes

Las primeras toman este nombre porque se calientan para emitir energía en forma de radiación por ejemplo lámparas con filamento calentado (emiten un espectro continuo de longitudes de onda).

Por naturaleza estas fuentes ya que deben calentarse para emitir radiación suelen ser muy lentas y no responden a algunos criterios antes mencionados por lo cual las únicas fuentes utilizables serán las luminiscentes, entre estas las más importantes son las que utilizan la electroluminiscencia de los semiconductores.

Los dos tipos de fuentes luminiscentes más utilizados son:

- Diodo electroluminiscente (LED)
- Y el láser semiconductor de inyección

En la actualidad se construyen estos dos tipos de fuentes basándose en los criterios anteriormente mencionados. El LED puede cumplir fácilmente con los criterios 1, 3, 7, 8 y 9 mientras que el láser de inyección satisface casi todos los criterios con excepción del número 9.

Para la elección de estas diferentes fuentes se hacen en función de los criterios antes mencionados tomando en cuenta igualmente sus costos.

2.1.3.1 Diodos electroluminiscentes (led)

La historia de estos diodos inicia en 1962 con la construcción de diodos basados en Arseniuro de Galio (GaAs), estos diodos como principal inconveniente solo actuaban en determinadas condiciones y a una temperatura adecuada, a esto se le conocía como emisión estimulada.

Existen 2 tipos de semiconductores los tipos n y los tipos p, en la unión de estos semiconductores impurificados existe una zona desértica de portadores llamada zona de transición. Cuando no existe polarización hay un campo eléctrico que impide a los electrones de la región n pasar a la región p y viceversa con los huecos de la región p.

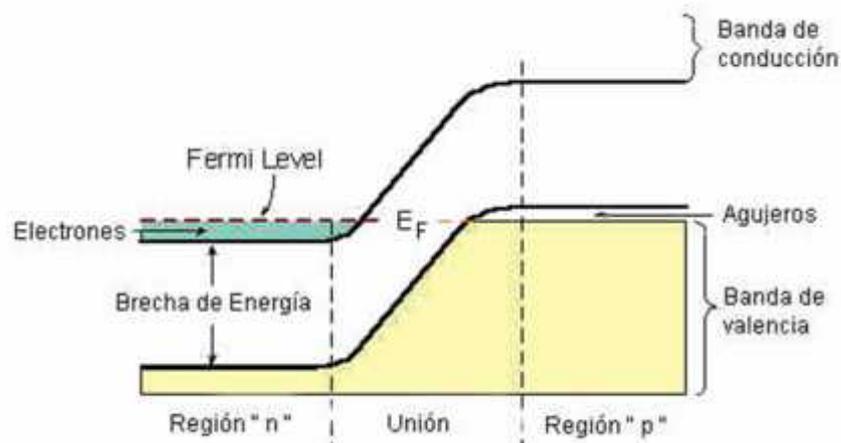


Figura 14 Unión p-n en equilibrio térmico

Los electrones pueden entrar a la región p y los huecos en la región n recombinándose, y desapareciendo en esa región (región de recombinación). Si el semiconductor elegido es de transición directa de banda y de buena calidad cristalina, las recombinaciones serán radioactivas y la eficiencia será igual a uno, cada electrón combinado origina un fotón cuya energía hf es cercana a la banda prohibida E_g .

$$hf = hc / \lambda \approx E_g$$

Estos portadores que se recombinan son suministrados por la fuente de polarización y constituyen la corriente directa del diodo. Para el voltaje que debemos aplicar, este deberá ser cercano a la barrera de potencial ya que la energía por unidad de carga corresponde al este concepto y es:

$$V = E_g / e$$

Una unión p-n podría explicarse en el siguiente grafico de un LED clásico en forma rectangular, el cual es obtenido impurificando una placa semiconductor:

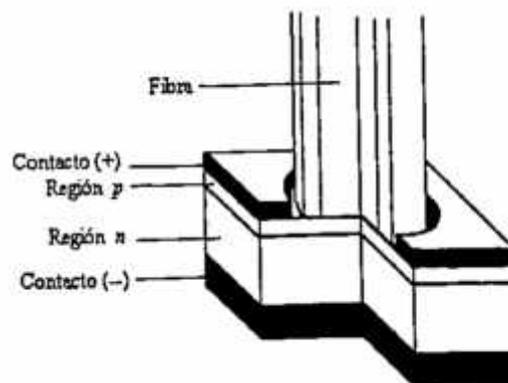


Figura 15 Estructura de un LED con la fibra óptica colocada en su sitio

2.1.3.2 Diodo Laser de inyección

Los diodos laser de inyección son básicamente emisores de radiación coherente, lo que significa que poseen una longitud espectral muy pequeña y directiva. Para lograr estas transiciones electrónicas es necesario bandas de un material semiconductor. El efecto laser cabe recalcar es producido por

una corriente eléctrica y su significado será: Amplificador de Luz por Emisión Estimulada de Radiación.

Uno de los efectos de los láseres es que a partir de un fotón se obtienen 2 con lo cual obtenemos una amplificación.

En un semiconductor se producen tres tipos de transiciones los cuales se dan en 2 bandas como lo mencionamos anteriormente.

El nivel fundamental corresponde a la banda de valencia (normalmente llena), el nivel excitado y la banda de conducción (normalmente vacía).

La emisión estimulada solo se produce si hay mas átomos en el estado excitado que en el estado fundamental, esta transición se realiza siempre de la banda mas llena hacia la más vacía, si la banda de valencia esta mas llena que la de conducción un fotón provoca absorción y en el caso contrario provoca emisión estimulada.

Para que el efecto Laser pueda producirse en el semiconductor es necesario:

- Producir una inversión de población (bombeo)
- Disponer de una cavidad resonante para que haya amplificación.

Esta cavidad permite obtener una emisión monocromática. Esta puede estar construida por espejos planos paralelos (llamada Fabry-Perot) como se observa en la figura:

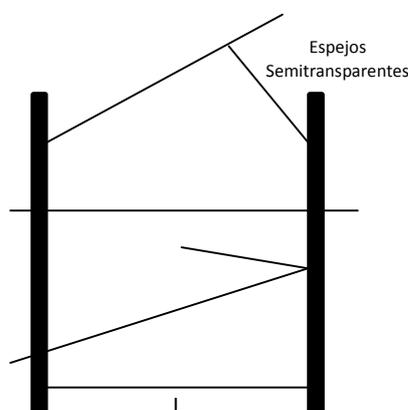


Figura 16 Cavidad resonante Fabry - Perot

2.1.3.3 Características comparadas de los emisores

Diodos electroluminiscentes

Se distinguen 2 grandes clases:

- Los diodos de emisión superficial
- Los diodos de emisión lateral

Diodos de emisión superficial

Los diodos de emisión Superficial de homounión están limitados por la fuente de absorción del GaAs en la longitud de onda de emisión en lo que respecta la potencia emitida y por una mala disipación térmica que limita la corriente. La excitación de estos diodos varía de 3 a 6 W/cm², para los LEDs de gran superficie emisora el flujo total emitido varía entre 1 y 2 mW (en 3 x 10⁻⁴ cm²), así como también poseen bandas de paso entre 5 y 50MHz.

Los diodos de heterounión su excitación varía de 30 a 150 W/cm², su flujo total emitido es de 20 a 600 μW (en 50 a 200μm²), al igual que los homounión sus bandas de paso varían entre 5 y 50 MHz.

Estos diodos poseen un gran defecto y es que su radiación no está adaptado al cono de admisión de las fibras ópticas, sin embargo mediante micro lentes se puede mejorar el acople cuando la superficie del LED sea inferior a la de la fibra.

Diodos de emisión lateral

Estos diodos son construidos como los laser de heterounión. Sin embargo en estas estructuras no se alcanzan corrientes de umbral necesarias para un efecto laser.

Por lo regular el material utilizado es GaAlAs y las longitudes de onda de emisión varían entre los 0.85μm, poseen una cinta más gruesa que para un laser lo cual explica porque no se logra llegar al umbral este posee un orden de (50μm). (JARDON AGUILAR, 1995)

El flujo total emitido varía entre 0.2 y 5 mW con excitaciones de (150 W/cm²) parecidas a la de los LEDs de heterouniones y al igual que sus bandas (5 a 50MHz separación).

La ventaja de estos diodos es que su radiación en el plano paralelo es igual que los de emisión superficial pero es más estrecha en el plano perpendicular por causa de la guía óptica provocada por la cinta.

Láseres de inyección

Todos estos láseres están contruidos por heteroestructuras. Sus longitudes de onda dependen mucho del material que lo constituyen y sus dos grandes categorías son:

- GaAlAs/GaAs para emisiones entre 0.82mm
- GaInAsP/InP para emisiones entre 1.1 y 1.6µm

Los primeros ya se encuentran en el mercado, su flujo total varía entre 5 y 30mW, sus corrientes de umbral varían entre 50 y 150mA y sus bandas varían entre 200MHz a más de 1GHz. Su banda espectral tiene un ancho de 2nm.

Su segunda categoría tienen una gran sensibilidad a variaciones de temperatura lo que provoca inestabilidad y dificultades para emitir información para lo cual veremos una tabla respecto a todas las categorías antes mencionadas.

Tabla 1
Inconvenientes y ventajas de los LEDs

	Potencia emitida	Diagrama de radiación	Banda pasante	Tiempo de vida	Facilidad de utilización	Longitud de onda espectral	Precio
Laser de inyección	++	++	+	-	-	+	-
LED emisión superficial	+	-	-	+	+	-	+
LED emisión lateral	+	+	-	+	+	-	+

2.1.4 Circuitos de modulación de las fuentes

Como hemos visto anteriormente las dos fuentes más importantes de radiación son LED y DL. Los LED en general son más lineales que los DL, es por ello que se utilizan en comunicaciones analógicas. Por otro lado los DL emiten un flujo energético mayor, poseen una radiación más directa y pueden modularse a muy altas frecuencias por lo cual se emplean en comunicaciones digitales.

Estos 2 tipos de fuentes son diodos polarizados en sentido directo con muy baja impedancia por lo que cualquier fuente de corriente debe excitarlas.

En cuestiones de construcción y circuitería la de los LEDs son más simples que las de los láseres.

2.1.4.1 Circuitos de modulación analógica para los LEDs

Para este tipo de modulación, se prefieren los LEDs por ser más lineales. Para esto debemos suministrar corriente de polarización al LED, a esta corriente se la añade una corriente de modulación proporcional a la señal a transmitir, un circuito de modulación se presenta en la figura:

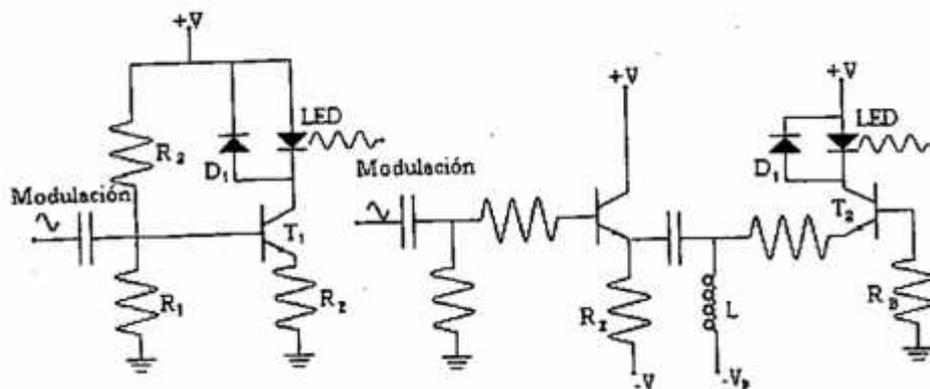


Figura 17 Circuitos de modulación analógica para un LED

El segundo circuito a continuación es más eficiente, está construido por un seguidor de emisor (T_1) acoplado capacitivamente en base común con

(T₂). Para los 2 circuitos se coloca un diodo D₁ en paralelo con el LED como protección: (JARDON AGUILAR, 1995)

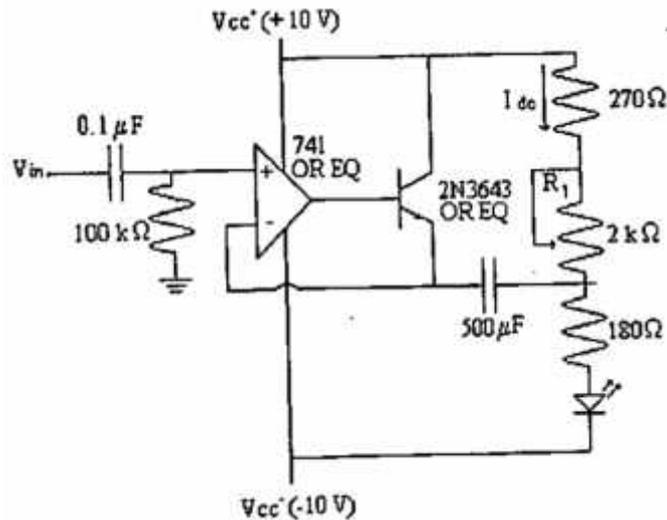


Figura 18 Driver analógico

Para el siguiente circuito el LED es colocado en la rama de realimentación de un amplificador operacional:

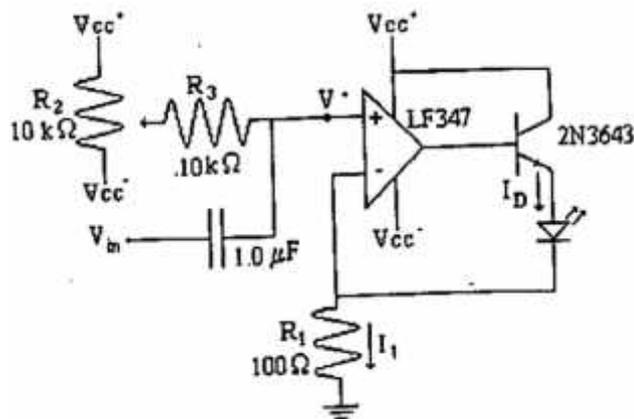


Figura 19 Driver analógico con un LED en la rama de retroalimentación

2.1.4.2 Circuitos de modulación digital

En estos circuitos se pueden utilizar por igual cualquier tipo de diodo, tomando en cuenta que el uso de laser será para transmisiones de muy alta

capacidad. A este tipo de modulaciones se las conoce como todo o nada ya que es necesaria una corriente por arriba del umbral para la rapidez del diodo laser. Un circuito de modulación digital comprende:

- Un circuito de pre polarización
- Un convertidor tensión – corriente

Además en el caso de los laser se necesita un circuito de estabilización del flujo.

Circuito de pre polarización.- esta se obtiene con ayuda de una fuente de corriente de alta impedancia:

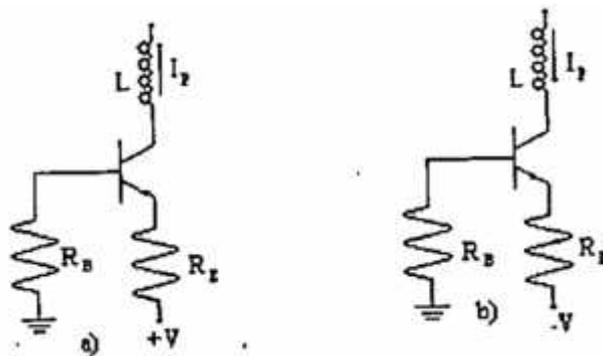


Figura 20 Circuitos de pre polarización para un LED

Modulación LED:

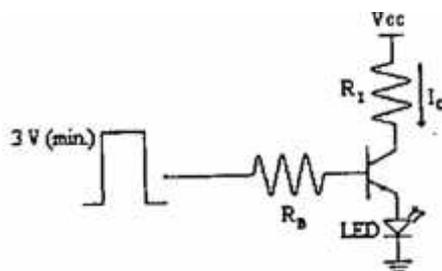


Figura 21 Driver de transistor

Para frecuencias inferiores a 10MHz lo mejor es usar circuitos integrados, en el caso de los LED se los puede modular con compuertas básicas lógicas: (CHOMYCZ, 1998)

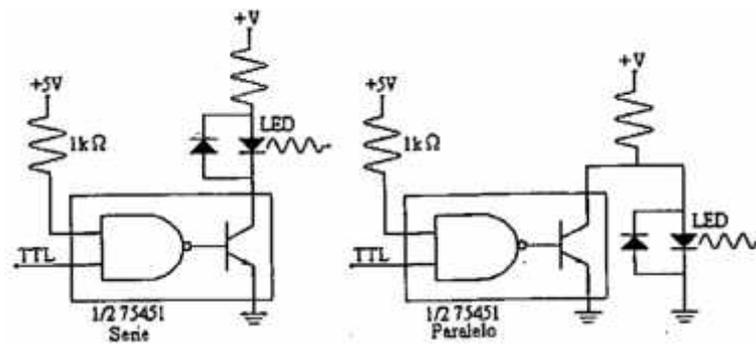


Figura 22 Circuitos de modulación digital para un LED

Para frecuencias más altas, hasta 30MHz se utilizan transistores especiales:

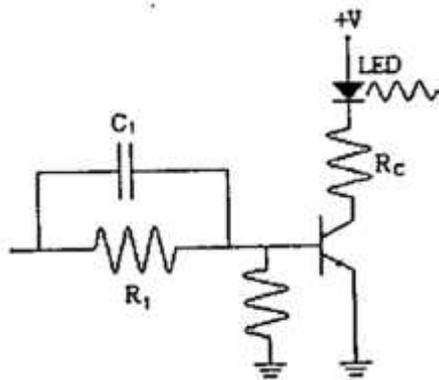


Figura 23 Circuitos de modulación digital en alta frecuencia para un LED

Modulación de un diodo laser.- Esta modulación se realiza con un circuito diferencial:

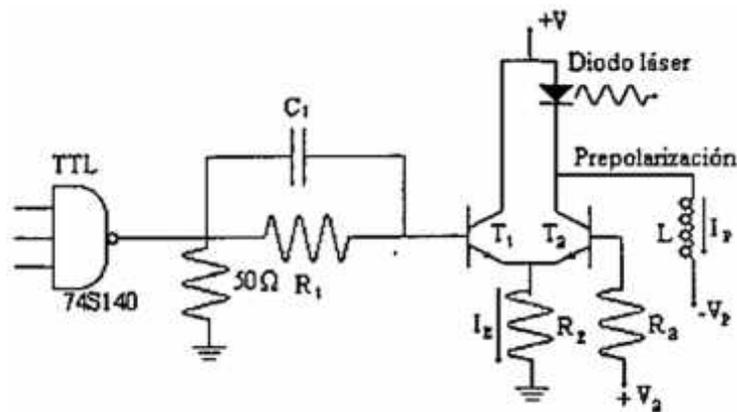


Figura 24 Circuitos de modulación digital para un diodo laser. El circuito de pre polarización debe conectarse a la bobina L

Estabilización del flujo óptico emitido.- Como sabemos la corriente de un laser varia rápidamente con la temperatura, para lo cual se utilizan refrigerantes sin embargo esto provoca un gran consumo de corriente entonces a veces se prefiere controlar mejor la corriente de pre polarización.

Para esto debemos tomar en cuenta que los códigos usados deben ser tales que el flujo energético promedio sea constante.

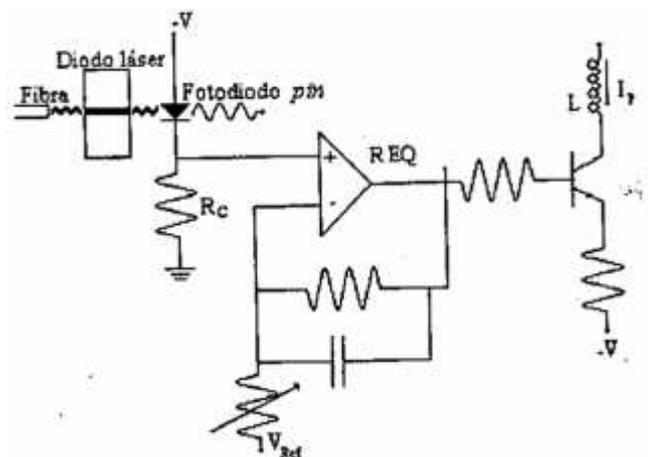


Figura 25 Circuitos de control automático para la corriente de pre polarización de un diodo laser

2.1.4.3 Foto detectores ópticos

Un sistema de telecomunicaciones óptico está compuesto por emisor, fibra óptica y detector, la detección consiste en transformar la luz en una señal eléctrica para elegir el tipo de detector se debe considerar las características de luz que llegaran al extremo de la fibra.

En un sistema de comunicación óptica podríamos tener una fibra muy larga de poca atenuación o una corta de alta atenuación, estos parámetros de longitud y atenuación depende para que el flujo energético al extremo sea más pequeño que a la entrada, cabe recalcar que por cuestiones de costos el emisor que elijamos no siempre va a permitir inyectar el máximo de luz a la fibra, por lo que el detector será el encargado de proporcionar una señal eléctrica útil cuando este flujo sea muy pequeño. (CHOMYCZ, 1998)

Fotodiodo PIN

El fotodiodo PIN es un diodo semiconductor al que se le ha introducido una zona intermedia llamada intrínseca para que la eficiencia del fotodiodo sea alta.

El problema que presenta es que el tiempo de tránsito de los foto portadores es mayor, aumentando el tiempo de respuesta. Por este motivo, el tamaño de la zona intrínseca se escoge según un compromiso entre eficiencia y tiempo de respuesta, estos detectores poseen una sensibilidad entre 0.5 a 0.6 A/W a $0.9\mu\text{m}$

Fotodiodo APD

El fotodiodo APD o de avalancha es un fotodiodo con ganancia interna debido al efecto de avalancha. El par electrón-hueco inicial se crea por la absorción de un fotón. Este par inicial provoca pares secundarios, la cual toma el nombre de corriente secundaria.

Estos detectores poseen una sensibilidad de 20 a 75 A/W

Las diferencias del APD con respecto al PIN son:

- Tiene una sensibilidad superior, lo que permite detectar niveles de potencia menores.
- Tiene un mayor margen dinámico de entrada óptica, logrando más fidelidad.
- Es más complejo y caro.
- Introduce más ruido.
- Consume más potencia.
- La ganancia depende de la temperatura, por lo que necesita un control de temperatura.

2.1.5 Empalmes y conectores

Un empalme consiste en enlazar las fibras ópticas lo que hace posible la transferencia de energía luminosa entre portadores físicos, el concepto de conexión se recibe a la continuidad de la luz en las fibras portadoras.

Para evitar pérdidas en el canal respecto a las uniones debemos tomar en cuenta lo siguiente:

- Que los núcleos de ambas fibras a unir tengan las mismas dimensiones
- Excentricidad adecuada
- Que los índices sean los correctos igualmente su fijación

Cabe recalcar que los empalmes motivan siempre a la disminución en el rendimiento de la red, existen diversos tipos de empalmes como podemos ver en las siguientes figuras se ilustra el sistema industrial de fusión por arco, la conexión doble a base de caldeo y para finalizar las ilustraciones se ponen 2 posibilidades mas de empalmar cables de fibra la sección A con un dispositivo electrónico mientras que la B realizado a base de dos fibras: (TUR, 1989)

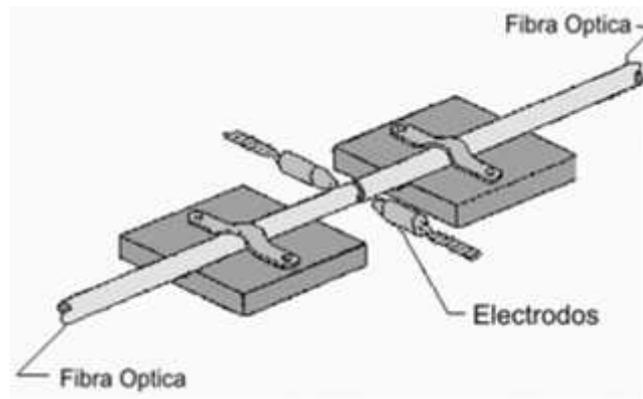


Figura 26 Fusión por arco eléctrico

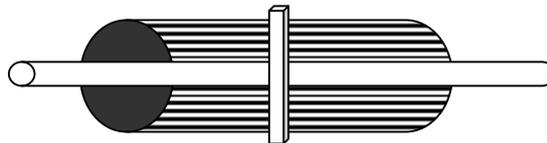


Figura 27 Conexión doble a base de caldeo



Figura 28 Empalme simple con Pegamento

Existen dispositivos donde una masa de resina actúa como pegamento para asegurar las dos fibras a empalmar, a este se lo conoce como tubo capilar de sección cuadrada, un dispositivo similar es utilizado a base de un cilindro conductor mediante un tubo termo táctil como se muestra a continuación:

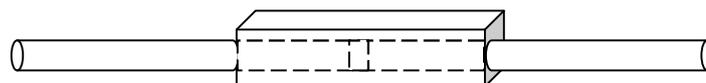


Figura 29 Empalme con sección cuadrada

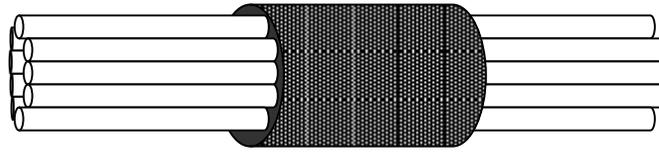


Figura 30 Empalme con sección cilíndrica tubo termo táctil

Hay diversas causas por las que se pueden producir pérdidas por la realización de empalmes entre las cuales nombraremos:

- Excentricidad
- Disparidad de dimensiones
- Enfrentamiento deficiente
- Diámetro del núcleo, etc.

En algunos casos es necesario tener juntas desmontables ya que lo que hemos visto hasta ahora son de tipo permanente es por eso que recurrimos a los conectores, los cuales se ilustran en el siguiente grafico tanto para empalmes circulares como rectangulares (TUR, 1989)



Figura 31 Grupo de conectores rectangulares y circulares

Las pérdidas varían entre 0.1 a 0.3 decibeles cuando son empalmes directos mientras que de 0.5dB por medio de conectores

2.2 interfaz FDDI

El desarrollo de la FDDI toma las ventajas de muchos avances técnicos como una versión de alta velocidad tomada de la venerable 802.5 conocida como "Token Ring" y con las ventajas inherentes de la tecnología de fibra óptica, se logra un mayor ancho de banda y extensas coberturas, soportando diferentes clases de tráfico tanto síncrono como asíncrono mediante la utilización de un protocolo de estafeta temporizada o mejor conocido como "token".

Es así como FDDI forma parte de la nueva generación de RLDs (Red Local de Datos) de alta velocidad la cual tiene mucha aceptación en el mercado debido a que puede extenderse fácilmente largas distancias y es muy estable bajo condiciones de carga, proporcionando un camino ideal para interconectar varios edificios.

Con FDDI tenemos la facilidad de interconectar hasta 500 nodos o estaciones sobre un camino de doble fibra óptica de hasta 100km con espaciamientos de 2km.

2.2.1 Estándar de la FDDI

El estándar FDDI fue desarrollado por el grupo X3T9.5 del comité técnico X3T9 de la ANSI (Instituto Nacional de Estándares Americanos), este grupo se formó en 1979 y comenzó en el proyecto de desarrollo del estándar LDDI (Local Distributed Data Interface) esta propuesta se basaba en cables coaxiales con lo cual se produjeron muchas limitaciones significativas, gracias a los avances tecnológicos este estándar dio un giro cuando apareció la tecnología de fibras ópticas para enfocar los esfuerzos al nacimiento de la FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

2.2.1.1 Ubicación del Estándar

Para ubicar este estándar tomaremos como referencia al modelo de sistemas abiertos de interconexión (OSI: Open System Interconexión) de la ISO (International Standards Organization):

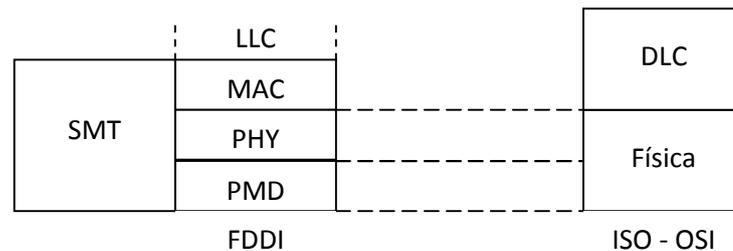


Figura 32 Relación entre FDDI y modelo OSI

Para explicar el funcionamiento del estándar comprenderemos 4 capas: (BERNHARD, 1994)

- Capa dependiente del medio físico PMD (Physical médium dependent layer)
- Capa física PHY (Physical layer)
- Capa de control de acceso al medio MAC (Medium Access control layer)
- Capa de administración de estación SMT (Station management layer)

PMD

Las características de cualquier medio físico o relacionado a lo eléctrico, mecánico y funcional están especificados en la PMD como transmisores, receptores, cables, etc.

La PMD está encargada de proporcionar a la PHY todos los servicios requeridos para transportar una ráfaga digital de bits codificados de un nodo al siguiente. De igual manera con los datos recibidos desde el medio físico en forma de señal eléctrica codificada NRZ. También provee a SMT con los servicios requeridos para la administración apropiada del anillo, ya que la

SMT usa estos servicios para habilitar o deshabilitar un transmisor y operar el nodo en modo derivación, con lo cual la PMD avisara a ambos layers siempre que detecte una señal en el medio

PHY

Esta capa provee servicios a la capa MAC y a la capa SMT, PHY decodifica las ráfagas de bits entrantes dentro de un símbolo para ser usado por la capa MAC, para la transmisión a la capa PMD se usa una codificación 4B/5B. PHY también provee a SMT con los servicios requeridos para el establecimiento y mantenimiento del anillo FDDI.

MAC

La capa MAC provee un acceso al medio imparcial y determinístico, es decir un nodo no tiene ventaja accediendo al medio sobre otro debido a su localización física y determinístico implica que bajo condiciones libres de error el tiempo que un nodo debe esperar para acceder al medio puede ser predeterminado.

SMT

Este layer realiza el monitoreo del desenvolvimiento de la red FDDI, para identificar y corregir excepciones a la operación normal de paso, todo esto provisto por las capas PMD, PHY y MAC

2.2.2 Medio de transmisión

Una de las más importantes características de la FDDI es el uso de la fibra óptica como medio de transmisión como ya hemos visto anteriormente es un paso importante ya que esta fibra proporciona muchos beneficios.

La especificación para la capa PMD de la FDDI recomienda una fibra con un diámetro de núcleo de 62.5 micrómetros y 125 micrómetros de cubierta con una apertura numérica de 0.275, debemos tomar en cuenta que el cable de grado FDDI tiene una atenuación menor a 2.5 dB/km a una longitud de 1300

nanómetros y un ancho de banda mínimo de 500 MHz/km. (MAZAFERRO, 1990)

2.2.3 Formato de trama

El primer formato de una trama FDDI, consiste en cuatro campos y está compuesta como se muestra en la siguiente figura:

Preámbulo (16 símbolos) (64 bits)	S.D (2 s) (8 bits)	F.C (2 s) (8 bits)	E.D (2 s) (8 bits)
--------------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Figura 33 Relación entre FDDI y modelo OSI

- El preámbulo se utiliza para sincronización y prepara a cada estación para la recepción de la trama
- SD (Starting Delimiter) o delimitador de inicio indica el inicio de la trama con un patrón diferente al del resto de la trama por los símbolos que utiliza para su identificación:

SD	
J	K

Figura 34 Símbolos J y K de SD

- FC (Frame Control) o control de la trama define el tipo de trama y su función con los siguientes subcampos:
 - C: Clase de trama asíncrona (0) o síncrona (1)
 - L: Longitud de la dirección de la trama 16 (0) o 48bits (1)
 - F: Formato de trama LLC (01) o MAC (00), 10 y 11 reservados para futuras implantaciones
 - Z: Son utilizados para proveer información de prioridad además de sub-dividir la trama en tipos

FC	
CLFF	ZZZ

Figura 35 Subcampos trama de control

Para una información más detallada proporcionamos la siguiente tabla:

CLFF	ZZZZ	Descripción
0X00	0000	Evitada lógicamente no es una trama
1000	0000	Trama no restringida
1100	0000	Trama restringida
		<u>Tramas MAC</u>
1L00	0001	Usada por protocolo MAC
	↓	↓
1L00	1111	Usada por protocolo MAC
1L00	0010	MAC guía
1L00	0011	MAC petición
		<u>Trama de administración de estación</u>
0L00	0001	Usada por protocolo SMT
	↓	↓
0L00	1111	Usada por protocolo SMT
CL01	r000	LLC contiene datos del usuario
	↓	↓
CL01	r111	LLC contiene datos del usuario
0L01	rPPP	Transmisión asíncrona con prioridad PPP
1L01	r000	Transmisión síncrona
		<u>Tramas Reservadas</u>
CL10	r000	Reservada para implementación
	↓	↓
CL10	r111	Reservaba para implementación
CL11	rrrr	Reservado para una versión futura del estándar

Figura 36 Campo de control de trama

X=bit 0 o 1

r= Reservado para futura estandarización

C= Bit de classe

L= Bit de longitud

- ED (Ending Delimiter) o delimitador de fin indica el final de la trama:

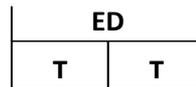


Figura 37 Subcampos delimitador de fin

T= Símbolo de fin

El segundo formato que indicaremos agrega cuatro campos entre el FC y ED, la cual está formada por una secuencia de trama SFS (Start of Frame), cobertura de secuencia de chequeo de trama FCS (Frame Check Sequence) y final de secuencia de trama EFS (End of Frame Sequence) como se muestra en la figura:

SFS		Cobertura de FCS					EFS	
PA	SD	FC	DA	SA	INFO	FCS	ED	FS
(16S)	(2S)	(2S)	(12S)	(12S)	(xxS)	(8S)	(1S)	(3S)
(64b)	(8b)	(8b)	(48b)	(48b)	(xxb)	(32b)	(4b)	(12b)

Figura 38 Formato de trama para FDDI

- DA (Destination Address) o dirección fuente puede contener direcciones unicast, multicast o broadcast
- INFO contiene cualquier información destinada para un protocolo de capas superiores o información de control
- FCS (Frame Check Sequence) o secuencia de chequeo de trama se llena con el CRC (Cyclic Redundancy Check) para determinar si la trama pudo haber sido alterada en su trayecto en el caso de serlo la trama se descarta
- ED (Ending Delimiter) indica el final de la trama

ED

T

Figura 39 Fin de la trama

T= Símbolo de fin

- FS (Frame Status) o estado de la trama incluye la dirección de error (E), reconocimiento de dirección (A) y copiado de trama (C) como se muestra a continuación:



Figura 40 Formato del campo de estado de trama

R= Símbolo de puesta a cero, representa "apagado o falso"

S= Símbolo de puesta a uno, representa "encendido o verdadero"

T= Símbolo de fin

2.2.4 Codificación

El sistema de codificación como lo hemos visto es de 4B/5B lo que hace es cada grupo de 4 bits es codificado en grupos de 5 bits llamado un símbolo con un 80% de eficiencia, estos símbolos son definidos por números hexadecimales del 0 al F. (FORTIER, 1992)

Como podemos observar en la tabla se muestran los símbolos usados en esta codificación:

Tabla 2
Código empleado por FDDi

Símbolo	Codificado 4B/5B	Uso
Hex 0	11110	0000 binario
Hex 1	01001	0001 binario
Hex 2	10100	0010 binario
Hex 3	10101	0011 binario
Hex 4	01010	0100 binario

Hex 5	01011	0101 binario
Hex 6	01110	0110 binario
Hex 7	01111	0111 binario
Hex 8	10010	1000 binario
Hex 9	10011	1001 binario
Hex A	10110	1010 binario
Hex B	10111	1011 binario
Hex C	11010	1100 binario
Hex D	11011	1101 binario
Hex E	11100	1110 binario
Hex F	11101	1111 binario
H	00100	Paro, fuerza interrumpiendo sistema
I	11111	Disponible, no transmitiendo datos
J	11000	Trama, mensaje y guía comienzo de la señal
K	10001	Trama y guía comienzo de señales
Q	00000	Silencio, no señal transmitida
T	01101	Termina, fin de señal de trama mensaje y guía
S	11001	No transmitiendo un símbolo excepto en trama de estados también denota un uno lógico
R	00111	No normalmente enviando un dato, también denota un cero lógico
V o H	00001	Invalido paro símbolo ilegal
V o H	00010	Interpretado como paro
V o H	01000	
V o H	10000	
V	00011	
V	00101	
V	00110	
V	01100	

Código empleado por FDDi

La transmisión actual de los datos se realiza usando el esquema de transmisión no retorno a cero invertido o NRZI, con la cual la presencia de un dato binario 1 causa un cambio de nivel en la señal a transmitirse mientras que un 0 no lo hace:

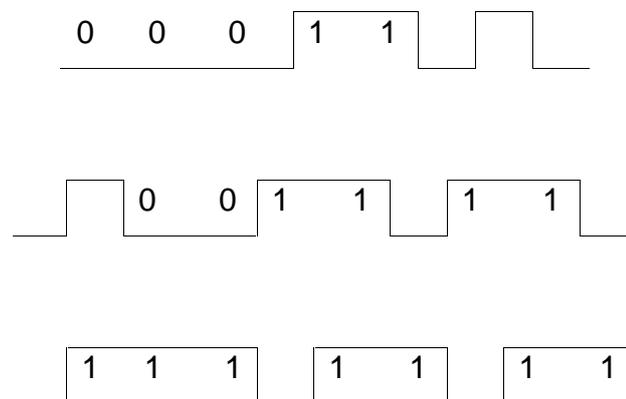


Figura 41 Esquema de codificación FDDI 1) representación binaria de 1A Hex, 2) Codificación 4B/5B de 1) y 3) Codificación NRZI de 2)

2.2.5 Métodos de acceso

Una estación que desea transmitir espera hasta que una trama llegue indicado con un campo FC cuyos bits FF están puestos a 00 y los bits ZZZZ a 0000, la estación puede continuar transmitiendo hasta que no tenga más datos por transmitir o hasta que el THT (tiempo de posesión de la trama) expire. Otras estaciones que están a la espera de tramas copian y repiten las tramas entrantes.

En el ejemplo que mostraremos la comunicación se realiza sin utilizar algunas variantes del esquema de acceso FDDI como el uso de los modos con restricciones o el uso del esquema de prioridades.

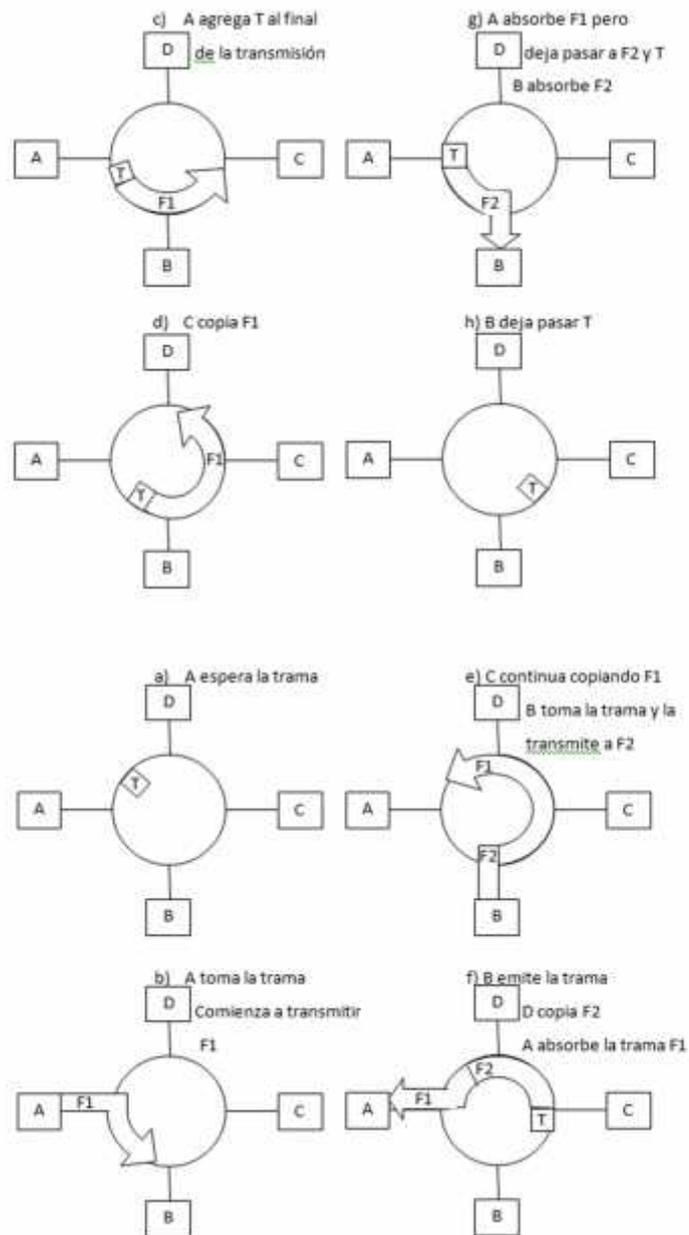


Figura 42 Método de acceso a comunicación utilizado por FDDI

2.2.6 Procedimientos complementarios de funcionamiento

Además del proceso de transmisión, existen algunos procedimientos que llevan a cabo otras funciones como inicialización o recuperación de fallas.

Para esto cada entidad Mac debe implantar una serie de relojes y contadores cuyos objetivos son:

- Permitir la inicialización del TRT
- Permitir una recuperación rápida de errores en el anillo

- Auxiliar en la recolección de estadísticas del anillo para SMT

En la siguiente tabla se proporciona una serie de variables utilizadas en la negociación del parámetro de operación del anillo T_Opr.

Tabla 3
Variables de temporización

Parámetro	Descripción
TTRT	Tiempo objetivo de rotación de T
TRT	Tiempo de rotación de T
T_Max	Máximo TTRT a ser soportado por ese nodo
T_Min	Mínimo TTRT a ser soportado por ese nodo
T_Bid	Valor declarado para TTRT recibido en una trama de petición
T_Req	TTRT solicitado para estaciones síncronas
T_Neg	TTRT negociado durante el proceso de petición
T_Opr	TTRT operativo durante el proceso de petición

El T_Min y el T_Max son los valores mínimos y máximo del T_Opr que soporta ese nodo y será útil para operar apropiadamente

Es importante notar que el TRT es un reloj mecánico el cual es incorporado dentro de cada nodo, mientras que el TTRT es un valor el cual es negociado durante el proceso de inicialización, este podría ser sinónimo del T_Opr

2.2.6.1 Procedimiento de inicialización

Cada vez que un nodo nuevo es puesto en operación este ejecuta un proceso de inicialización, el cual se debe ejecutar en 2 pasos con la SMT e iniciar la MAC. El primero de estos pasos prueba la MAC en modo de lazo de retorno lo que permite ir sobre el anillo. En la figura se presenta un diagrama de flujo del proceso de inicialización:

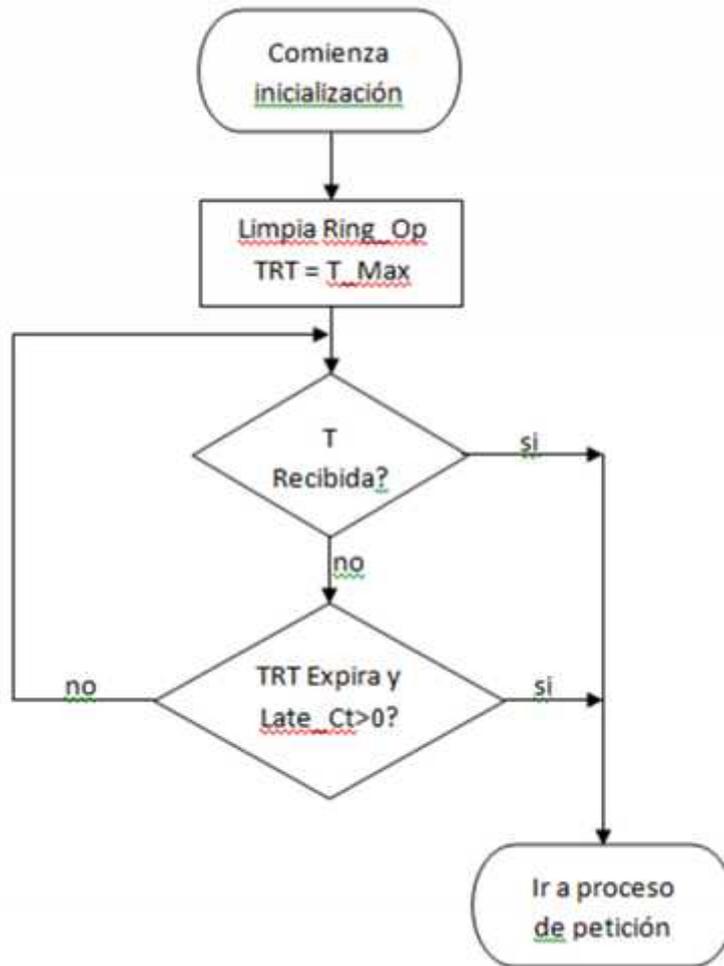


Figura 43 Diagrama de flujo procedimiento de inicialización

2.2.6.2 Proceso de petición

En el proceso de petición todos los nodos sobre la red solicitan el derecho de inicializar la red. Un nodo compara la trama de petición con el valor del T_Bid de la trama con su T_Req , si T_Req es inferior el nodo ha ganado la petición y sustituye T_Req por T_Bid antes de pasar la trama al siguiente proceso, si fuese igual pasa al siguiente nodo que tenga la longitud de dirección mayor para la petición. Si pierde la petición el T_Neg

del actual nodo es puesto al T_Bid antes de pasar la trama de petición al siguiente nodo, a continuación mostramos un diagrama de flujo del proceso:

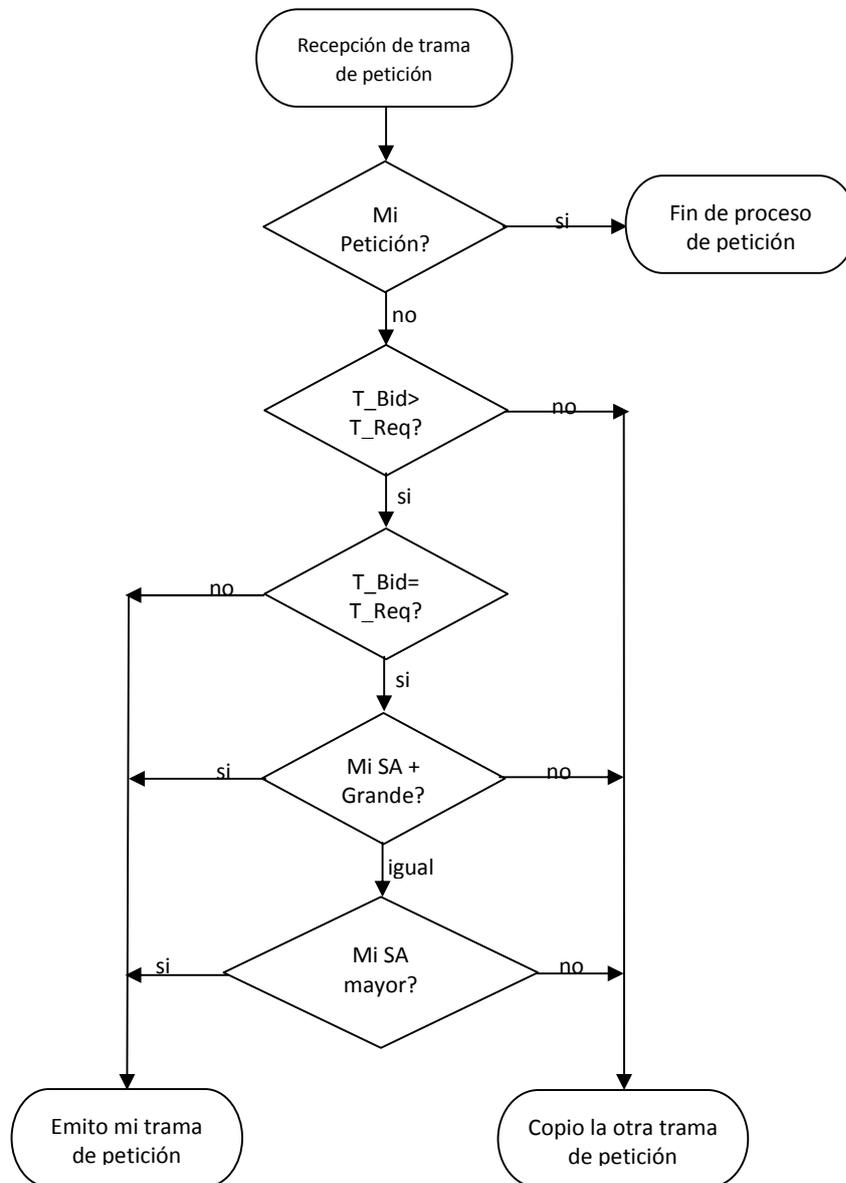


Figura 44 Diagrama de flujo proceso de petición

El proceso termina cuando un nodo recibe su propia trama de petición de regreso, con lo cual todos los demás nodos tendrán puestos sus T_Neg al T_Req del nodo ganador

2.2.6.3 Proceso de guía

Este proceso comienza cuando un nodo hace intentos insatisfactorios del proceso de petición. Si el TRT expira durante dicho proceso el nodo emite una trama guía, todos los nodos reciben estas tramas y las repiten además de las suyas propias, este proceso termina cuando el nodo recibe su propia trama guía de regreso, con lo cual el proceso de de petición se reintenta, el proceso se indica en la figura.

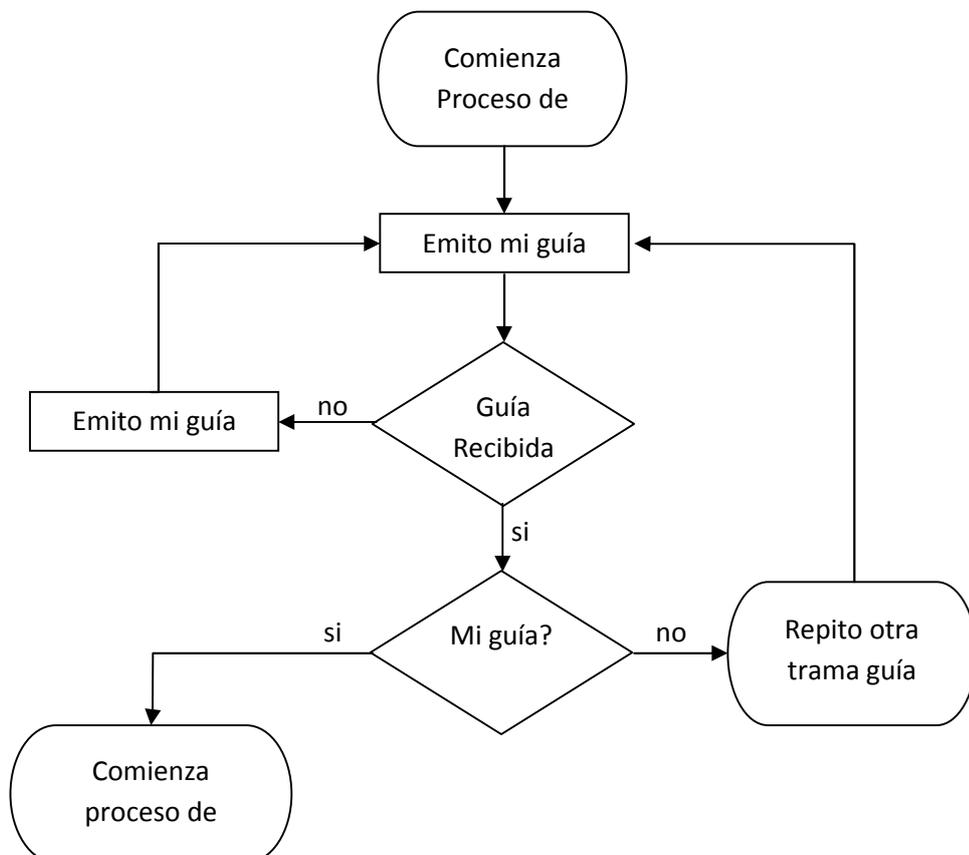


Figura 45 Diagrama de flujo proceso guía

2.2.6.4 Temporizadores en el proceso de transmisión

Durante el proceso de transmisión se carga el valor de T_Opr dentro del TRT. Este contador comienza a decrementar hasta cero. Si este alcanza el valor de 0 antes de que la trama sea recibida se dice que fue retrasada y

este contador se incrementa (Late_Ct). Cuando una trama valida se recibe y el Late_Ct no está activo pueden comenzar las transmisiones de datos asíncronos.

CAPÍTULO III

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA FDDI

3.1 Tipos de Nodos

FDDI define 5 tipos de nodos. Estos nodos pueden ser, ya sea estaciones o concentradores y ambos pueden ser también clase A o B. Para el diseño de una red FDDI es necesario conocer las principales características de los tipos de nodos. Por lo tanto, se presenta una breve descripción de las especificaciones de cada uno de los casos que se puedan presentar, para efectos posteriores de configuración. (BERNHARD, 1994)

a) Estación Clase A

Se muestra en la figura. El diagrama de operación de este tipo de nodo que es conocido también como estación de doble enlace (DAS: Dual Attachment Station). Esta se conecta directamente a los anillos primario y secundario. Las conexiones hechas al anillo primario se etiquetan como "PI" y "PO" (Primary Input y Primary Output, respectivamente) así también con los del secundario se etiquetan como "SI" y "SO" (Secondary Input y Secondary Output) y se usa como convención en FDDI para una DAS, que el agrupamiento (PI – SO) se llama puerto A y (PO – SI) se llama puerto B.

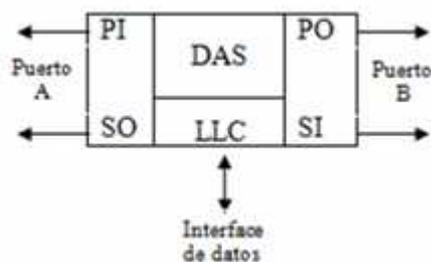


Figura 46 Estación clase A

b) Estación clase B

En la figura se muestra, el diagrama de operación de este tipo de nodo que es conocido también como estación de enlace sencillo (SAS: Single Attachment Station), este es el más simple de los nodos, pero estos no

pueden ser conectados directamente al anillo doble principal como lo son los nodos de clase B, sino mediante un concentrador.

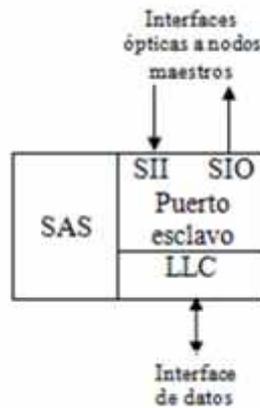


Figura 47 Estación clase B

c) Concentrador clase A

En la figura siguiente, el diagrama de operación de este tipo de nodo es conocido como concentrador de doble enlace (DAC: Dual Attachment Concentrator), y son utilizados para conectar estaciones u otros concentradores al anillo principal.

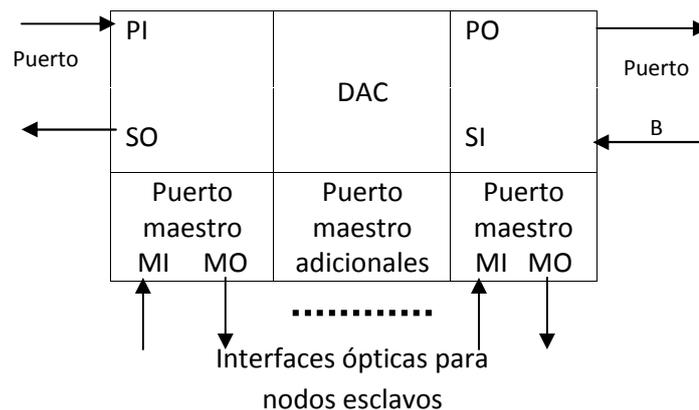


Figura 48 Concentrador clase A.

d) Concentrador Clase B

El diagrama de operación de este tipo de nodo es conocido también como concentrador de enlace sencillo (SAC: Single Attachment Concentrator). Estos no pueden ser conectados directamente al anillo doble

principal como lo son los nodos de clase B, sino mediante el puerto maestro de un concentrador para crear una estructura de ramificaciones que será detallada más adelante.

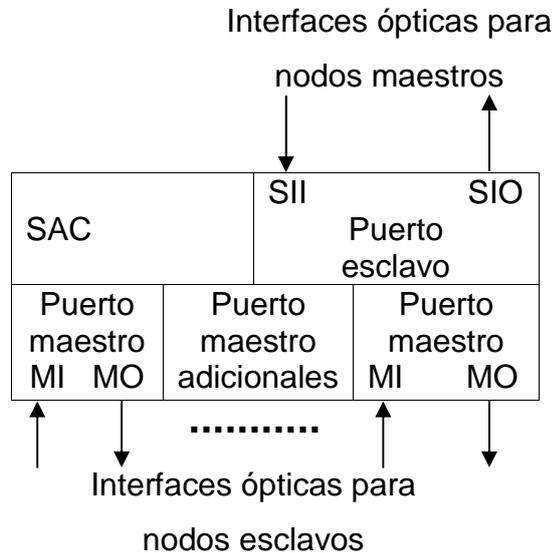


Figura 49 Concentrador clase B

e) Concentrador nulo

El diagrama de operación de este tipo de nodo que es conocido también como concentrador de enlace nulo (NAC: Null Attachment Concentrator), el cual es comúnmente utilizado para crear un anillo FDDI sin la necesidad de tener un anillo principal.

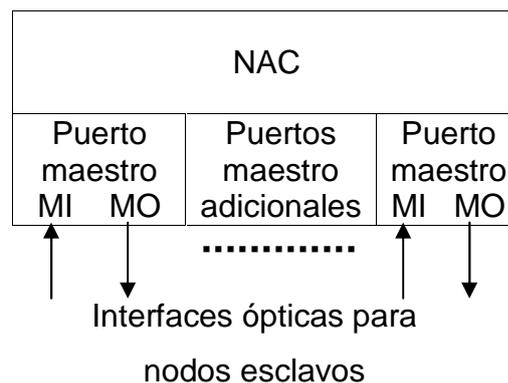


Figura 50 Concentrador Nulo

Cada uno de estos nodos tiene una interfaz para interconectarse a la red FDDI y se requiere de una programación que permita el uso de la red. Las características de los nodos y su conexión de puertos se resumen en la tabla.

Tabla 4
Conexiones de Puertos FDDI

Conexiones de Puertos Preferidas	
Puerto A a B y Ba A	Conexiones en anillo normal
Puerto M a S y S a M	Conexión normal ramificada
Conexiones de Puertos Especiales	
Puerto A a M y M a A	Conexiones en doble reposición
Puerto B a M y M a B	Conexiones redundantes usadas en doble reposición
Conexiones de Puertos no deseables	
Puerto A a A y B a B	Crea el trenzado de los anillos primarios y secundarios
Puertos A o B a S y S a A o B	Crea un anillo wrapped
Puerto S a S	Crea un solo anillo de dos esclavos
Conexiones de puertos ilegales	
Puertos M a M	Crea una topología de anillos ramificada

3.2 Configuraciones (conexiones) típicas

Dentro del ambiente FDDI, la red puede ser configurada de una gran variedad de formas. La elección depende de las aplicaciones y de las condiciones propias del diseño. Nombraremos algunos ejemplos de posibles configuraciones de la red:

- Anillo Dual sin ramificaciones
- Anillo Dual con ramificaciones

- Ramificaciones mediante adhesión a concentrador nulo
- Conexión de doble reposición
- Configuraciones no deseables
- Configuraciones ilegales

Anillo Dual sin ramificaciones

Esta configuración es recomendada para redes pequeñas donde los nodos siempre están prendidos. Es altamente realizable a partir de que todos los nodos son conectados directamente al anillo dual principal.

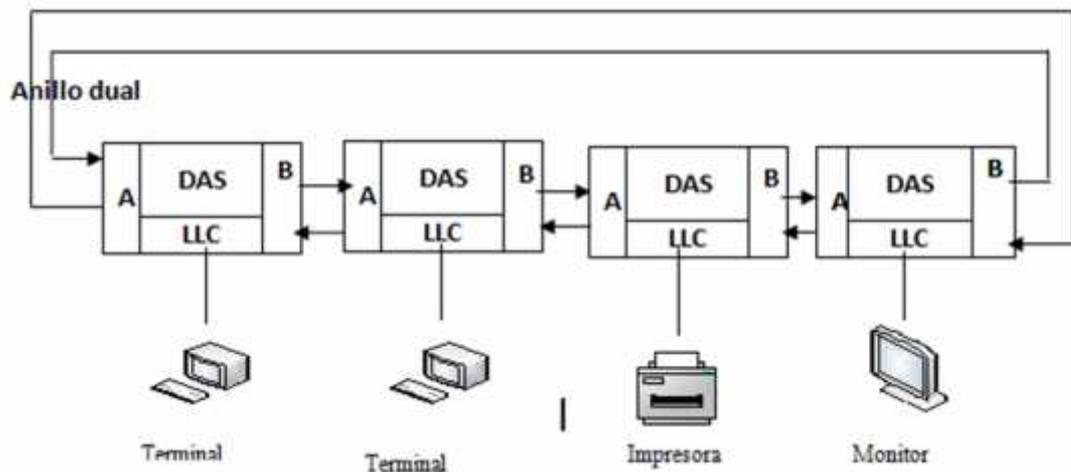


Figura 51 Anillo dual sin ramificaciones

Anillo Dual con ramificaciones

Esta configuración es la base del diseño para la estructura de red FDDI, ya que mediante las ramificaciones se logra cubrir muchas de las necesidades en un ambiente real de redes de cómputo. En la figura se muestra como pueden llevarse a cabo las ramificaciones en el anillo FDDI.

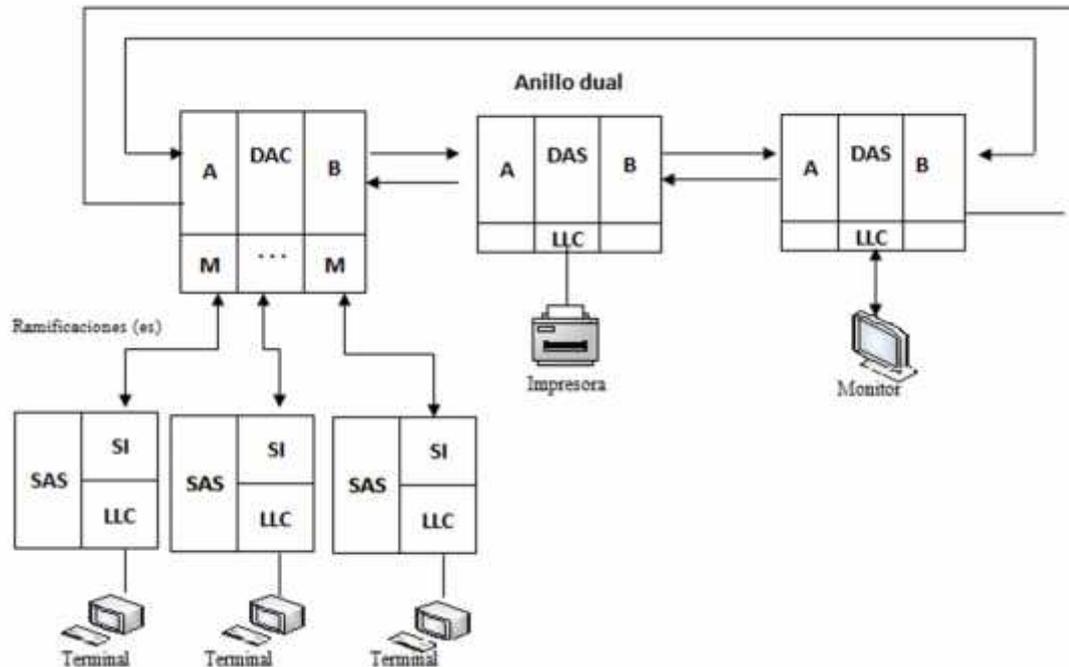


Figura 52 Anillo dual con ramificaciones

Ramificación mediante enlace en concentrador nulo

A continuación se muestra esta configuración, la cual, no contiene nodos clase A y es otra opción para integrar una pequeña red FDDI. La principal consideración es que los nodos deben estar a menos de dos kilómetros de radio del concentrador.

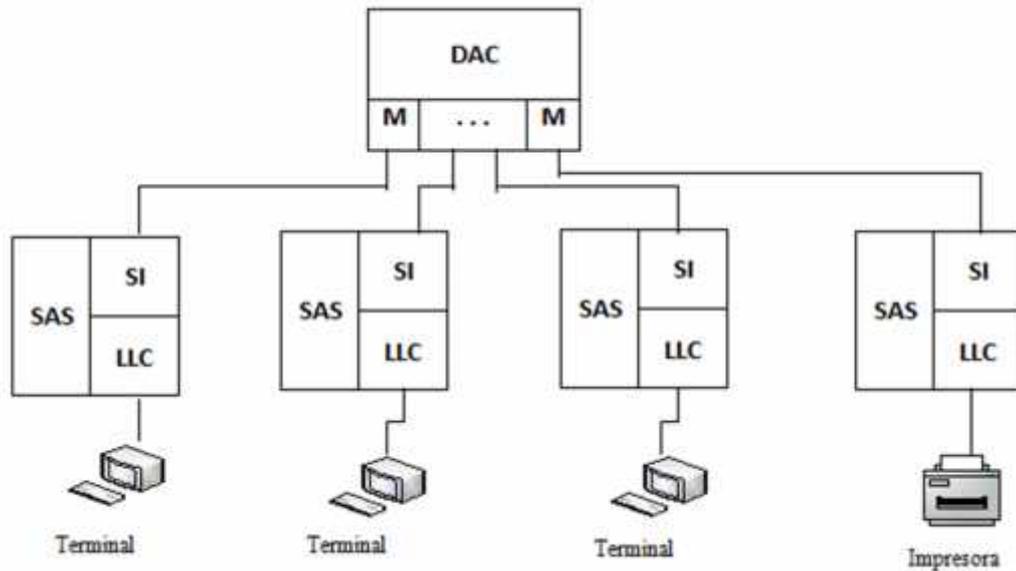


Figura 53 Anillo en concentrador de enlace nulo

Conexión de doble reposición

La figura muestra esta configuración, en un método para conectar nodos clase A en una estructura de ramificaciones. Y tiene como principal objetivo el proporcionar caminos redundantes en un esfuerzo por proporcionar mayor fiabilidad.

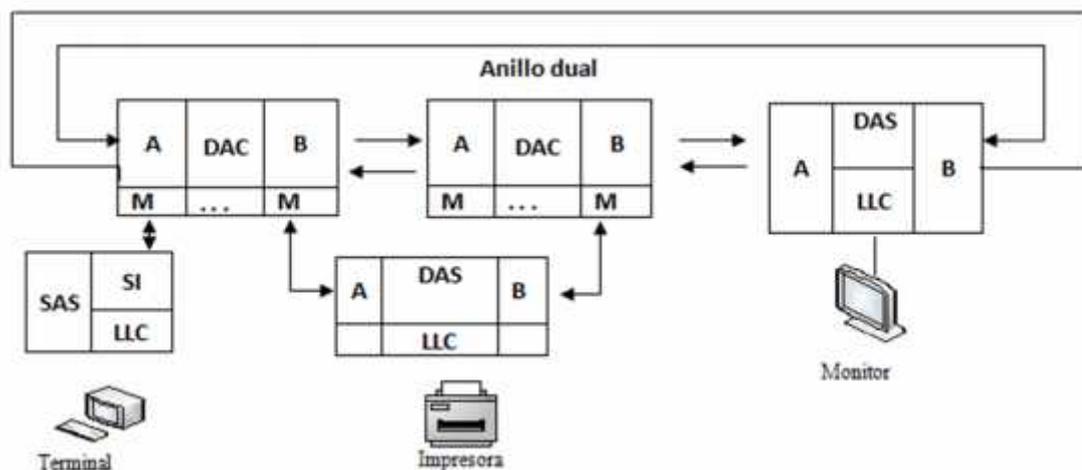


Figura 54 Conexión en doble reposición

Configuraciones no deseables

FDDI permite algunas configuraciones peculiares no-deseables pero legales. Las figuras muestran algunas de ellas, así como en la tabla anterior, se han indicado las conexiones de los distintos puertos que conforman redes FDDI.

En la figura 55 ambas estaciones sencillas están conectadas al anillo principal. Esto crea 2 puntos de retorno; si cualquiera de estas estaciones sencillas se elimina la operación del anillo no cambiará debido a que la estación doble hará el retorno del anillo en tal forma como lo realizan las estaciones sencillas. Esta es una conexión no usual en la red, pero trabaja.

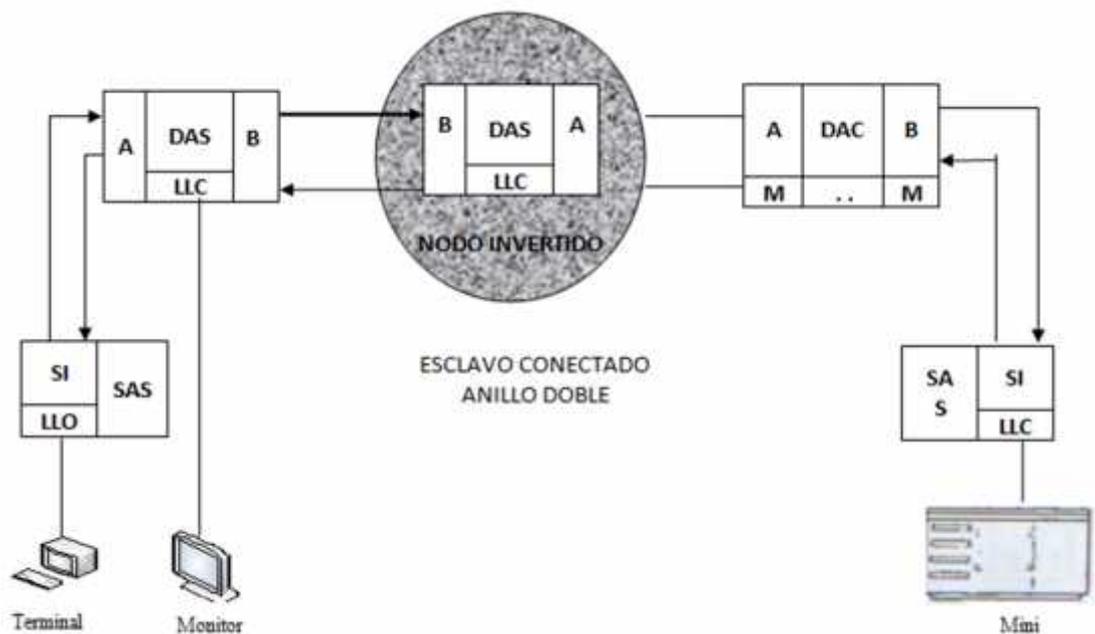


Figura 55 Configuración no deseable

En la figura 56 y 57, se muestran otras configuraciones no deseables, como crear anillos esclavos (56), los cuales trabajan como redes FDDI sin las características redundantes del anillo doble, o si se utiliza enlaces de nodos múltiples que se puede configurar un anillo como se demuestra en (57).

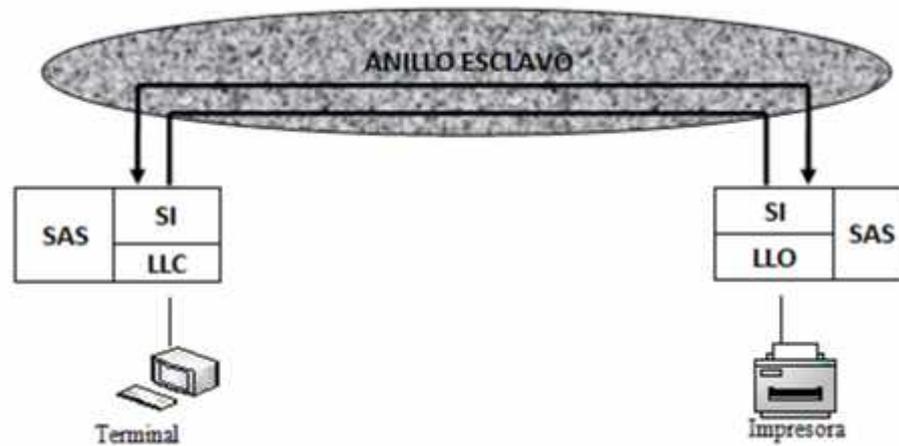


Figura 56 Anillo esclavo para dos nodos

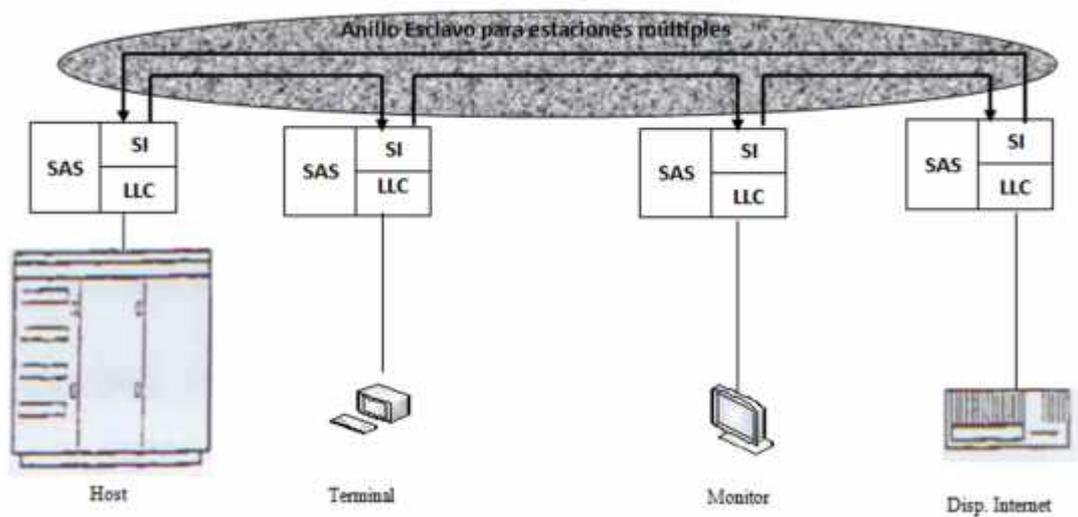


Figura 57 Anillo esclavo para nodos múltiples

Configuraciones Ilegales.

La figura 58 muestra un ejemplo de una configuración de red FDDI que no trabaja, ya que los conectores hacen imposible conectar puertos esclavos y crear un anillo de nodos.

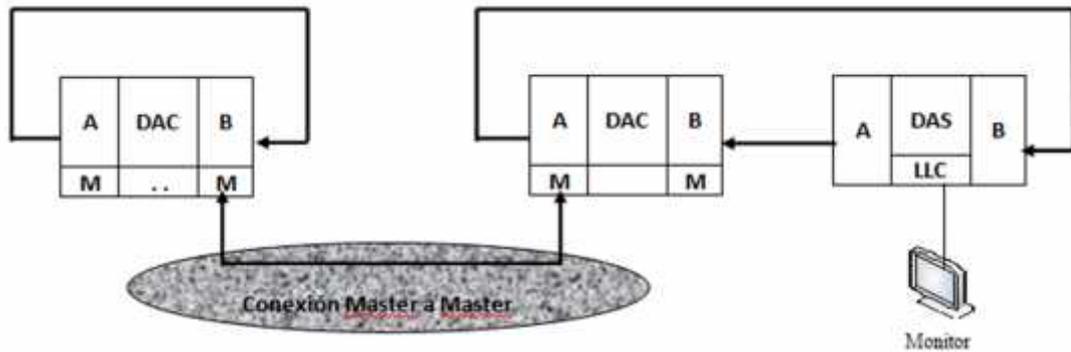


Figura 58 Ejemplo de configuración ilegal

3.3 Dispositivos de Interconexión en redes FDDI

Existe un balance entre el número de nodos en el anillo principal y el número de ramificaciones. Por ejemplo, el estándar recomienda que la red este limitada a 1000 nodos, algunas redes exceden este número, pero por otro lado también es concebible contar con redes de solo 4 nodos. En redes grandes es donde los concentradores (para particionar las redes), ramifican en forma natural una red FDDI. Como se muestra a continuación una red que se extiende a varios edificios.

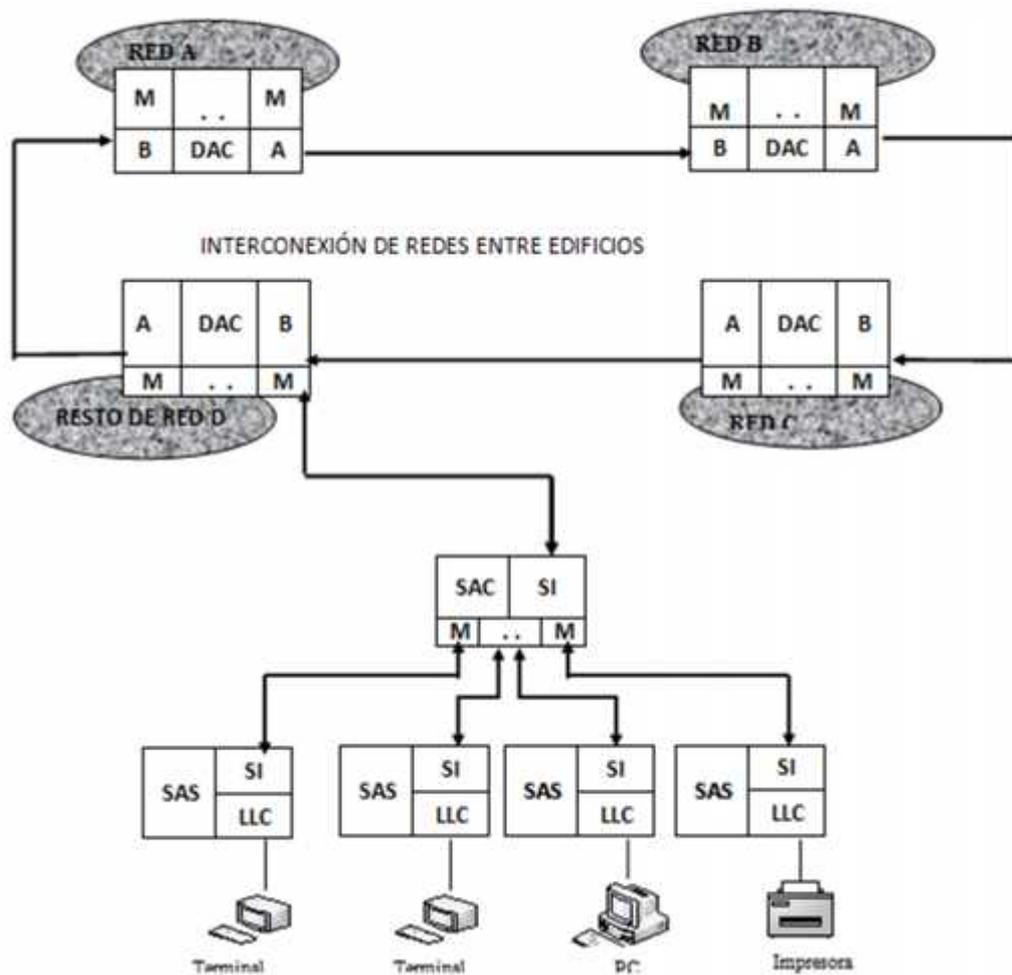


Figura 59 Esquema de una red FDDI de gran tamaño

Una red de computo no tiene las mismas características que una red de un campus, así que FDDI permite diferentes medios de operación y límites entre estaciones FDDI está diseñado para cubrir una amplia gama de aplicaciones, por ejemplo, un centro de cómputo requiere una gran demanda en caudal eficaz y confiabilidad. Por otro lado, unir oficinas, edificios distribuidos en un campus (comunicación intracampus) o unir redes pertinentes a varios campus (comunicación intercampus) requerirá las diferentes estaciones, es decir estaciones sencillas, dobles, concentradores, así como los diferentes tipos de dispositivos de interconexión.

3.3.1 Dispositivos de Interconexión

Una red FDDI es a menudo solo una pieza de una gran red por lo que para lograr una interconexión, se requerirá los dispositivos que dependerán de los tipos de redes y de los protocolos que se involucren.

FDDI se adhiere a la organización Internacional de Estándares (ISO, por sus siglas en inglés) y a su modo de referencia conocido como OSI, el cual distribuye las funciones a realizar por un equipo de cómputo en 7 capas. Las funciones de los dispositivos de interconexión, se clasifican de acuerdo a las capas que cubren el modelo de referencia, tal como se muestra en la figura a continuación.

El orden de estos dispositivos, se clasifican de acuerdo al nivel en que trabajan y las funciones que realizan, a medida que aumentan sus funciones aumentan su complejidad. De acuerdo a un orden ascendente, los dispositivos de interconexión son: repetidores, puentes, enrutadores y pasarelas (Gateway).

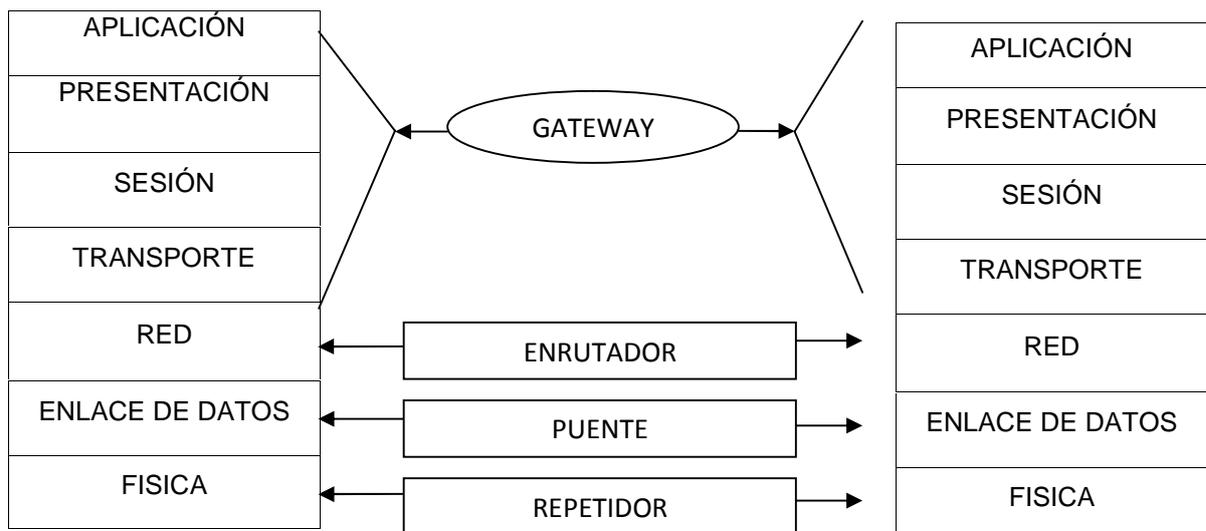


Figura 60 Capas de interconexión del modelo de referencia OSI

- **Repetidores**

Los repetidores tal como se utilizan, en redes Ethernet y cuya finalidad es ampliar la distancia de enlace, en FDDI se utilizan como pseudonodos para regenerar la señal óptica y permitir ampliarla, según lo especifica el estándar, el espaciamiento entre estaciones es de 2 km; al unir dos repetidores se podría tener entre estaciones hasta 6 km de separación entre ellas, tal como se lo muestra en la gráfica siguiente.

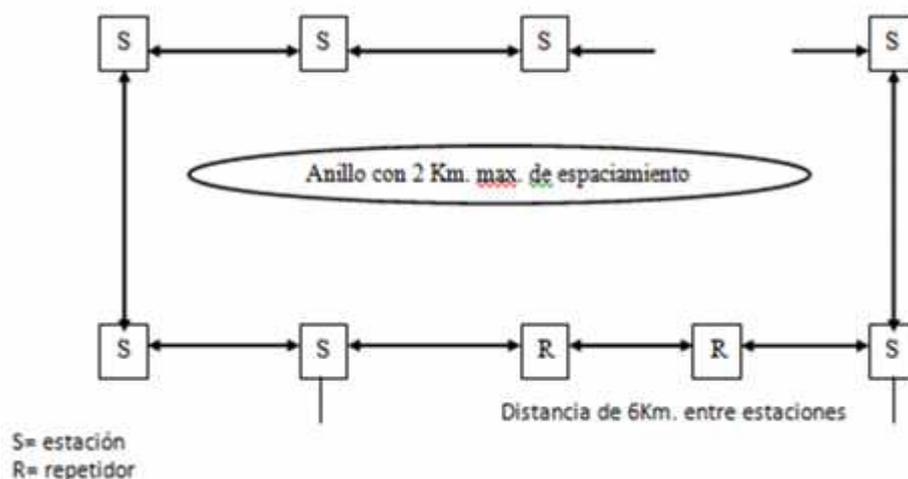


Figura 61 Aplicación de repetidores en una red FDDI

- **Puentes**

Los puentes o bridges se utilizan para enlazar redes FDDI múltiples. Este dispositivo trabaja en la **subcapa de control de enlace lógico** de la capa 2 del modelo de referencia, que es la capa de enlace de datos. Los puentes identifican el direccionamiento de los paquetes en esta capa y solo dejan pasar los paquetes de información que no pertenecen a ella, es decir realiza un filtrado basándose en la información de direccionamiento de la capa 2. Este filtraje de información, mejora con el desempeño de la red ya que aísla tráfico que se genera en cada una de las redes, en la figura 62, se muestran 3 redes FDDI interconectadas por puentes.

Los parámetros importantes para decidir la selección de puentes y que inciden directamente en el desempeño de una red son dos:

- la razón del filtrado
- la razón del re-envío de paquetes

La razón del filtrado es el número máximo de paquetes por segundo que el puente puede inspeccionar para decidir el re-envío

La razón de re-envío es el número máximo de paquetes por segundo que el puente puede copiar en la red destino, aquí tiene importancia la capacidad del puente para almacenar en su memoria la información a reexpedir a la red destino.

La red que se muestra en la ilustración es el caso topológico clásico en que 3 redes pueden compartir información de un servidor remoto. En las 2 últimas figuras se muestran otros ejemplos de enlaces con puentes, en la figura 63 se muestra un enlace de una red FDDI con una red Ethernet para compartir información; y en la figura 64 se muestra el enlace de dos redes Ethernet utilizando una red FDDI como dorsal de enlace rápida, esta última topología es de las más usuales en las redes FDDI.

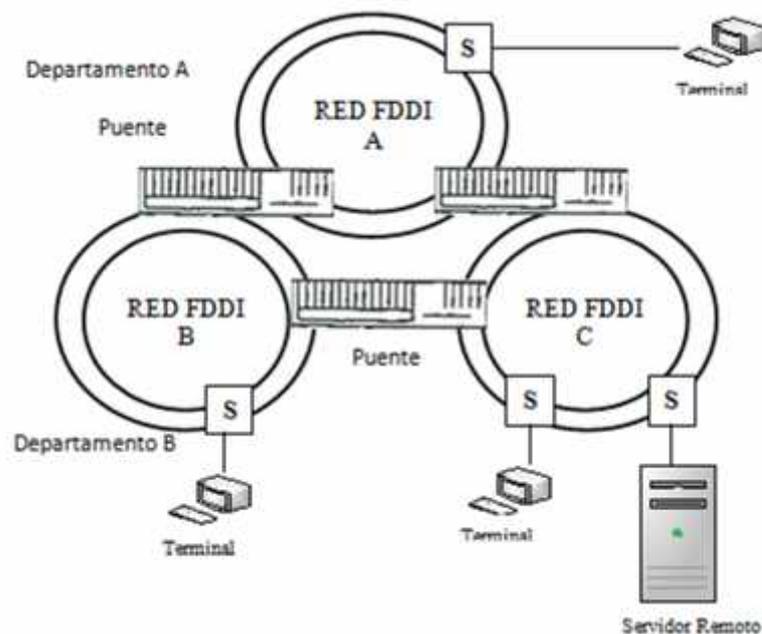


Figura 62 Redes FDDI interconectadas por puentes

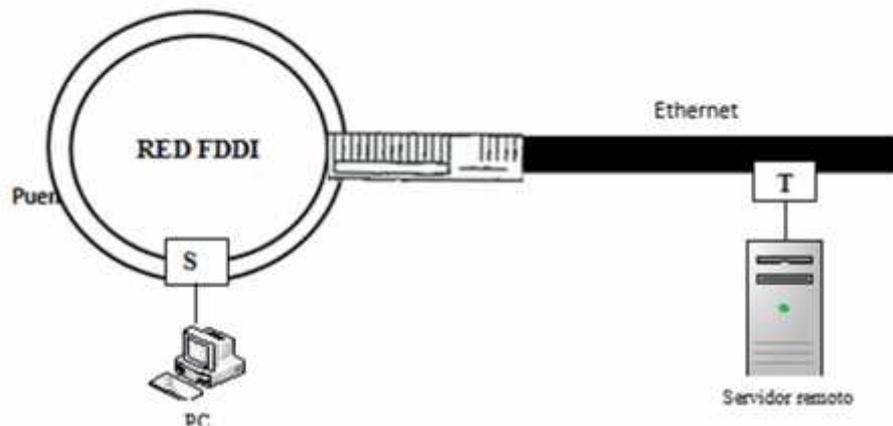


Figura 63 Puenteo entre dos redes (FDDI y Ethernet)

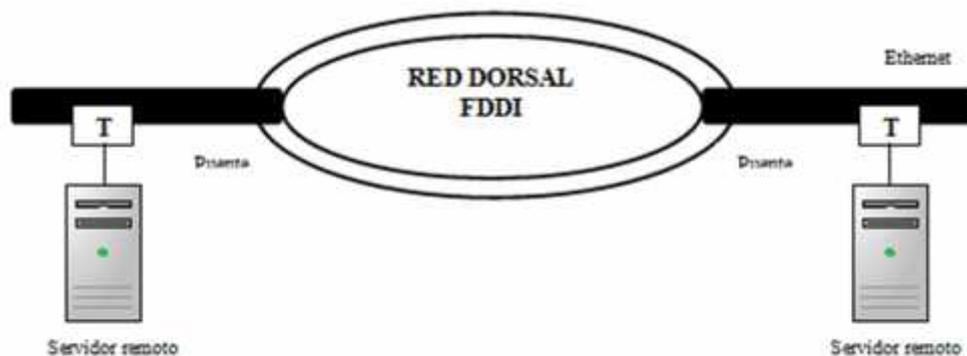


Figura 64 Red FDDI utilizada como dorsal

- **Enrutadores (Routers)**

Los enrutadores permiten enlazar redes que se adhieren al modelo de referencia OSI de Organización Internacional de Estándares, tales como por ejemplo: x25 y Ethernet. Los enrutadores trabajan sobre la información existente en la capa 3 (Red) del modelo de referencia, de acuerdo con dicha información, este dispositivo puede decidir la ruta que deberá seguir la información para enlazar una gran variedad de redes, como pueden ser: redes públicas de datos x25, redes satelitales, redes con enlaces privados utilizando velocidades de E0 (64Kbps) o E1 (2.048 Mbps). Para manejo de la información de enrutamiento, este dispositivo debe tener un mejor y mayor procedimiento de datos con respecto a los puentes, es decir, el tiempo de dicho procedimiento será mayor, lo que tiene una incidencia en el

desempeño de la red. El enrutador debe tener un almacenador de información (buffer) que permita contener los paquetes de entrada, adecuar su formato para la retransmisión, determinar su ruta de salida y transmitir la información hacia la red destino.

La figura muestra el caso de enrutamiento entre dos redes, una FDDI y otra que utiliza la interfaz x25.

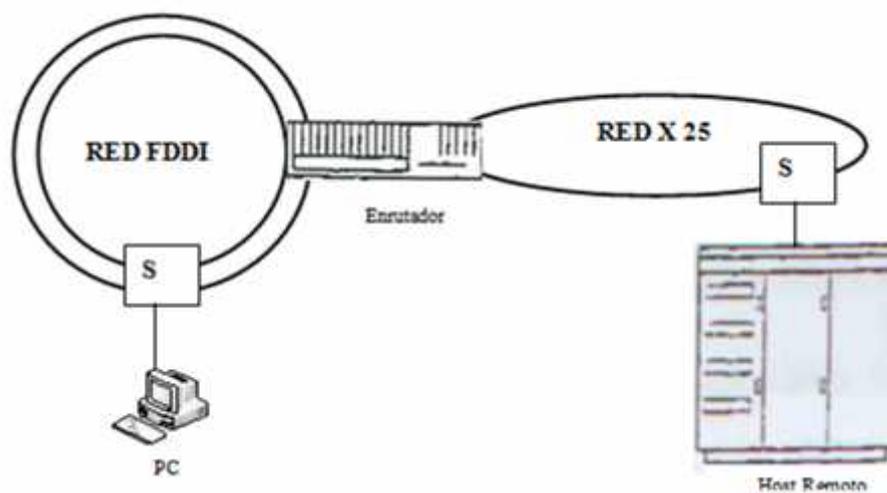


Figura 65 Enrutamiento de información entre dos redes.

- **Puertas de enlace (Gateways)**

Las puertas de enlace son los dispositivos de interconexión más complejos. Interconectan redes de arquitecturas diferentes, es decir aquellas que difieren al modelo de referencia OSI. Las puertas de enlace realizan la conversión de protocolos en dos direcciones, para llevar a cabo la conversión de protocolos que haga transparente a los nodos finales su comunicación, como si estuvieren intercambiando información con nodos similares a ellos. En la figura 66 muestra la interconexión de dos equipos en redes con arquitectura diferente, una red SNA y una red FDDI. La puerta de enlace tiene un programa especial que permite interconectar varias redes y mantener la sesión entre el usuario de una red FDDI y el host remoto en la

red SNA: este programa que permite el enlace es especial para cada arquitectura y/o aplicación, existen gateways que permiten la interconexión de varias arquitecturas, lo cual les hace más sofisticadas.

Una gateway tiene entre todos los dispositivos de interconexión, el tiempo de procesamiento más largo, por lo que introduce más retardo y baja el desempeño de la red.

Frecuentemente están implantados en una minicomputadora, por la facilidad inherente de modificar y mantener la programática.

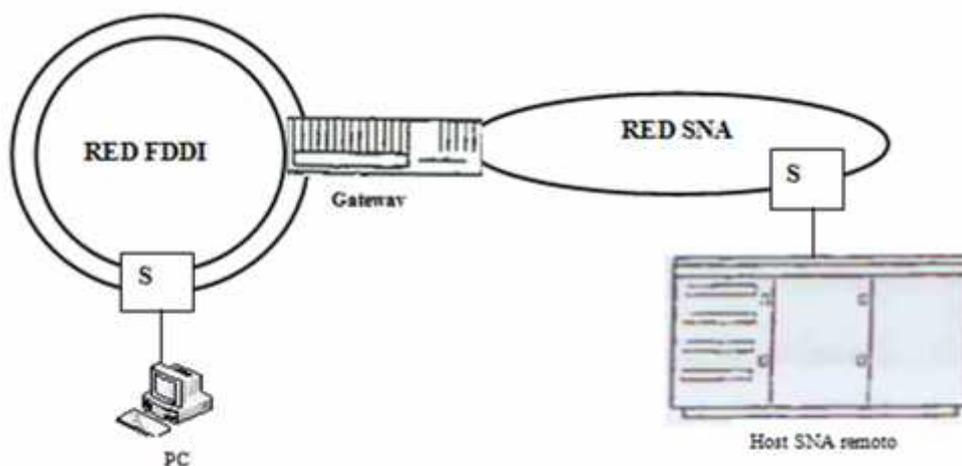


Figura 66 Redes interconectadas a través de una pasarela

3.4 Autoprotección contra fallas

Dentro de la topología de anillo empleada por FDDI, se provee un incremento en la tolerancia a fallas, mediante la posible configuración de doble anillo contra rotacional. En este caso cada anillo (uno llamado primario y otro secundario) opera separadamente a 100 Mbps sobre caminos separados. Normalmente estos son dos conexiones de cable de fibra doble adheridas a cada nodo en una implantación de doble anillo. La primera conexión de cable de fibra doble porta la señal de entrada para el anillo primario y la señal de salida por el anillo secundario. La segunda conexión porta la señal de salida por el anillo primario y la de entrada por el anillo

secundario. Las conexiones primaria y secundaria son definidas para que en tráfico normal se utilice el anillo primario. El anillo secundario es redundante y es utilizado para recobrar en caso de fallas.

FDDI permite dos tipos de estaciones de red o nodos sobre el anillo:

- Clase A, el cual puede conectarse simultáneamente al anillo primario y secundario
- Clase B, el cual puede conectarse únicamente sobre un anillo a la vez.

Las estaciones clase A usan la conexión doble, configuración descrita anteriormente. Las estaciones clase B, de cualquier modo, utilizan una sola conexión para portar las líneas de entrada y salida de la señal del anillo. La figura 67, ilustra las clases de estaciones y sus conexiones en una configuración típica.

El doble anillo contra rotacional de la configuración de la clase A, provee un grado de tolerancia de fallas que no es encontrado comúnmente en un medio ambiente de RLDs.

Estas características son altamente deseadas para una RLD que se esté usando en un ambiente de tiempo real en el cual la confiabilidad y disponibilidad son críticas.

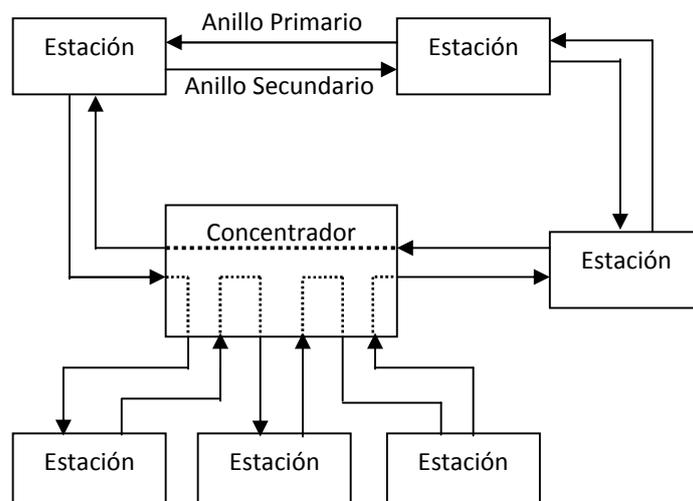


Figura 67 Implantación FDDI

El primer tipo de falla incluye la pérdida de un nodo procesador adherido a la unidad de interfaz en la red. En este caso, un derivador óptico (como se muestra en la figura 68) puede configurarse para este estado de derivación, el cual habilita el flujo de datos a través de la unidad de interfaz de nodo (NIU: Node Interface Unit) de la estación deshabilitada. Así el anillo en uso permanecerá operando, pero con la pérdida del procesador de la estación adherida.

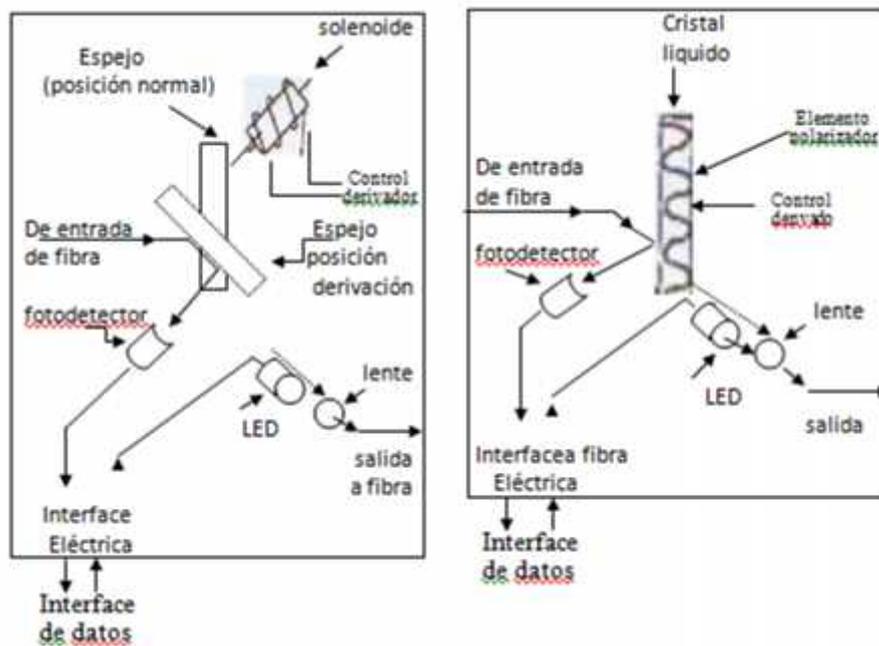


Figura 68 Interruptores derivados (a) mecánica y (b) estado sólido óptico. Las líneas sólidas indican camino normal de la luz; las punteadas indican el camino de luz derivado y la posición de derivación del prisma.

El segundo tipo de falla, en un error fatal de enlace en el anillo primario en una configuración doble, causa la pérdida de comunicación en este anillo. En este caso todos los datos a transmitirse se mueven al anillo secundario y el uso del anillo primario que fallo es interrumpido. Nótese que esta acción remueve efectivamente todas las estaciones clase B del anillo previo donde estaba. Así, las estaciones clase B son pensadas únicamente para uso en conexiones no críticas de red. Esta falla es demostrada en la siguiente figura.

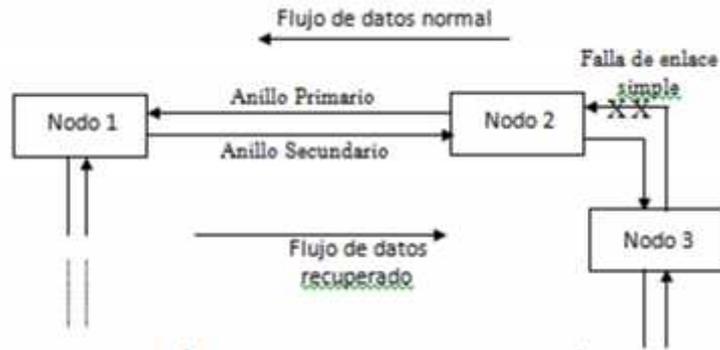


Figura 69 Falla tipo 2 y su recuperación

El tercer tipo de falla ocurre cuando se pierde una NIU, cuando falla el anillo doble entre los dos NIUs o cuando es aislada por múltiples fallas de enlace. Cada caso es mostrado en la figura 71. La recuperación para estos tres tipos de falla involucra características de lazo de respaldo, los cuales enrutan todos los datos de entrada a lo largo de otra fibra en el mismo cable. En esta situación, cada estación (excepto los puntos de lazo de regreso) tendrán dos conexiones al mismo anillo y el protocolo debe reconocer este hecho y ajustar esta operación adecuadamente. Así, cada NIU (excepto las de los puntos de lazo de regreso) verá el mismo mensaje dos veces, uno sobre cada conexión de anillo (primario y secundario). También es posible, que la falla tipificada en la figura 71c cause el aislamiento de más de un nodo en el anillo. En este caso, se formará, dos anillos independientes con interconexiones no comunes. El tipo de falla 1 es recuperable únicamente para estaciones de clase B, a partir de que no hay camino de comunicación de respaldo para esta clase de estaciones. (FORTIER, 1992)

Volviendo al mecanismo derivador mostrado en la figura 68, actualmente hay dos tipos de interruptores derivados disponibles:

- Mecánico
- De estado sólido.

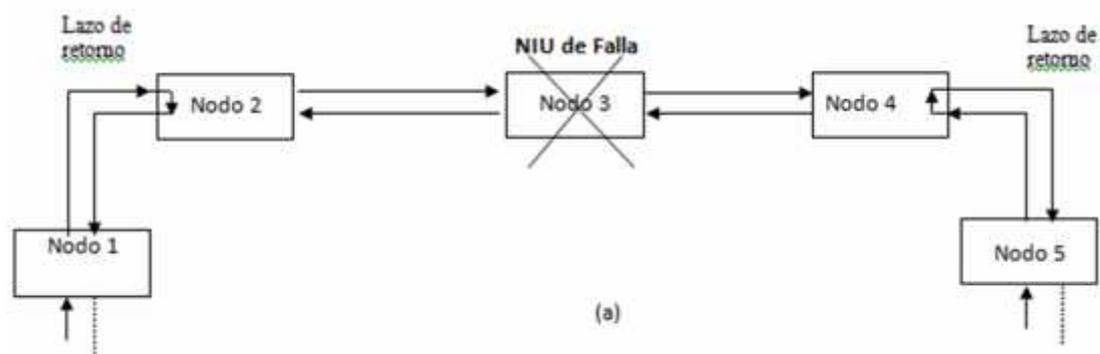
El primer mecanismo utiliza un solenoide y un prisma adherido para refractar la luz a la interfaz apropiada. El derivador de estado sólido no

contiene partes en movimiento pero en su lugar utiliza un campo eléctrico sensitivo para polarizar un cristal de material líquido. Cuando se polariza en cierta forma, el cristal refleja en una dirección en particular. Los parámetros de operación de este derivador óptico son mostrados en la figura 70.

Parámetros	Descripción	Mínimo	Máximo
T_{es}	Velocidad de conmutación	**	**
T_{so}	Tiempo de retardo	**	**
T_{so}	Tiempo de interrupción del medio	0	15ms
T_s	Tiempo de conmutación	0	25ms
	Atenuación entrada a salida	0	2.5dB
	Aislamiento entre canal	40dB	w

Figura 70 Parámetros de Operación del derivador óptico

La cantidad de tiempo que la red es interrumpida será la en una red grande con muchos nodos conectándose y desconectándose constantemente.



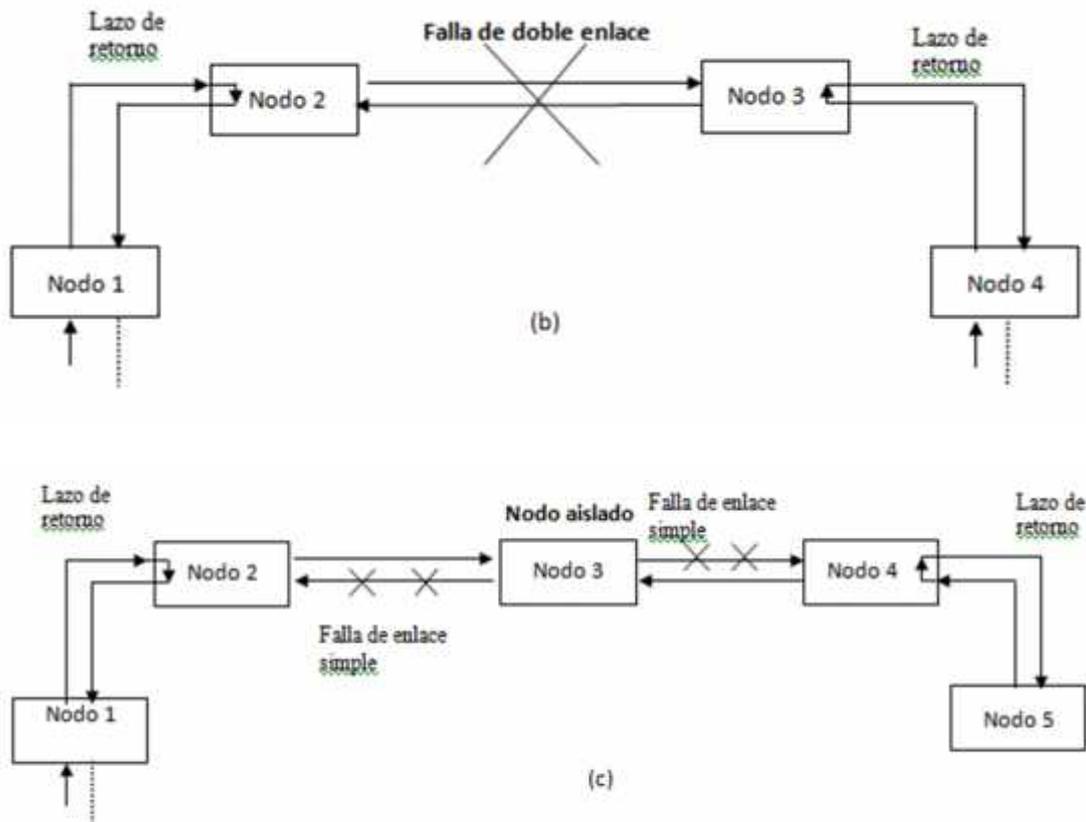


Figura 71 Modos de falla tipo 3 y su recuperación usando un lazo de retorno: (a) falla en NIU, (b) falla de doble enlace y (c) falla de nodo aislado.

3.5 Clases de servicios soportados

El tráfico de datos puede ser dividido en sensitivos al tiempo y no sensitivos al tiempo, los cuales, pueden ser manejados como las dos principales clases de comunicación en FDDI, los síncronos y los asíncronos respectivamente. En el servicio síncrono, muchos nodos generan datos de una razón constante, tales como voz y video, por lo que se les debe garantizar un servicio a una razón constante, este es el objeto principal del servicio síncrono de FDDI, en este servicio el ancho de banda se distribuye a todas las estaciones. El servicio asíncrono se utiliza para la transferencia de datos de todo tipo, como transferencia de archivos de una terminal remota a un servidor. En la mayoría de los casos la transferencia de datos no es crítica en tiempo, por lo que no resultará dañada si existe algún retraso en la

red, los cual no se aplica para el tráfico síncrono. El servicio asíncrono tiene prioridad más baja con respecto al tráfico síncrono.

Comunicación síncrona

Una estación puede siempre transmitir sus localidades de tráfico síncrono, ya que la comunicación síncrona tiene la más alta prioridad sobre la red. El ancho de banda síncrono se distribuye sobre la base de un porcentaje del TTRT. A partir del protocolo para realizar esto dinámicamente no ha sido definido aún. Los usuarios del ancho de banda síncrono deben hacer esta distribución manualmente: (BERNHARD, 1994)

$$T_{sincDisp} = TTRT - T_{nodos} - T_{fibra} - T_{trama} \quad (1)$$

$$T_{sincro} = T_{sincDisp} \times \text{Porcentaje asignado} \quad (2)$$

El ancho de banda síncrono debe ser distribuido entre los usuarios síncronos. El número máximo de tramas que una estación puede transmitir puede ser calculado usando esta asignación.

$$T_{trama} = 4500\text{bytes/trama} \times 80 \text{ ns/byte} = 0.36 \text{ ms/trama} \quad (3)$$

$$\text{Número de tramas} = \text{Entero} (T_{sincro} / T_{trama}) \quad (4)$$

Comunicación con trama restringida

El modo con trama restringida es usado por estaciones asíncronas que soportan el protocolo para tener intercambios extendidos, con la exclusión de otros tráficos de datos asíncronos. El tráfico de banda síncrono, así como algunas tramas de administración de estación, no se ven afectadas. Una vez que se aprueba que la estación y la trama, son restringidos el intercambio de datos es idéntico al intercambio de datos asíncronos.

Comunicación asíncrona

La transferencia de datos puede ser iniciada por una estación mientras que el contador THT es menor que cualquier $T_Prin(n)$ (umbral asíncrono de prioridad) de esta estación. Si las prioridades no son implantadas por una

estación, el valor del $TTRT$ es usado en lugar de T_{Pri} . La cantidad de tiempo disponible para una estación para hacer transmisiones asíncronas se calcula como sigue:

$$T_{AsincDisp} = TTRT - THT \quad (5)$$

Con propiedades implantadas, los datos asíncronos que una estación puede transmitir están limitados por el $T_{Pri}(n)$ s. El $T_{AsincDisp}$ es ahora limitado a:

$$T_{AsincDisp} = T_{Pri} - THT \quad (6)$$

El esquema de prioridades puede ser usado para crear clases asíncronas con servicio garantizado y retrasos predecibles.

Selección del TRT

Como es de notarse las capacidades de asignación de ancho de banda para los diferentes servicios está siendo regido por la variable $TTRT$, la cual, depende directamente del parámetro de operación TRT . Por lo tanto, su cálculo apropiado es esencial para la asignación del $TTRT$ que proporcione un desarrollo óptimo de la red. Esto puede ser ajustado para acomodar las variaciones topológicas de la red y ajustarse a ellas. Las dos principales contribuciones de retardo en el anillo son:

- El retardo en los nodos (T_{nodos}) asociado con la actividad de repetir las ráfagas de tramas
- El retardo en la fibra (T_{fibra}).

El cual es proporcional al total camino de la fibra.

$$T_{nodos} = N_{nodos} \times T_{nodo} \quad (7)$$

$$T_{fibra} = Long_Fibra \times 5.085 \mu s/Km \quad (8)$$

En base a esto se dan los límites de funcionalidad de FDDI que se basan en un solo parámetro, la máxima latencia del anillo.

Para FDDI el máximo tiempo de latencia del anillo es de 1.617 ms.

Si asumimos una longitud del anillo de 200 km. y velocidad de 5.085 ns/km, esto da una latencia de 1017ms ($200\text{km} \times 5.085\text{ns/Km} = 1.017\text{ms}$), a esto se agrega la latencia para 1,000 conexiones físicas con una latencia unitaria de 600ns, aquí son otros 0.6ms de latencia ($1.000 \text{ nodos} \times 600\text{ns/nodo} = 0.6\text{ms}$). Así la latencia total para 200km, y 1000 conexiones en el anillo es de 1.617ms, igual al parámetro máximo de latencia.

Bajo condiciones normales de operación el camino total de fibra no debe exceder 100Km. Si el anillo se secciona el camino total de fibra puede doblarse teniendo 200 Km. dando esto los 1.017ms de latencia por distancia. La velocidad de propagación de la luz en fibra ópticas es únicamente dos terceras partes de la velocidad de la luz en el vacío (2.99×10^{10} o equivalente a un retardo de propagación de 5.085 ns/Km).

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE UN MODULO DIDÁCTICO DE COMUNICACIONES POR FIBRA ÓPTICA

4.1 Criterios para el diseño de un sistema de comunicaciones por fibra óptica

Como en cualquier diseño, un sistema de comunicación vía fibras ópticas debe diseñarse de acuerdo a un protocolo. Existe toda una serie de procedimientos para esto, en los cuales se cubren los cinco pasos siguientes, que se consideran los más importantes:

Lo primero que debemos conocer es:

- El tipo de señal que se va a transmitir (como hemos mencionado la señal puede ser analógica o digital).

En seguida debe conocerse:

- La cantidad de información por unida de tiempo (ancho de banda para un sistema analógico o velocidad de transmisión binaria para un sistema digital).

Luego debemos saber:

- La cantidad de la señal eléctrica recuperada a la llegada. Se especifica por el conocimiento de la relación señal/ruido para la trasmisión analógica y de la tasa de error de los bits para la transmisión digital.

Después se considera:

- La longitud del enlace. Cuando se analiza el sistema se determina si el enlace es directo o qué cantidad de repetidores se necesitarán.

Por último:

- el precio del sistema y la facilidad de realización. Esto quiere decir, que cada vez que sea posible, debe seleccionarse un LED en lugar de un diodo LÁSER, es fotodiodo PIN en lugar de un fotodiodo APD, una fibra de índice escalonado en lugar de una fibra de índice gradual.

Apegándonos a lo antes dicho, podemos estar seguros que el sistema que diseñemos cubrirá con los requisitos fundamentales para que la información sea transmitida de una manera efectiva.

Por su puesto existen otros parámetros que deben considerarse en el diseño final tales como la confiabilidad, tamaño, peso, medio ambiente y alimentación. Sin embargo, los requerimientos que se mencionan involucran las limitaciones más importantes del sistema y determinan la factibilidad de realización del enlace de comunicación.

La utilización de un sistema de transmisión digital o análogo dependerá de cuál de los dos presente mayores ventajas tanto técnicas como económicas para la aplicación específica, por ejemplo: Un sistema de comunicación que implique el manejo de una gran cantidad de canales de voz con un mínimo de ruido e interferencia favorece el uso de técnicas digitales de transmisión tales como PCM. Sin embargo, si lo que se requiere es un enlace de video, un sistema de comunicación analógico representaría menos problemas de complejidad y costo que un sistema digital.

La capacidad de transmisión se especifica como ancho de banda en Hertz cuando se emplea modulación analógica y como velocidad de transmisión en bits/seg en modulación digital. De la misma manera, los términos en que se expresa la calidad deseada en la transmisión son función del sistema que se utilice. Básicamente, en sistemas analógicos se tiene la relación señal a ruido (SNR), y en sistemas digitales la probabilidad de error (BER).

La relación señal a ruido es la razón de la amplitud de una señal deseada a la amplitud de las señales de ruido en un punto determinado, se expresa en decibeles y generalmente se usa el valor pico para el ruido impulsivo y el valor RMS para el ruido aleatorio.

La probabilidad de error o tasa de bits erróneos está dada por la razón de bits identificados incorrectamente, al número total de bits transmitidos. En aplicaciones de fibra óptica, un valor típico de BER es 10^{-9}

Los factores de distancia y capacidad de transmisión son esenciales en el diseño porque determinan, prácticamente, el sistema de comunicación de fibra óptica que va a utilizarse y si es necesario, además, el uso de repetidores ópticos. Estos dos factores tienen que ver directamente con los dos limitantes de los sistemas de comunicación por fibras ópticas: La atenuación y la Dispersión.

En las fibras ópticas pueden considerarse los siguientes rangos de distancias:

- Corta distancia ($l < 1\text{km}$)
- Media distancia ($1\text{km} < l < 30\text{km}$)
- Larga distancia ($l > 30\text{km}$)

Atendiendo a cada una de ellas, puede proponerse la calidad de la fibra, el tipo de emisor y fotodetector, así como la separación y número de repetidores que resulten más adecuados.

4.1.1 Diseño del transmisor óptico

Para el diseño del transmisor deben considerarse:

- La longitud de onda de transmisión
- La potencia de la fuente
- El ancho espectral de la fuente, lo que determinará si se utiliza un diodo emisor de luz (LED) o un diodo láser de inyección (ILD).

En la figura 72 se muestra un diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño de transmisor. El diseño comienza con los requerimientos del usuario.

Cualquier limitante de confiabilidad, de potencia o de medio ambiente que pudiera afectar la selección del componente y de esta manera la calidad, en la transmisión, debe tomarse en cuenta y permitir que influya en la configuración del sistema y decisiones del tipo de componente.

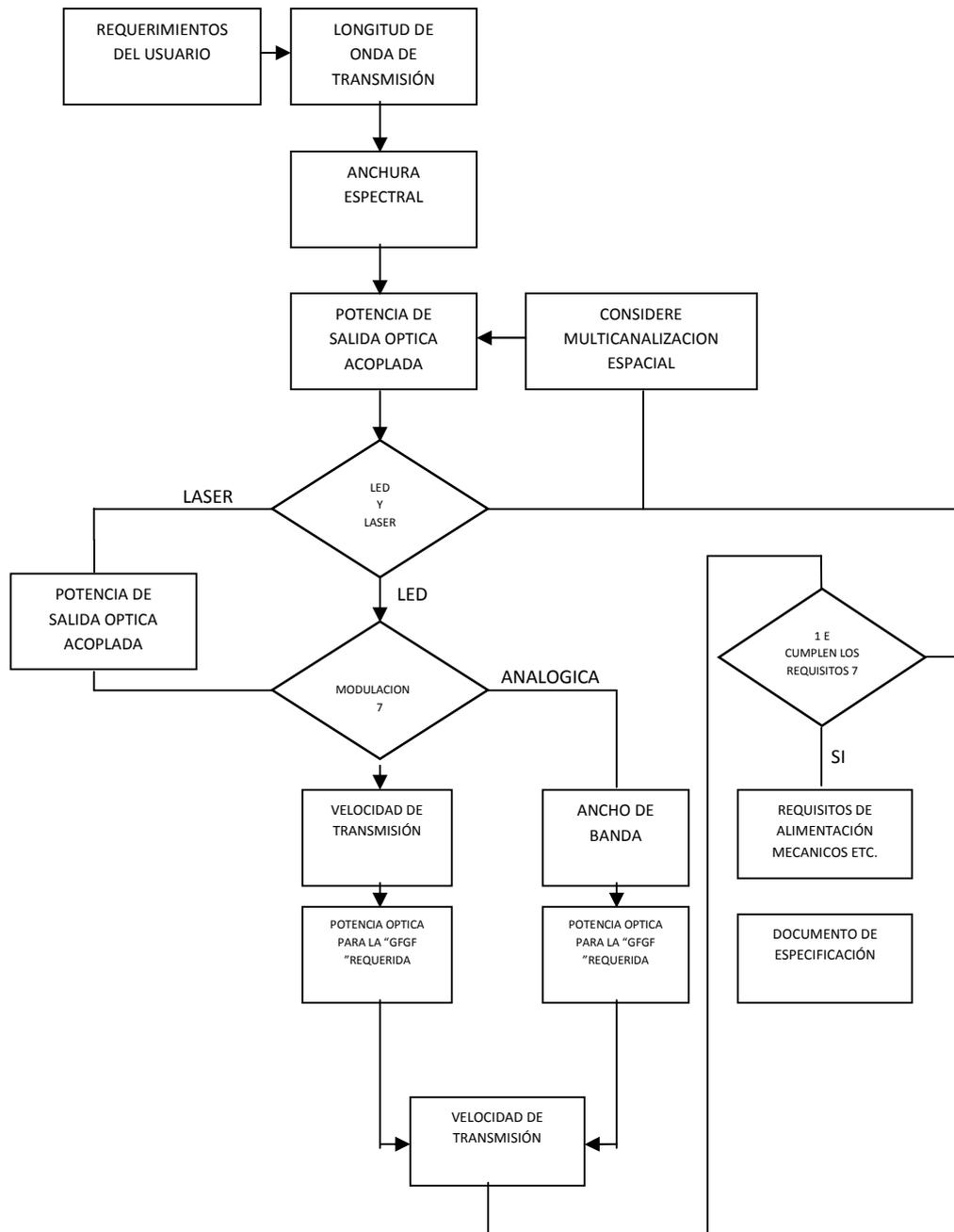


Figura 72 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para el receptor óptico.

La longitud de onda de transmisión y los requisitos de anchura espectral son función de las características de la fibra óptica elegida. Se ha supuesto que estos parámetros han sido ya investigados y especificados como un resultado del esfuerzo del diseño del medio de transmisión.

La potencia óptica de salida acoplada se calcula a partir del nivel de señal mínima requerida en el extremo terminal del sistema y la pérdida de transmisión de la fibra óptica, incluyendo las pérdidas por acoplamiento en la salida y empalmes. Esta figura de potencia acoplada se obtiene después de las pérdidas por acoplamiento en la entrada y de esta manera afecta la selección de la fuente de acuerdo con sus características de emisión.

De manera general, podemos decir que un diodo LED se utiliza cuando se requieren productos anchos de banda-distancia bajos y un diodo láser cuando se necesitan valores altos de esta especificación. Como puede notarse, el producto ancho de banda-distancia (o velocidad de transmisión-distancia) relaciona la capacidad de transmisión de la fibra óptica con la distancia y tiene su origen en la limitante de dispersión.

Por ejemplo, para un sistema de comunicación digital basándose en una longitud de onda de 0.850 micrómetros, un valor típico de producto velocidad de transmisión-distancia para un LED es de 140Mbits-Km mientras que para un diodo láser, este producto es de 2500Mbits/Km debido principalmente a su reducido ancho espectral.

Las características de acoplamiento para un diodo LED y un diodo laser son también muy distintas: Para un LED, las pérdidas por acoplamiento fuente-fibra son del orden de 16 dB, en cambio para un diodo Láser son solo 3 dB. Sin embargo, el láser, al ser un dispositivo cuyo funcionamiento está determinado por un umbral que depende de la temperatura, requiere de circuitos de control que lo hacen más costoso en comparación con el LED, En caso de modulación analógica la salida de potencia óptica se especifica para lograr una determinada calidad de transmisión en términos de la relación señal a ruido en el ancho de banda que va a utilizarse. Para sistemas de modulación digital, además de la potencia óptica, deben especificarse los tiempos de elevación, descenso de generación del pulso óptico en el diodo emisor, para conocer si es compatible el dispositivo con los requisitos de diseño. De no ser así, puede reconsiderarse el formato de la señal digital (Manchester, NRZ, RZ) y cambiar la selección de la fuente o

considerar Multicanalización en el espacio, es decir en mayor número de fibras para transmitir la cantidad de información requerida, para reducir la velocidad del canal.

Finalmente, una vez que la fuente es compatible con los requisitos del usuario, el diseño se completa especificando las características de protección ambiental, alimentación y limitantes mecánicas.

4.1.2 Proceso de diseño para la selección del cable de fibra óptica

En la figura 73 se muestra un diagrama de flujo para la selección del cable de fibra óptica.

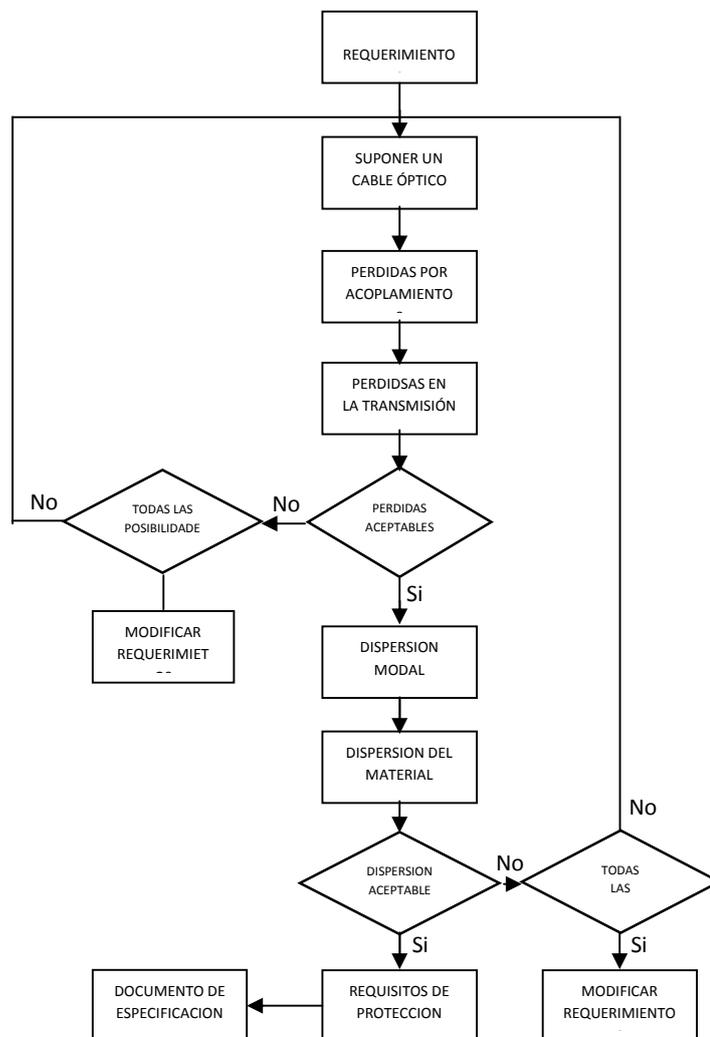


Figura 73 Diagrama de flujo que muestra el proceso del diseño para la selección de fibra óptica

Como puede observarse, el proceso comienza con un completo entendimiento de los requisitos básicos del usuario, incluyendo la distancia entre la fuente y el detector y el ancho de banda de la información. Basado en lo anterior, el diseñador supone la configuración de un cable de fibra óptica, que incluye:

- Número de fibras
- Apertura numérica
- Perfil de índice de refracción
- Longitud máxima disponible
- Atenuación en la longitud de onda de interés.

El siguiente paso es entonces, calcular la pérdida total del enlace, incluyendo tanto pérdidas de atenuación en la fibra como pérdidas por acoplamiento.

Las pérdidas por acoplamiento están determinadas por las características de la fuente (área y perfil de emisión) así como, las características de la fibra (apertura numérica, área e índice de refracción) y por reflexiones Fresnel. Las pérdidas por acoplamiento de salida dependen de:

- El Índice de refracción de la fibra
- El índice de refracción de la fibra
- El detector, del campo de visión que ocupa el detector con respecto a la fibra óptica y de las reflexiones Fresnel.

Las pérdidas de transmisión pueden calcularse en base a la distancia conocida y a la atenuación de la longitud de onda óptica de interés.

Sin embargo, en suma, debido a que las fibras disponibles se suministran generalmente en longitudes estándar menores a la distancia requerida, es necesario empalmar varios segmentos. Por lo tanto la

estimación de las pérdidas de transmisión deben incluir también, las pérdidas en los empalmes. Como antes mencionábamos, el diseñador continúa ensayando, en los cálculos de la pérdida de transmisión y en la selección de la fibra hasta que se pueda encontrar un cable con pérdida aceptable.

Suponiendo que un cable de fibra óptica satisface ya los requisitos de atenuación, se procede a determinar si las características de dispersión modal y del material son adecuados para el ancho de banda requerido de la información. La dispersión del material se determina por el ancho espectral de la fuente, así como, por las propiedades del material del núcleo de la fibra.

La dispersión modal se determina básicamente, por la apertura numérica de la fibra de vidrio y el perfil de índice de refracción, sin embargo, la experiencia ha mostrado que el ancho de banda real de las fibras ópticas es mejor que el predicho por la teoría. De aquí, que para un diseño real, debe consultarse al fabricante para obtener datos más precisos.

Después de las propiedades de la atenuación y dispersión son satisfactorias, debe considerarse cuidadosamente el medio ambiente y los esfuerzos mecánicos de tensión bajo los cuales operará la fibra óptica para que de esta manera se especifique el diseño del cable que ofrezca protección y reforzamiento adecuados, ya que los esfuerzos de tensión y en particular aquellos que causan distorsiones en el eje de la fibra (curvaturas y micro curvaturas) pueden tener un efecto significativo sobre las propiedades de atenuación en la fibra.

4.1.3 Diseño del receptor óptico

En la figura 74, se muestra un diagrama de flujo para el diseño de un receptor óptico. Primeramente, el usuario define el tipo de información que va a manejarse, ya sea analógica, o digital. En el caso analógico, el usuario debe especificar el ancho de banda de la información y la relación señal a ruido que va a requerirse. En el caso digital, el usuario especifica la

velocidad de transmisión y la tasa de error esperada en el sistema. Deben considerarse también, las condiciones ambientales que pueden afectar la elección del componente y de esta manera, la calidad de la transmisión del sistema.

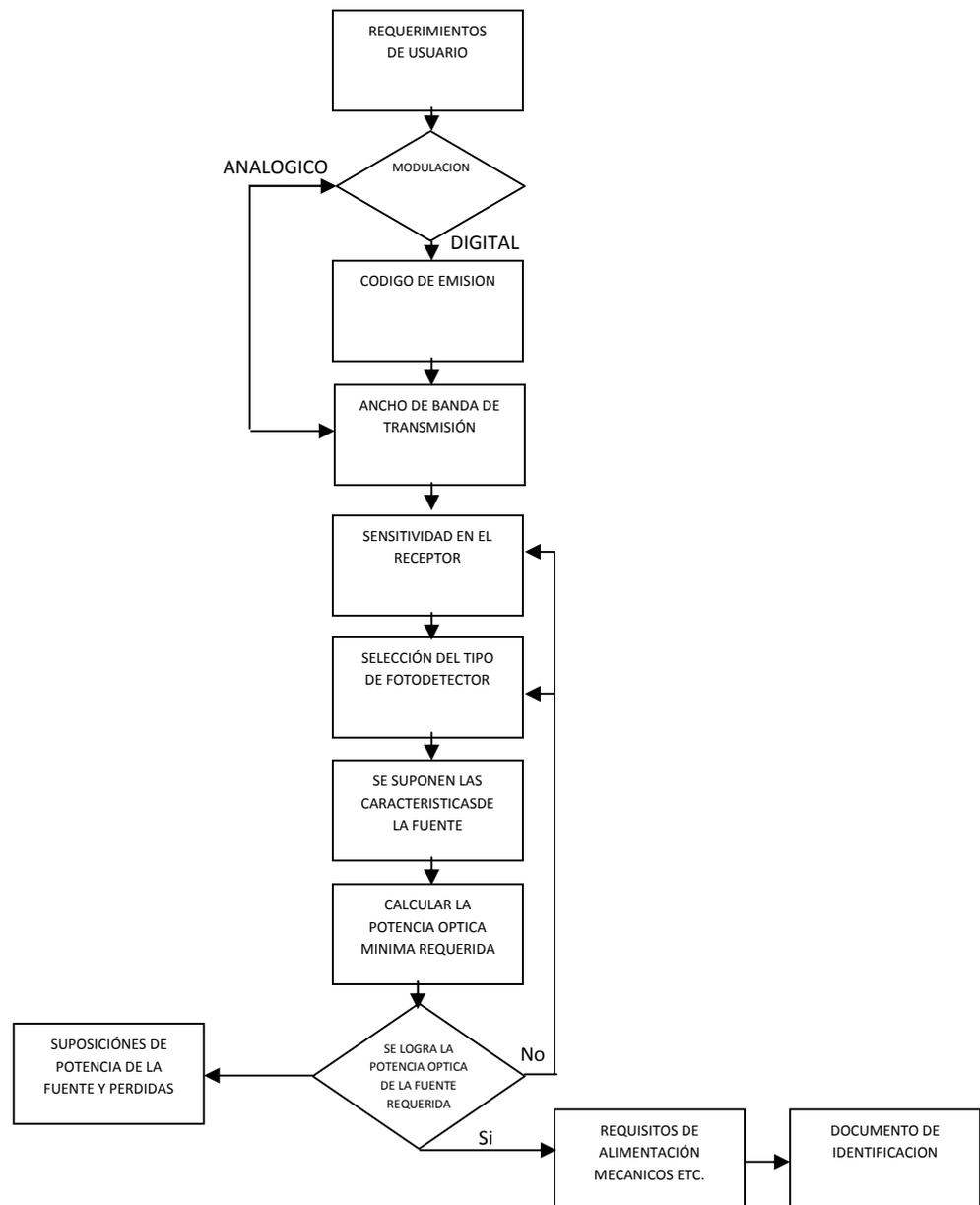


Figura 74 Diagrama de flujo que muestra el proceso de diseño para la selección del receptor óptico.

Si el usuario requiere un sistema digital, debe considerarse el formato de la señal y el código de emisión para calcular el ancho de banda de la señal en el receptor. El formato de la señal se refiere a los diferentes esquemas de codificación tales como el Manchester, NRZ y RZ.

La sensibilidad del receptor es uno de los parámetros de diseño más importantes en el receptor óptico y como se mencionó, se refiere a la potencia óptica mínima requerida a la entrada del receptor para lograr una determinada relación señal a ruido en sistemas analógicos y una determinada probabilidad de error en sistemas digitales.

Por ejemplo, la relación señal a ruido en un receptor óptico analógico está en función a la intensidad de la señal eléctrica a la salida del receptor y de la intensidad de las señales de ruido las cuales se pueden dividir, básicamente, en dos componentes:

- Ruido térmico
- Ruido cuántico

Además, la intensidad de la señal eléctrica de salida depende de la potencia de la señal óptica incidente. De tal manera que, si conocemos las fuentes de ruido podemos entonces determinar la sensibilidad del receptor.

Es conveniente recordar algunas características básicas de los receptores ópticos. Primero, existen dos tipos de foto detectores:

- Fotodiodo PIN
- Fotodiodo de avalancha APD

El fotodiodo PIN posee ganancia unitaria, es decir, por cada fotón se genera un electrón, en cambio, el fotodiodo de avalancha puede generar hasta 100 electrones por cada fotón incidente. Sin embargo, esto último representa problemas de ruido por variaciones estadísticas sobre el nivel medio de su ganancia $-m-$, la cual es una variable aleatoria.

Esencialmente, la selección del tipo de fotodiodo es un problema de optimización. Por otro lado, en el receptor óptico existe la alternativa de

emplear amplificadores FET o bipolares que representan nuevamente un compromiso de uso, dependiendo de las fuentes de ruido que aparecen en estos dispositivos para diferentes rangos de frecuencia.

En receptores ópticos digitales la sensibilidad está también en función de las fuentes de ruido cuántico y térmico del receptor, pero además de lo que se conoce como interferencia entre símbolos. Este efecto consiste en el solapamiento entre pulsos vecinos de la señal óptica digital a lo largo de su recorrido en la fibra óptica.

Este fenómeno de interferencia entre símbolos es función de la señal óptica incidente y de la respuesta en frecuencia del receptor. Esto último sugiere que puede ser controlado parcialmente por el diseño adecuado de circuitos de filtro.

Cuando aumenta la distancia de transmisión en el sistema de comunicación óptico se requiere el uso de repetidores para regenerar la señal a intervalos determinados. Este proceso de regeneración se lleva a cabo en tres pasos, en el caso de un repetidor óptico digital:

- Amplificación e igualación de la forma de onda del pulso
- Recuperación de la señal de sincronismo del tren de pulsos
- Detección, sincronía y retransmisión de los pulsos.

Para un repetidor óptico analógico bastarían únicamente el primer paso y la retransmisión de los pulsos.

Es muy importante hacer notar que la separación máxima entre repetidores depende de la sensibilidad del receptor óptico que contienen, de manera que la metodología de diseño para un repetidor óptico es la misma que la de un receptor óptico y la de un transmisor óptico conjuntamente.

Cuando se ha logrado la señal mínima requerida se toma en cuenta, también, las condiciones ambientales, (temperatura, vibración, choque, radiación y humedad), consumo de potencia y acoplamiento mecánico, para escribir el documento de especificaciones del receptor.

Interfaz TOSLINK

TOSLINK (Toshiba LINK) es un estándar de conexión de fibra óptica creado por Toshiba en 1983, que se basa en la utilización de señales ópticas en lugar de señales eléctricas. Se utiliza generalmente para la interconexión de equipos de audio, aunque admite diferentes formatos, tanto físicos como de datos.

Originalmente se creó para la conexión entre los reproductores de CD y los receptores de señales PCM. Todas las empresas lo empezaron a utilizar y rápidamente se adoptó con S/PDIF como estándar universal de conexión óptica digital. Con este estándar se admiten hasta 48 kHz y 20 bits en PCM, Dolby Digital y DTS, pero en los nuevos sistemas de audio multicanal (Dolby True HD, DTS HD y DSD) ya no tiene estas limitaciones.

Funcionamiento

El funcionamiento del sistema TOSLINK se basa en el foto acoplador, pero simplemente uniendo el emisor del receptor a través de fibra óptica (en ocasiones, también se nombra foto acoplador de largas distancias). Se trata de un diodo LED que genera señales ópticas y un fototransistor que las recibe y las vuelve a transformar en una señal eléctrica.

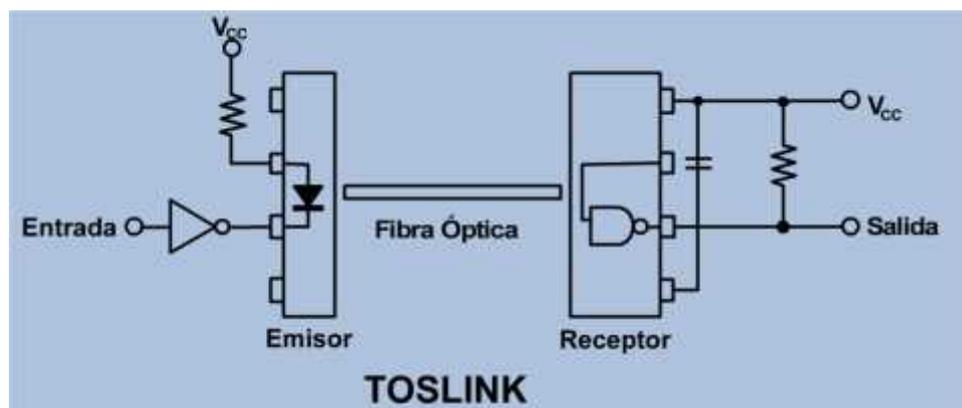


Figura 75 Funcionamiento TOSLINK.

Dependiendo del uso, se utilizan diferentes tipos de fibra óptica: desde cables de 1 mm de diámetro, a cables multifilares más gruesos. En todos los casos se suele limitar a distancias de 5 a 10 metros como máximo.

Este sistema de conexión también se utiliza para el estándar ADAT, que admite hasta 8 canales en una única fibra óptica.



Figura 76 Tipo de Fibra Óptica para transmisión TOSLINK

Transmisor TOSLINK

Para la transmisión se utiliza un módulo transmisor que opera a +5V y que puede trabajar hasta 16 Mbps.

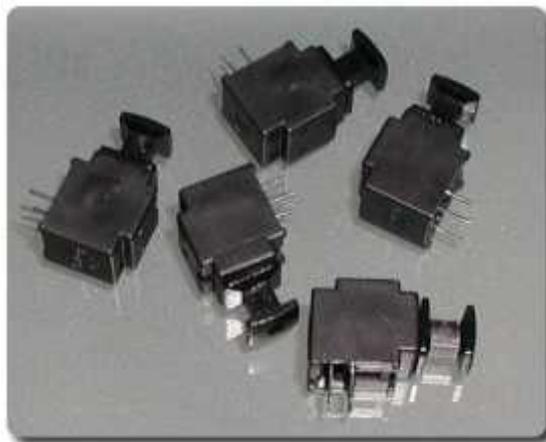


Figura 77 Transmisor TOSLINK

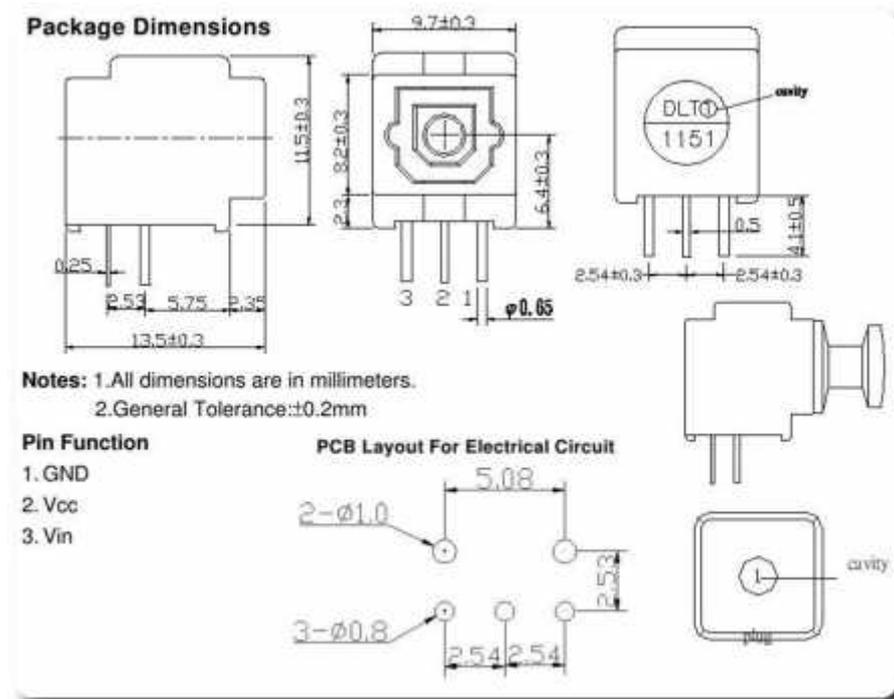


Figura 78 Dimensiones Transmisor TOSLINK

Receptor TOSLINK

Para el receptor igualmente se seleccionó un módulo compatible

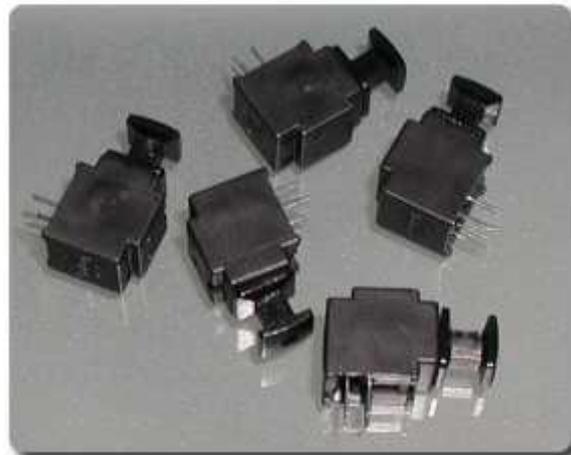


Figura 79 Receptor TOSLINK

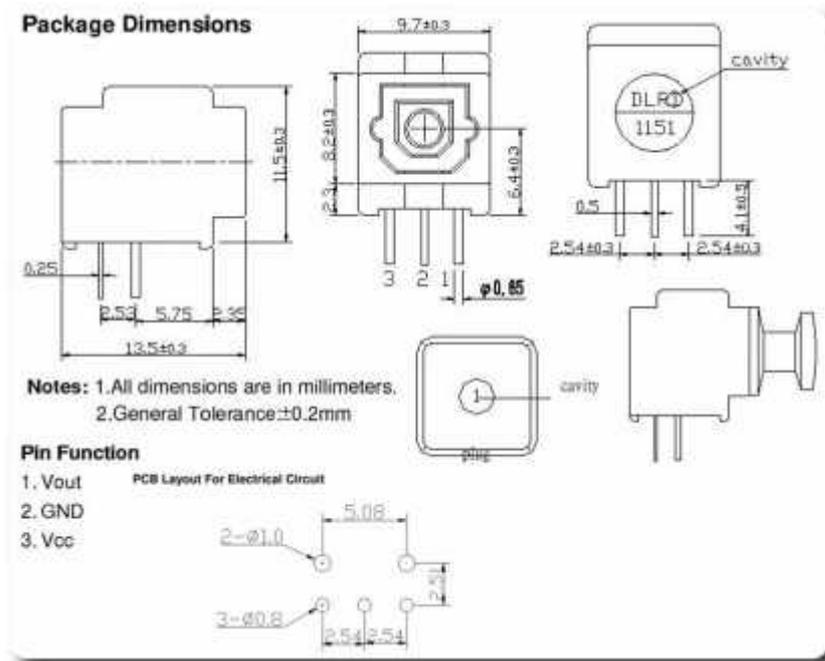


Figura 80 Dimensiones Receptor TOSLINK

Fibra Óptica

Para el enlace del módulo de transmisión con el de recepción se utiliza un cable de enlace (patchcord) como en se muestra a continuación:



Figura 81 Cable Patchcord

COMUNICACIÓN SIMPLEX

Comunicación Simplex es la transmisión en un solo sentido. Uno de los dispositivos es el transmisor y otro es el receptor. Este es uno de los tipos de comunicación muy poco utilizados ya por lo general se requiere una comunicación bidireccional.

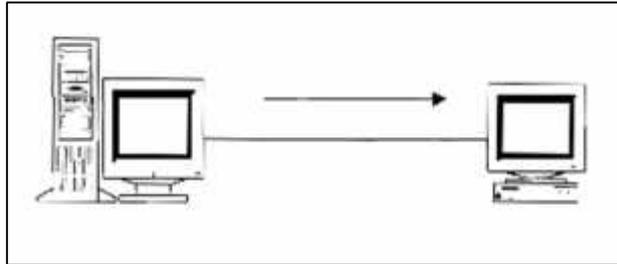


Figura 82 Transmisión Simplex

Para la transmisión de datos entre los 2 PC que funcionan como transmisor y receptor se utiliza el puerto de comunicaciones seriales RS-232C, por lo que para acoplarle al sistema de transmisión se requiere de circuitos integrados convertidores de RS-232C a TTL, en nuestro caso vamos a utilizar los circuitos MAX 232, que para su correcta operación se requieren capacitores.

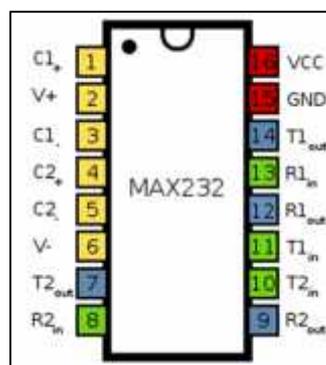


Figura 83 Circuito integrado MAX232

MAX232(A) DIP Package Pin Layout

Nbr	Name	Purpose	Signal Voltage	Capacitor Value MAX232	Capacitor Value MAX232A
1	C1+	+ connector for capacitor C1	capacitor should stand at least 16V	1 μ F	100nF
2	V+	output of voltage pump	+10V, capacitor should stand at least 16V	1 μ F to Vcc	100nF to Vcc
3	C1-	- connector for capacitor C1	capacitor should stand at least 16V	1 μ F	100nF
4	C2+	+ connector for capacitor C2	capacitor should stand at least 16V	1 μ F	100nF
5	C2-	- connector for capacitor C2	capacitor should stand at least 16V	1 μ F	100nF
6	V-	output of voltage pump / inverter	-10V, capacitor should stand at least 16V	1 μ F to GND	100nF to GND
7	T2 _{out}	Driver 2 output	RS-232		
8	R2 _{in}	Receiver 2 input	RS-232		
9	R2 _{out}	Receiver 2 output	TTL		
10	T2 _{in}	Driver 2 input	TTL		
11	T1 _{in}	Driver 1 input	TTL		
12	R1 _{out}	Receiver 1 output	TTL		
13	R1 _{in}	Receiver 1 input	RS-232		
14	T1 _{out}	Driver 1 output	RS-232		
15	GND	Ground	0V	1 μ F to Vcc	100nF to Vcc
16	Vcc	Power supply	+5V	see above	see above

Figura 84 DataSheet MAX232

4.2 Diseño de un canal de voz y datos por fibra óptica

El proyecto que se presenta en esta sección, busca ser una base didáctica, para el conocimiento general de los elementos y conceptos que constituyen los sistemas de comunicación por fibra óptica. Los elementos que forman parte de este proyecto, están basados en la utilización de fibra óptica, diodos electroluminiscentes LEDs y acopladores opto electrónicos, para dar un ejemplo práctico de los sistemas que usan fibra óptica como medio de comunicación, hemos implementado un canal de voz (analógico), un canal de datos (digital) y un canal de audio o música (analógico). De esta manera mostramos la transmisión de señales tanto analógicas como digitales.

El cable de fibra óptica no se ve afectado por las fuentes de ruido externo que causan problemas en los medios de cobre porque la luz externa no puede ingresar a la fibra salvo en el extremo del transmisor. El manto

está cubierto por un material amortiguador y una chaqueta exterior que impide que la luz entre o abandone el cable.

Además, la transmisión de la luz en la fibra de un cable no genera interferencia que afecte la transmisión en cualquier otra fibra. Esto significa que la fibra no tiene el problema de diafonía que sí tienen los medios de cobre. De hecho, la calidad de los enlaces de fibra óptica es tan buena que los estándares recientes para Gigabit y 10 Gigabit Ethernet establecen distancias de transmisión que superan de lejos el tradicional alcance de 2 kilómetros de la Ethernet original. La transmisión por fibra óptica permite que se utilice el protocolo de Ethernet en las Redes de Área Metropolitana (MANs) y en las Redes de Área Amplia (WAN).

Aunque la fibra es el mejor de todos los medios de transmisión a la hora de transportar grandes cantidades de datos a grandes distancias, la fibra también presenta dificultades. Cuando la luz viaja a través de la fibra, se pierde parte de la energía de la luz. Cuanto mayor es la distancia a la que se envía una señal a través de una fibra, más fuerza pierde la señal. Esta atenuación de la señal se debe a diversos factores implícitos en la naturaleza de la fibra en sí.

El factor más importante es la dispersión. La dispersión de la luz dentro de una fibra es producida por defectos microscópicos en la uniformidad (distorsiones) de la fibra que reflejan y dispersan parte de la energía de la luz.

La absorción es otra causa de pérdida de la energía de la luz. Cuando un rayo de luz choca algunos tipos de impurezas químicas dentro de una fibra, estas impurezas absorben parte de la energía. Esta energía de la luz se convierte en una pequeña cantidad de energía calórica. La absorción hace que la señal luminosa sea un poco más débil.

Otro factor que causa atenuación en la señal luminosa son las irregularidades o asperezas de fabricación en el límite entre el núcleo y el revestimiento. Se pierde potencia en la señal luminosa debido a que la reflexión interna total no es perfecta en el área áspera de la fibra. Cualquier imperfección microscópica en el espesor o simetría de la fibra reducirá la reflexión interna total y el revestimiento absorberá parte de la energía de la luz.

La dispersión de un destello de luz también limita las distancias de transmisión de una fibra. Dispersión es el término técnico para la difusión de los pulsos de luz a medida que viajan a través de la fibra. La fibra multimodo de índice graduado está diseñada para compensar las diferentes distancias que los distintos modos de luz deben recorrer en un núcleo de gran diámetro. La fibra monomodo no presenta el problema de trayectos múltiples que una señal luminosa puede recorrer. Sin embargo, la dispersión cromática es una característica de tanto la fibra multimodo como la monomodo. Cuando las longitudes de onda de la luz viajan a través del vidrio a velocidades levemente distintas a las de otras longitudes de onda, se produce la dispersión cromática. Es por eso que un prisma separa las longitudes de onda de la luz. Lo ideal es que la fuente de luz Láser o LED emita luz de una sola frecuencia. Entonces, la dispersión cromática no sería un problema.

Lamentablemente, los láseres y, en especial, los LED generan una gama de longitudes de onda de modo que la dispersión cromática limita la distancia hasta que se pueden alcanzar en una fibra. Si se transmite una señal a una distancia demasiado grande, lo que comenzó como un pulso brillante de energía de luz llegará al receptor dispersa, difusa y débil. El receptor no podrá diferenciar un uno de un cero

En todos los canales se manipulan las señales en banda base, es decir, las señales son transmitidas en la forma en que son generadas u originada en la fuente.

Se utiliza el esquema de modulación de intensidad de la fuente óptica, en el cual la señal eléctrica es usada para modular directamente una fuente óptica, variando en torno a un nivel de polarización adecuado, la corriente que circula por la fuente óptica.

4.2.1 Canal de voz

Varias formas de comunicación no eléctricas encierran un proceso de modulación, y la voz es un buen ejemplo.

La voz humana es analógica, es decir, su comportamiento se modela con una función continua, no presenta cambios bruscos. La voz captada por un micrófono y llevada a un osciloscopio, no presenta el aspecto de una señal rectangular o con pendientes muy elevadas, por el contrario, presenta una serie de curvas complejas, en forma simplificada puede representarse por una señal senoidal cambiante en frecuencia y amplitud.

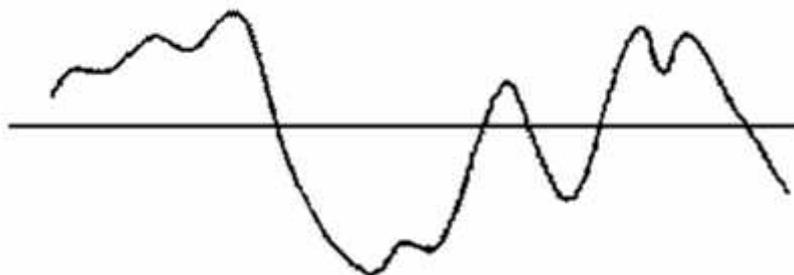


Figura 85 Señal de voz

Las señales de audio perceptibles por el oído humano, tienen unas características bien definidas. La más importante de ellas, para su transmisión es su pequeño ancho de banda, esto debido a que el espectro

de frecuencias que percibe el humano está entre los 300 Hz y los 20 kHz. El conjunto de características que debe cumplir el canal de 64 Kbps para telefonía está determinadas en **ITU-T** (antes CCITT) **G.712** para circuitos de 4 hilos y en **ITU-T G.713** para 2 hilos. La ITU (International Communication Union) ha definido un canal de voz en el local loop que va de 300 Hz a 3400 Hz, conocido como canal nominal de 4 kHz. La modulación es la modificación de la señal portadora en función de las características de la señal moduladora, el caso que nos interesa tratar es aquel en el que la señal moduladora es analógica (la voz) y la portadora es digital, obteniendo así una señal modulada digital que puede ser transmitida con una mayor calidad.

El primer paso en la codificación analógica - digital se llama PAM (modulación de amplitud de pulso), esta es la base de PCM (modulación de código de pulso). PAM recoge información análoga, la muestrea y genera una serie de pulsos.

4.2.1.1 Captura de la señal de voz

La captura de la señal de voz del usuario se hace por medio de un micrófono monofónico. El micrófono es por excelencia un transductor de entrada, el cual a través de una lámina muy delgada ubicada en un campo eléctrico, capta las ondas sonoras del ambiente circundante, en este caso la voz emitida por el usuario, las transforma en variaciones de tensión eléctrica y las envía a la etapa de amplificación.

El funcionamiento de un micrófono se basa en el desplazamiento espacial producido por una bobina dentro de un campo magnético. Hay un diafragma que se desplaza con la fuerza mecánica provocada por las ondas sonoras, este desplazamiento se transmite a la ferrita de la bobina. La fuerza electromotriz generada en la bobina es proporcional a la inducción de campo, al número de espiras, a la longitud de espiras, y al desplazamiento relativo de la bobina.

4.2.1.2 Transmisor

La figura 86 muestra el diagrama de bloques del sistema diseñado y construido



Figura 86 Diagrama de bloques de Sistema Diseñado

El sistema diseñado fundamentalmente permitirá la transmisión de una señal de audio en el rango de un canal telefónico, esto es una señal con un ancho de banda de 4 KHz.

Para la transmisión de voz el diagrama eléctrico del transmisor se muestra en la Figura 87

Se utiliza como elemento de captura de la señal de voz un micrófono capacitivo al que se le acopla un pre amplificador basado en un amplificador operacional LM 741, el mismo que entrega la señal a un diodo emisor de luz que convierte la señal eléctrica en una señal de luz, la misma que será transmitida a través de la fibra Óptica.

La fuente de polarización es de 9 V D.C., el mismo que se lo obtiene de un pequeño adaptador de 110V A.C. a 9V d.c 500 mA.

Se han provisto los switches de encendido del circuito y operación del sistema así como también de diodos emisores de luz LEDs para señalización.

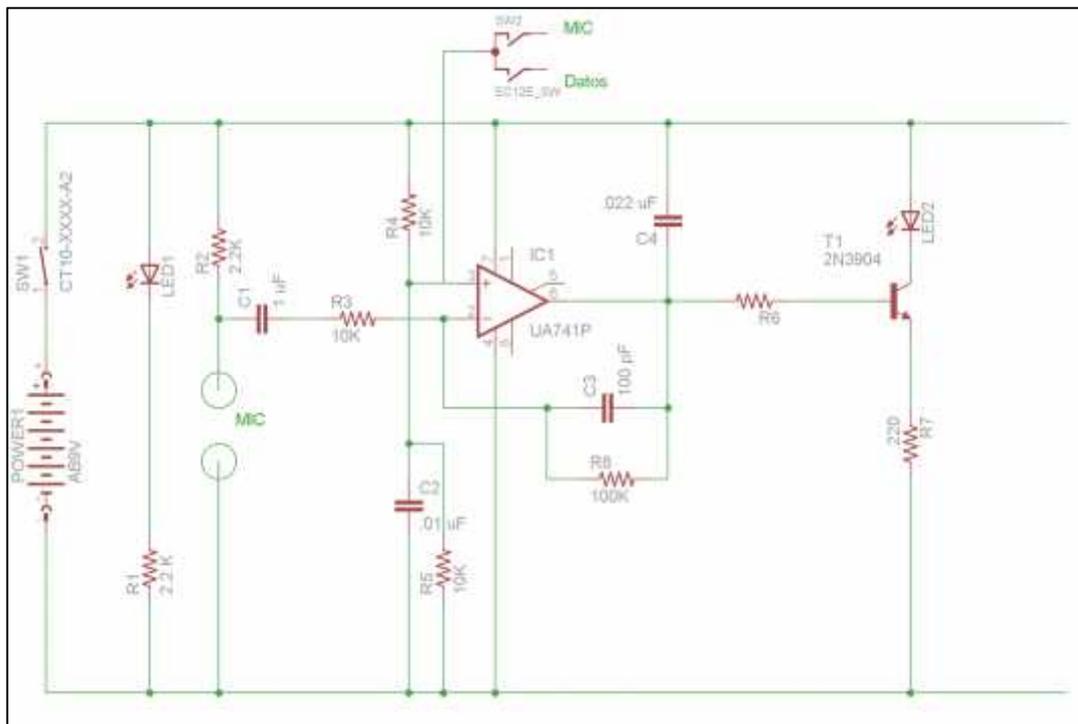


Figura 87 Esquema del transmisor

IC-741

El IC-741 es un amplificador operacional de propósito general muy utilizado, es fácil de usar, práctico y barato.

Características técnicas

Voltaje de anulación de salida	2 a 6 mV
Resistencia del pin de entrada	0.3 a 2 megaohms
Ganancia	20,000 a 200,000
Corriente de consumo	1.7 a 2.8 mA
Consumo de potencia	50 a 85 mW
Valores máximos utilizables	
Voltaje de suministro	±18 v

Disipación de potencia	500 mw
Voltaje diferencial de entrada	± 30 v
Voltaje de entrada	± 15 v
Tiempo en corto-circuito	indefinido
Temperatura de operación	0° C a 70° C

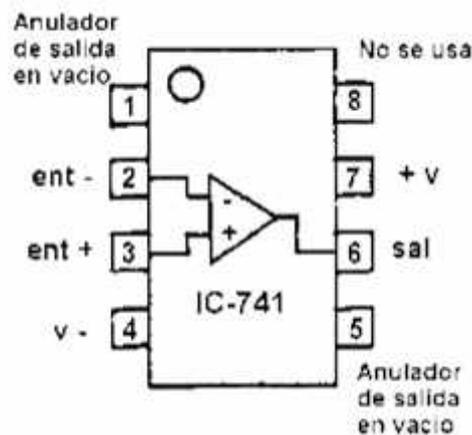


Figura 88 Esquema del IC-741.

El diseño se lo ha realizado en EAGLE 6.5 tanto para el diagrama esquemático como para el circuito impreso PCB.

Para el diseño del circuito impreso se utiliza la opción de ruteo automático de EAGLE PCB 6.5, obteniéndose el siguiente circuito.

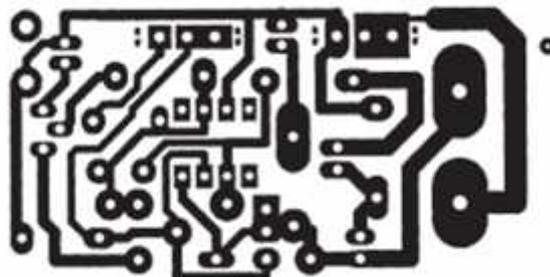


Figura 89 PCB del módulo de transmisión de señal de voz.

4.2.1.3 Receptor

Para la recepción de la señal de voz el circuito diseñado es el siguiente:

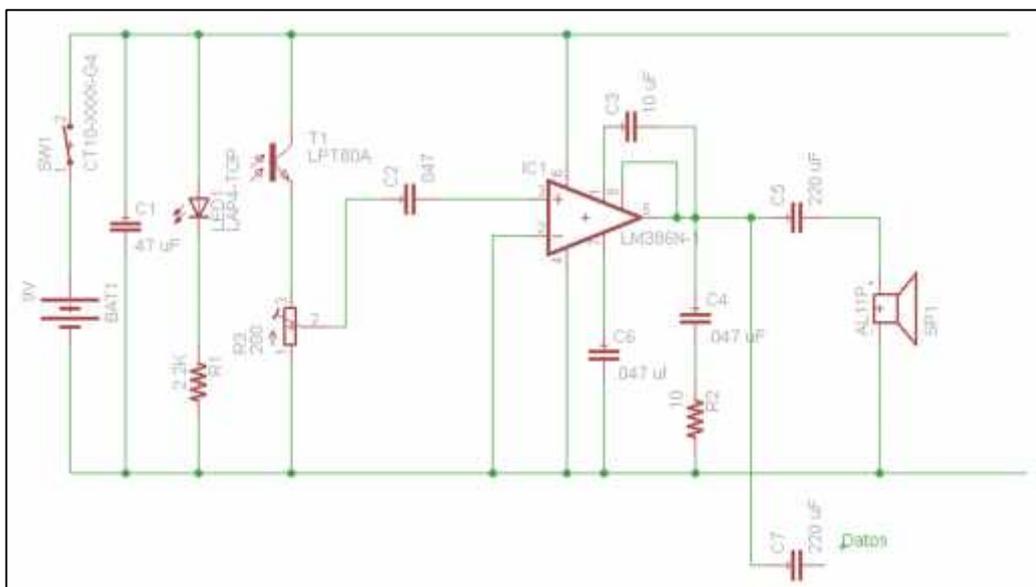


Figura 90 Diagrama esquemático del módulo de recepción de voz

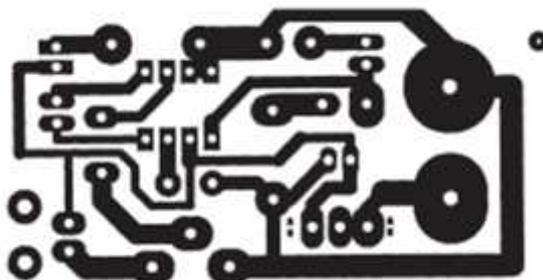


Figura 91 PCB del módulo de recepción de la señal de voz

Para el receptor se utiliza el amplificador operacional LM386 que fue desarrollado por National Semiconductor que se ha convertido en uno de los chips más utilizados en aplicaciones de audio de baja potencia desde su aparición a mediados años 70. Su curva ganancia/frecuencia puede moldearse fácilmente con unos pocos elementos externos, lo que lo convierte en un componente realmente flexible. Todo ello ha supuesto la aparición de numerosos circuitos a lo largo de las últimas décadas basándose en este dispositivo.



Características Eléctricas.

Su ganancia en tensión puede ajustarse desde 20 a 200 (26 a 46 dB) en un amplio rango de alimentación que abarca entre 4V-12V ó 5V-18V. Existen tres variantes capaces de entregar 0.3W, 0.5W o 0.7W (LM386N-1, LM386N-3, y LM386N-4 respectivamente).

Modelo	Volt. min	Volt. max	Pot. salida max	Pot. salida típica
LM386N-1	4 Voltios	12 Voltios	250 mW	325 mW
LM386N-3	4 Voltios	12 Voltios	500 mW	700 mW
LM386N-4	5 Voltios	18 Voltios	700 mW	1000 mW

Mientras que sus entradas están referenciadas a masa, la salida se referencia automáticamente a un medio de la tensión de alimentación. Su corriente de operación en inactividad se ve reducida a 4mA (24 mW operando a 6V) y su distorsión armónica se limita a un 0.2% ($AV = 20$, $VS = 6V$, $RL = 8 \Omega$, $PO = 125mW$, $f = 1KHz$) con un caso peor de 10% THD.

Para el diseño se han considerado la configuración y los elementos sugeridos por el fabricante en la hoja de datos.

4.2.2 Canal de datos

Cuando hablamos de transmisión de datos en los sistemas digitales, existen tan solo dos estados de transmisión, que se conocen como alto y bajo lógico o sistema uno y cero, siendo posible codificar cualquier tipo de dato usando combinación de estos dos valores en forma binaria.

Transmisor

El circuito que más se utiliza para modular las señales binarias con FSK, es el circuito de fase cerrada (PLL) (diagrama de bloques en la figura 92). Para el presente diseño se utiliza el circuito Exar XR-2206 que también podría ser utilizado como un generador de funciones.

La salida de un modulador de FSK binario, es una función escalón en el dominio del tiempo. Conforme cambia la señal de entrada binaria de 0 lógico a 1 lógico, y viceversa, la salida del FSK se desplaza entre dos frecuencias: una frecuencia de marca o de 1 lógico y una frecuencia de espacio o de 0 lógico. Con el FSK binario, hay un cambio en la frecuencia de salida, cada vez que la condición lógica de la señal de entrada binaria cambia.

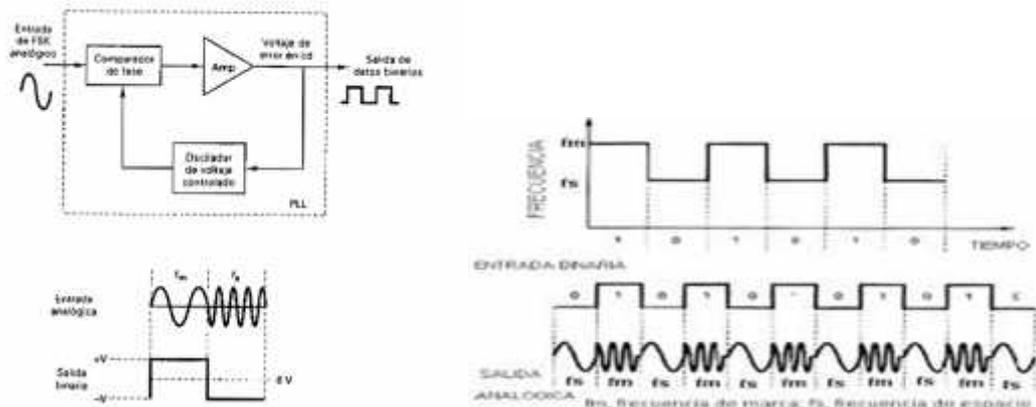


Figura 92 Demodulador FSK – PLL

XR-2206

Es un circuito integrado generador de funciones monolíticas capaz de generar o producir alta calidad de señales (seno, cuadrada, triangular, rampa y pulso), con buena estabilidad y exactitud. La frecuencia de operación puede ser seleccionada externamente en un rango de 0.01Hz a 1Mhz.

A continuación se muestra el esquemático de dicho circuito:

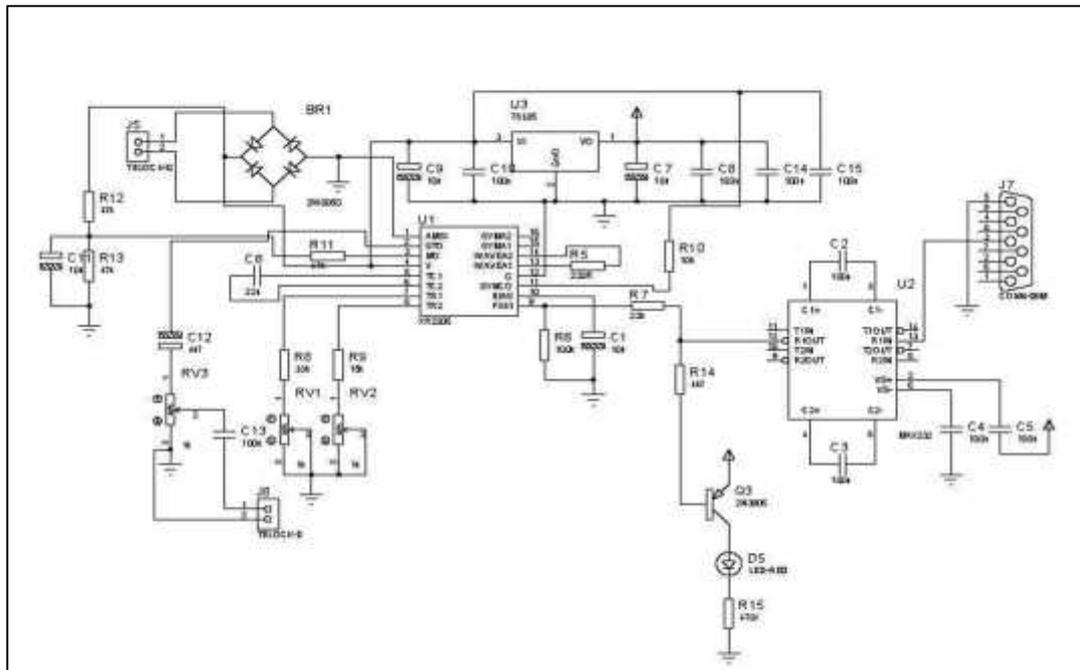


Figura 93 PCB del módulo de recepción de la señal de voz

Se dispone de un conector DB-9 que permite recibir la señal desde una PC que estará ejecutando el programa Hyperterminal. Para la conversión de los niveles de voltaje de RS-232 a TTL se utiliza el circuito integrado MAX232 en el que se utilizan los componentes recomendados en las hojas de datos del fabricante.

Adicionalmente para evitar problemas de error en la conexión de la fuente de poder se ha utilizado un puente de onda completa que permite proteger el circuito.

Para la polarización del circuito se está utilizando un regulador de voltaje 7805.

Para la calibración de forma de onda, frecuencia y amplitud se utilizan 3 potenciómetros de los valores recomendados por el fabricante.

Receptor

Para el demodulador FSK se utiliza un circuito integrado EXAR XR-2211 que recibe la señal de una portadora de frecuencia alternante de manera que la amplitud de la portadora permanece constante, mientras que su

frecuencia varía proporcionalmente con la amplitud de la señal. El proceso inverso de modulación. Consiste en la recuperación de la señal moduladora (o información) de una onda portadora después de pasar por el medio de transmisión.

Un demodulador de FSK - PLL funciona en forma muy similar a uno de FM - PLL. Conforme cambia la entrada de PLL entre las frecuencias de marca y espacio, el voltaje de error de corriente directa (dc) a la salida del comparador de fase va a seguir el desplazamiento de frecuencia. Como sólo existen dos frecuencias de entrada (marca y espacio), solamente habrá dos voltajes de error a la salida. Uno para representar el '1' lógico y el otro el '0' lógico. En consecuencia, la salida va a ser la representación de dos niveles (binarios) de la entrada FSK. Por lo general, la frecuencia natural del PLL es igual a la frecuencia central del modular de FSK.

Como resultado, los cambios en el voltaje de error de corriente directa (dc), siguen a los cambios en la frecuencia de entrada analógica y van a ser simétricos alrededor de cero (0) voltios.

El receptor FSK binario tiene un rendimiento de error inferior al que se obtiene de un demodulador PSK o QAM, por lo que rara vez se lo utiliza para un sistema de radio digital de alto rendimiento. Debido a su bajo rendimiento y bajo costo, se limita su utilización a módems asíncronos, para comunicaciones de datos sobre líneas telefónicas de voz analógicas.

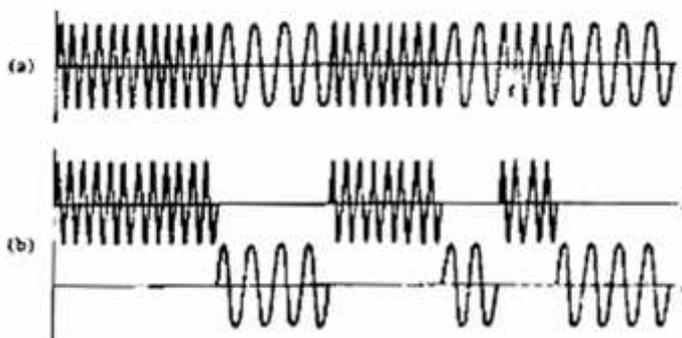


Figura 94 a) Señal FSK b) descomposición en 2 señales ASK

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Basado en el diseño del módulo de comunicación por fibra óptica del capítulo cuarto, la construcción del prototipo va acorde a los siguientes puntos:

5.1 Elaboración del Módulo didáctico

La elaboración del sistema de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica se dividió en dos etapas las mismas que se subdividen en dos cada una:

- Modulo de Voz
 - Transmisor
 - Receptor
- Modulo de Datos
 - Transmisor
 - Receptor

Módulo de voz

Transmisor

A continuación, se muestran fotos de su procedimiento, así como el sistema final terminado:

El primer circuito a mostrar es el módulo de transmisión de voz el cual permitirá la transmisión de una señal de audio en el rango de un canal telefónico, esto es, una señal con un ancho de banda de 4 KHz.

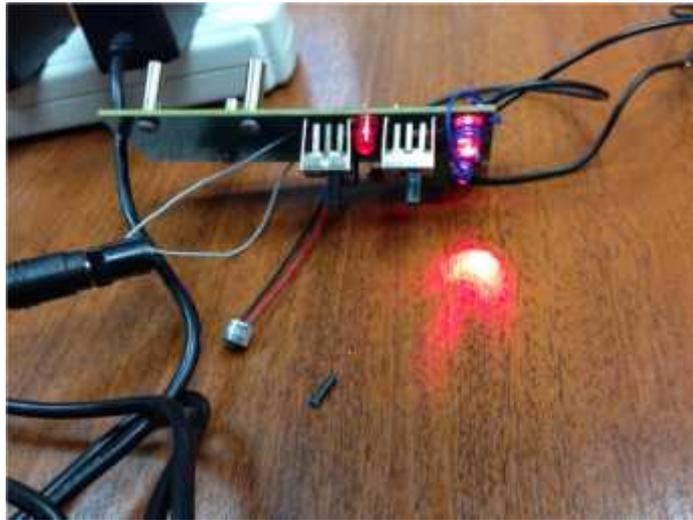


Figura 97 Modulo de Transmisión de Voz.

Receptor

El módulo de recepción entrega la señal a un diodo emisor de luz que convierte la señal eléctrica en una señal de luz, ésta a su vez será transmitida por fibra Óptica.



Figura 98 Módulo de recepción de voz.

Módulo de datos

Transmisor

Para el transmisor de datos se utilizó el circuito integrado Exar XR-221, hecho con base a las recomendaciones del fabricante explicado en el capítulo cuarto.



Figura 99 Módulo de transmisión de datos.

Receptor

Para el circuito demodulador de las señales binarias FSK, el que más se acopló al sistema de comunicación fue el de fase cerrada (PLL). Un demodulador de FSK - PLL funciona en forma muy similar a uno de FM - PLL.



Figura 100 Módulo de recepción de datos.

Una vez configuradas las dos etapas se procede a unificar las mismas dando como resultado el sistema de transmisión de voz y datos por fibra óptica para realizar las pruebas correspondientes.

La gráfica a continuación muestra los resultados de las dos etapas unificadas.



Figura 101 Sistema de transmisión de voz y datos finalizado

5.2 Pruebas del Prototipo

Una vez concluida la etapa de elaboración del módulo de comunicación didáctico se avanza con las pruebas correspondientes. Si bien es cierto las pruebas realizadas corresponden al proceso final del circuito cabe recalcar que, dentro de la verificación del funcionamiento óptimo, existió una etapa de prueba y error en la cual se ajustaron parámetros de frecuencia para evitar errores en los caracteres de envío y recepción de datos.

Se aisló la fibra óptica con los conectores mencionados en capítulos anteriores para evitar ruidos externos que se insertaron por motivo de la luz solar o lámparas al momento de las pruebas realizadas.

Otro punto a considerar dentro de las pruebas es el debido cuidado que se tomó para los puntos de suelda de los componentes en las diferentes placas de circuito impreso ya que no debían ocasionar corto circuitos para su óptimo funcionamiento.

Una vez considerados y solucionados todos estos tipos de inconvenientes encontrados en el circuito impreso se ha procedido a verificar el funcionamiento de cada una de las partes y de los módulos interconectados entre sí.

Se han realizado las pruebas de laboratorio verificando que la temperatura de los componentes no se incremente con la operación continua a fin de que los integrados no muestren un comportamiento inadecuado e ilógico.

5.3 Resultados

Prueba para Datos

Para la realización de las pruebas de datos se utilizan 2 computadores con convertidores USB a puerto serial RS-232C con Sistema Operativo Windows 7 y ejecutando el programa Hyper terminal Pro.

Se realizan las pruebas para diferentes velocidades que se mostraran a continuación, además se muestran a las señales transmitida y recibida que han sido capturadas con el osciloscopio Hewlett Packard, al igual que la información que fue mostrada en las pantallas de los PC después del envío y recepción:

Velocidad de 1200 bits por segundo

Transmisión

Como se muestra en la gráfica, el osciloscopio se configuró a 2.5ms por división en el barrido horizontal, mientras que el barrido vertical se configuró a 2 voltios por división. Para la transmisión de estas pruebas se introdujo el texto “Sistema de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 1200 bits por segundo”.

Para las gráficas del osciloscopio se introdujo la letra U que se entiende produce una onda cuadrada equitativa como se observa a continuación:

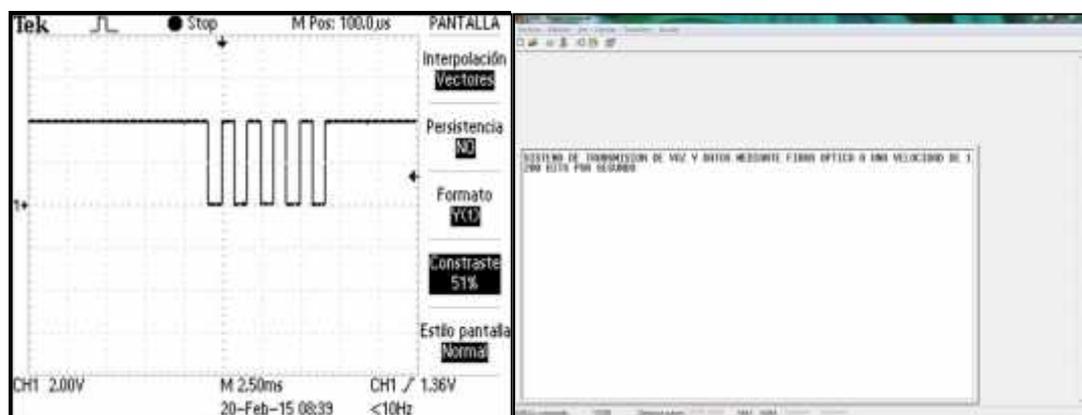


Figura 102 Transmisión de datos a una velocidad de 1200b/s.

Recepción

Para las gráficas de recepción se verificó que el osciloscopio esté configurado a 2.5ms por división en el barrido horizontal y 2 voltios por división en el barrido vertical. Con esto se puede observar que produjo la misma onda cuadrada proveniente de la letra U que fue introducida en la

computadora de transmisión. Además, se verificó el texto introducido anteriormente que no tuvo algún carácter erróneo. Bajo estos antecedentes se concluye que el circuito está funcionando correctamente:

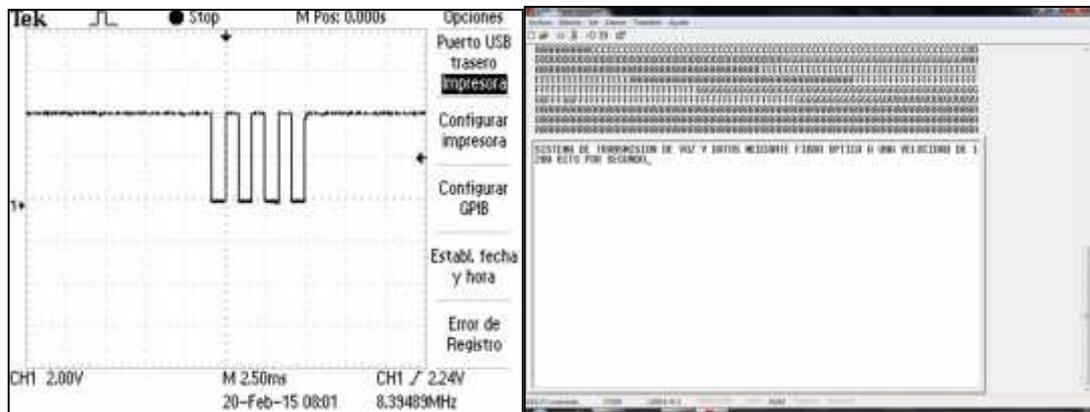


Figura 103 Recepción de datos a una velocidad de 1200b/s.

Para las siguientes gráficas tanto de transmisión como de recepción se tomó como base el proceso anterior cambiando la configuración del barrido horizontal ya que las mismas presentan mayores velocidades de transmisión.

En cuanto al texto de prueba se modifica según la velocidad de bits por segundo referente a las pruebas.

Velocidad de 2400 bits por segundo

Transmisión

Configuración barrido horizontal: 1ms

Configuración de texto de pruebas: “Prueba de transmisión del prototipo de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 2400 bits por segundo”.

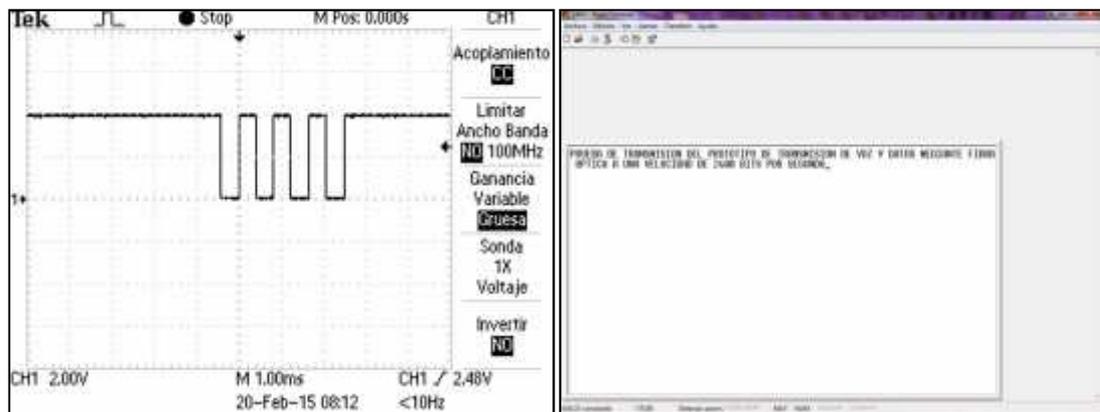


Figura 104 Transmisión de datos a una velocidad de 2400b/s

Recepción

Configuración de barrido horizontal: 1 ms

Verificación de onda cuadrada a 1ms: validado

Validación de texto recibido: “Prueba de transmisión del prototipo de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 2400 bits por segundo”.

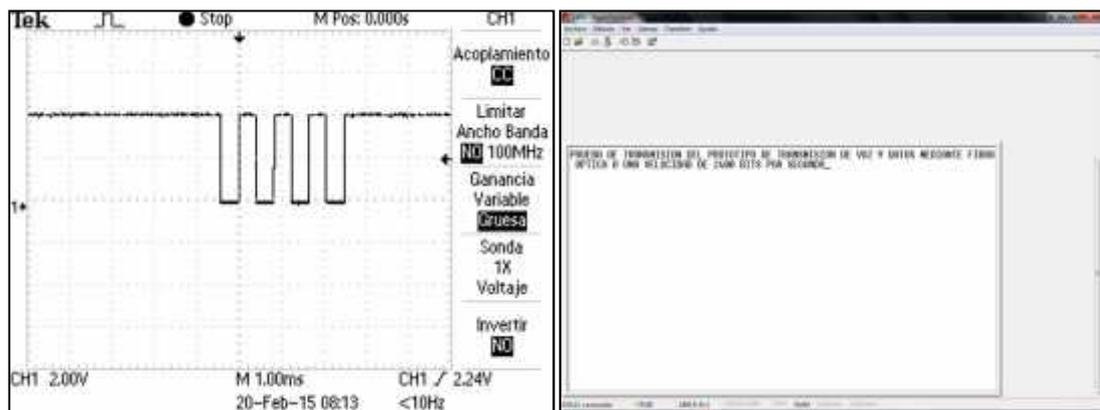


Figura 105 Recepción de datos a una velocidad de 2400b/s

Velocidad de 4800 bits por segundo

Transmisión

Configuración barrido horizontal: 500 μ s

Configuración de texto de pruebas: “Prueba de transmisión de prototipo de transmisión voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 4800 bits por segundo”.

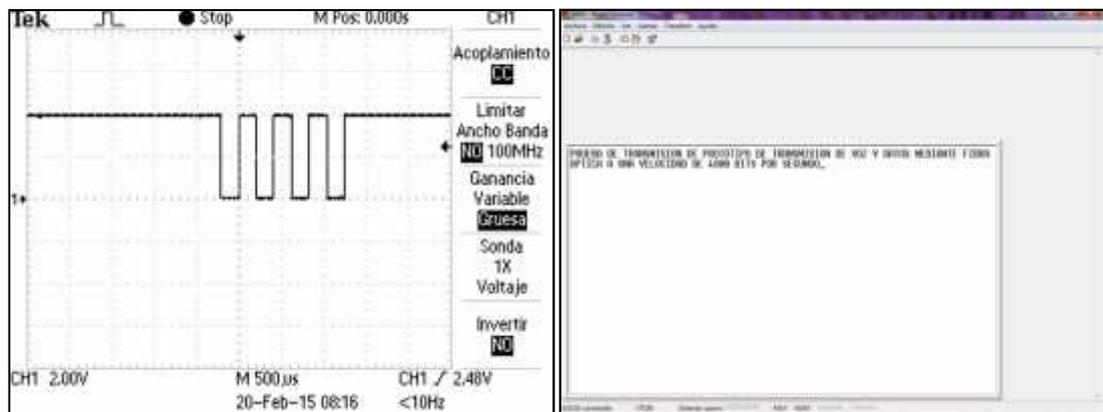


Figura 106 Transmisión de datos a una velocidad de 4800b/s

Recepción

Configuración de barrido horizontal: 500 μ s

Verificación de onda cuadrada a 500 μ s: validado

Validación de texto recibido: “Prueba de transmisión del prototipo de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 4800 bits por segundo”.

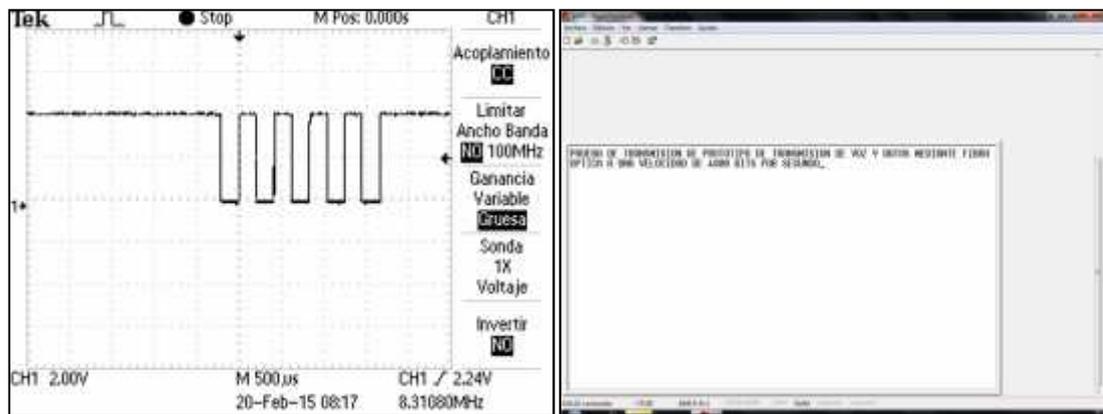


Figura 107 Recepción de datos a una velocidad de 4800b/s

Velocidad de 9600 bits por segundo

Transmisión

Configuración barrido horizontal: 250μs

Configuración de texto de pruebas: “Sistema de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 9600 bits por segundo”.

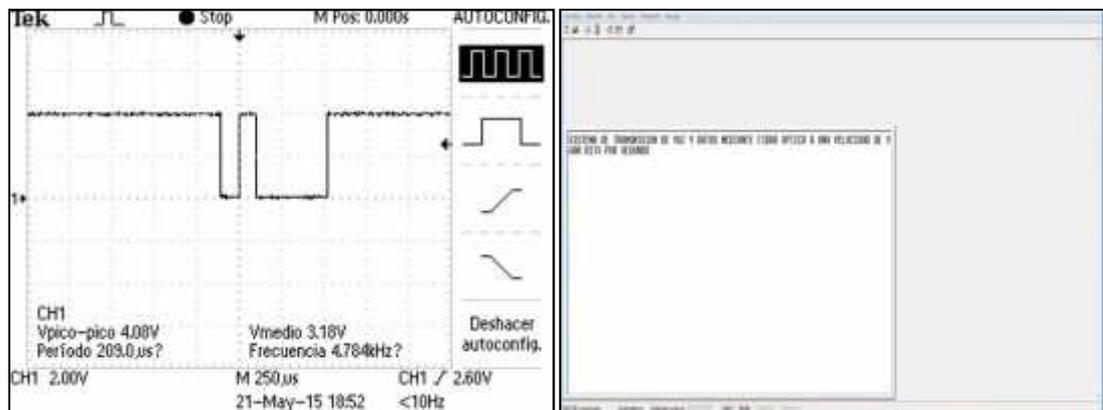


Figura 108 Transmisión de datos a una velocidad de 9600b/s

Recepción

Configuración de barrido horizontal: 250μs

Verificación de onda cuadrada a 250μs: validado

Validación de texto recibido: “Sistema de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 9600 bits por segundo”.

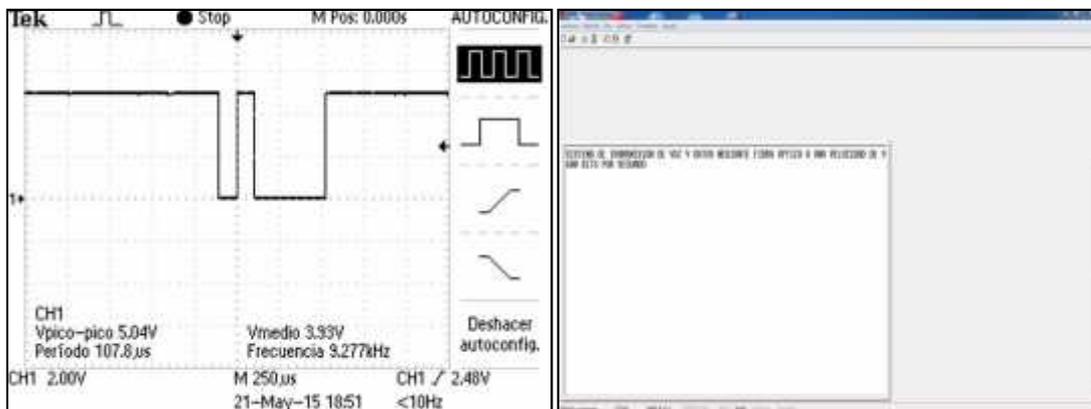


Figura 109 Recepción de datos a una velocidad de 9600b/s

Velocidad de 19200 bits por segundo

Transmisión

Configuración barrido horizontal: 100 μs

Configuración de texto de pruebas: “Sistema de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 19200 bits por segundo”.

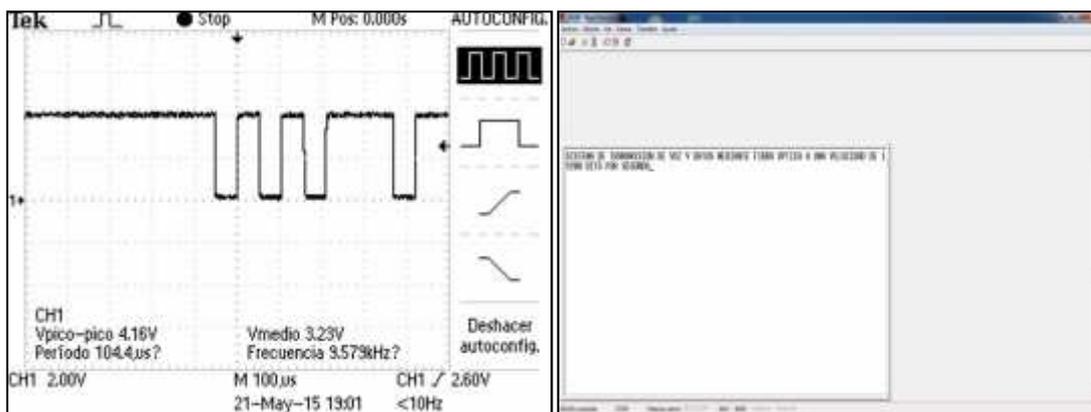


Figura 110 Transmisión de datos a una velocidad de 19200b/s

Recepción

Configuración de barrido horizontal: 100 μ s

Verificación de onda cuadrada a 100 μ s: validado

Validación de texto recibido: “Sistema de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 19200 bits por segundo”.

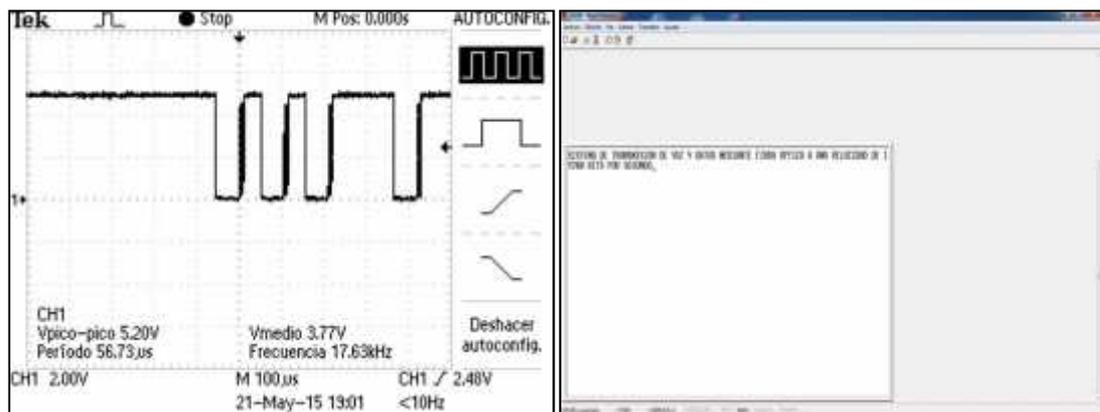


Figura 111 Recepción de datos a una velocidad de 19200b/s

Velocidad de 38400 bits por segundo

Transmisión

Configuración barrido horizontal: 50 μ s

Configuración de texto de pruebas: “Sistema de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 38400 bits por segundo”.

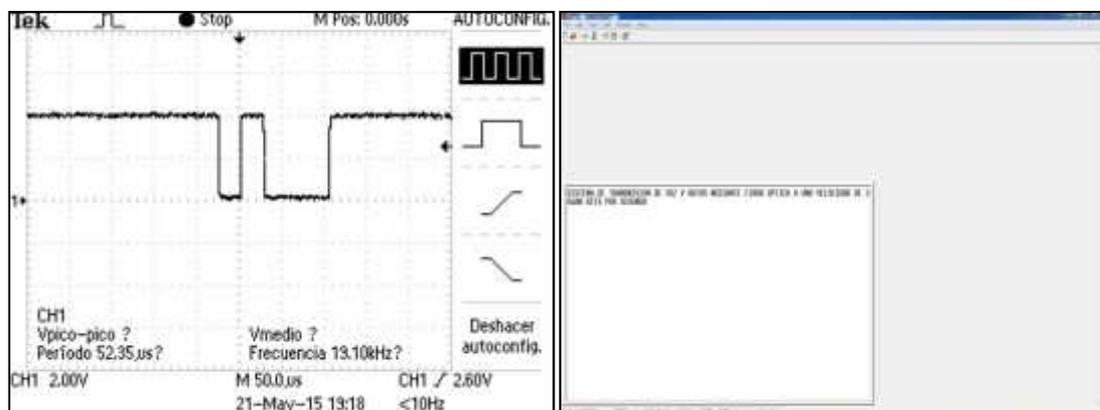


Figura 112 Transmisión de datos a una velocidad de 38400b/s

Recepción

Configuración de barrido horizontal: 50 μ s

Verificación de onda cuadrada a 50 μ s: validado

Validación de texto recibido: “Sistema de transmisión de voz y datos mediante fibra óptica a una velocidad de 38400 bits por segundo”.

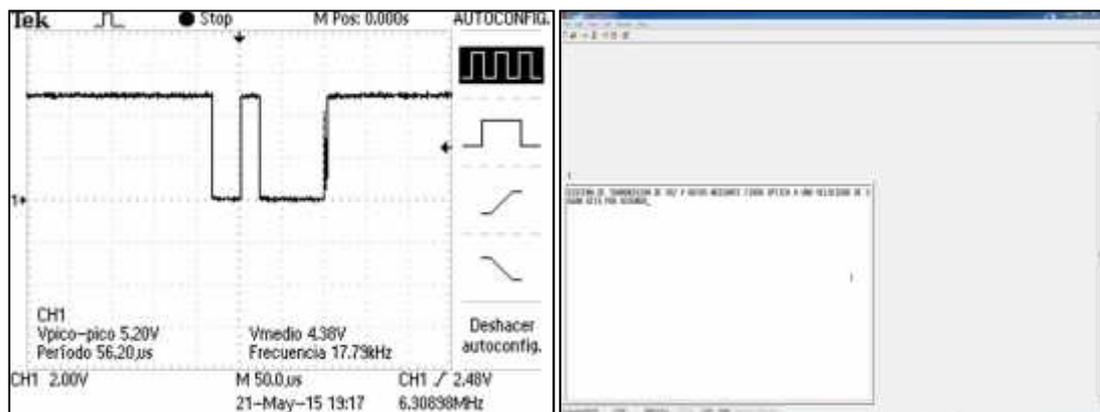


Figura 113 Recepción de datos a una velocidad de 38400b/s

Pruebas para Voz

Se utilizan los módulos de comunicación conectados tanto micrófonos como parlantes en los JACKS proporcionados en las cajas de los circuitos implementados.

Se realizan las pruebas de audio enviados por la voz humana y se muestran a continuación las señales transmitida y recibida que han sido capturadas con el osciloscopio Hewlett Packard:

Transmisión

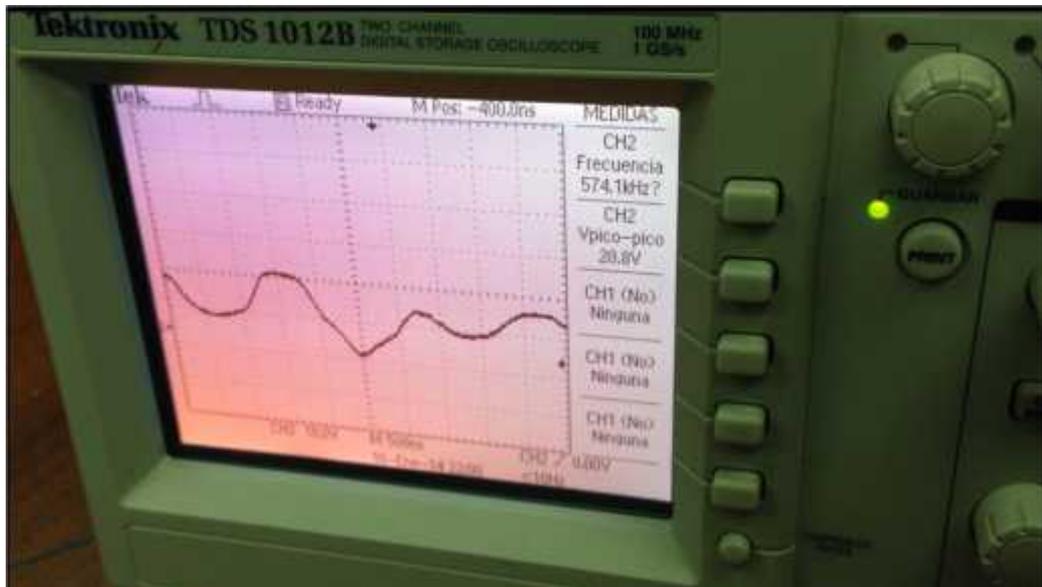


Figura 114 Transmisión de Voz

Recepción

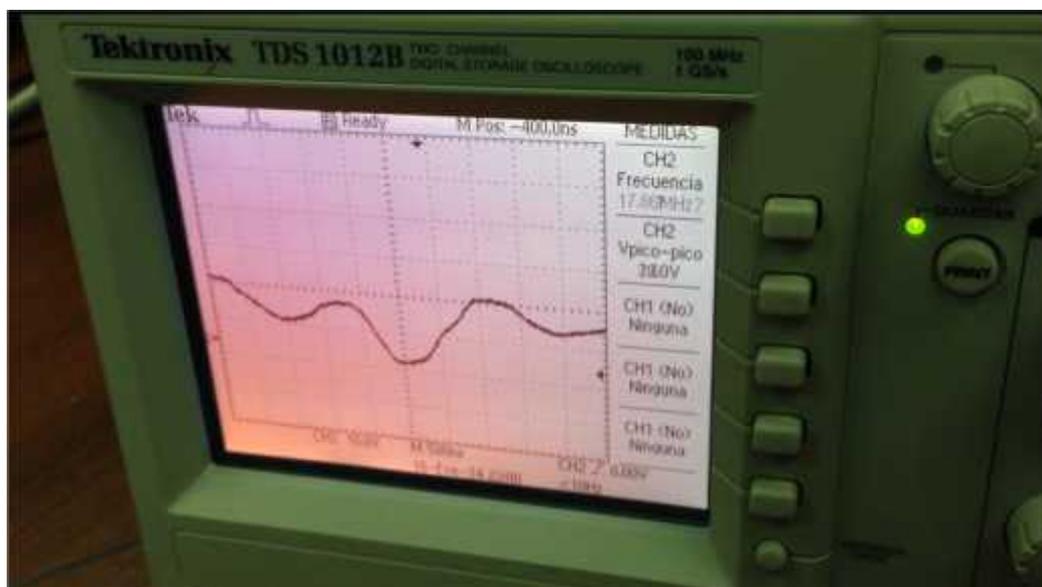


Figura 115 Recepción de Voz

5.4 Costos

Esta sección tiene como finalidad el mostrar la cantidad de dinero utilizado para la construcción de los diferentes módulos propuestos en el circuito implementado.

En estas cotizaciones no se incluyen los costos que generaron los procesos de compra como shippings desde otros países, impuestos para ingreso de materiales, gastos de mensajería, etc.

Para este estudio se dividió el proyecto en:

Los costos para el prototipo de Transmisión de voz y Datos mediante Fibra Óptica, considera 2 partes importantes:

- Costo del Hardware
- Costo de Ingeniería

En el costo del Hardware se incluye el costo de todos los materiales y elementos que intervienen en el diseño de las placas. En la Tabla 5 se detalla cada elemento con su respectivo costo, es importante mencionar que todos los valores incluyen IVA.

Tabla 5
Costos del Hardware

Elemento	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Elaboración de placa de unidad de TX	1	12,00	12,00
Elaboración de Placa de unidad de RX	1	12,00	12,00
Elaboración de Placa de modulador FSK	1	20,00	20,00
Elaboración de Placa de demodulador de FSK	1	20,00	20,00
MAX232	2	0,85	1,70
XR2206	1	2,50	2,50
XR2211	1	1,80	1,80
LM386	1	0,50	0,50
LM741	1	0,50	0,50
Cajas para prototipo	2	9,00	18,00
Regulador de Voltaje 7805	2	0,80	1,60
Resistencias	30	0,02	0,60

Continua →

Capacitores cerámicos	14	0,10	1,40
Capacitores Electrolíticos	16	0,10	1,60
Switches	6	0,25	1,50
Módulo preamplificador	1	5,00	5,00
Toslink TX	1	6,50	6,50
Toslink RX	1	6,50	6,50
Patch Cord FO con conectores TosLink	1	10,00	10,00
Juego de Parlantes	1	5,00	5,00
Micrófono	1	2,00	2,00
Varios, herrajes, conectores de audio, cables, suelda, etc.	1	20,00	20,00
TOTAL (\$)			150,70

Los costos de Ingeniería incluyen el costo del tiempo invertido en la ejecución del proyecto, el valor de la hora fue determinado en base de que el tiempo empleado en el desarrollo del prototipo permitió adquirir más conocimientos acerca de las comunicaciones ópticas y demás dispositivos utilizados, en Tabla 6 se detallan los costos de ingeniería.

Tabla 6
Costos de Ingeniería

Elemento	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Horas de Desarrollo	150	10,00	1500,00
TOTAL			1500,00

El costo Total del Proyecto de presenta en la Tabla 7.

Tabla 7
Costo total del proyecto

Descripción	Costo Total
Costo de Hardware	150,70
Costos de Ingeniería	1500,00
TOTAL	1650,70

Los precios incluyen el I.V.A

En el caso de que se quiera fabricar en serie los costos de ingeniería habría que prorratearlos a todas las unidades fabricadas.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

- En base a la presente tesis se puede concluir diciendo que la interfaz FDDI nace para proporcionar servicios RLD (red local de datos) de alta velocidad, a diferencia de otras tecnologías por ser un medio más confiable (fibra óptica), es posible cubrir una mayor área y la misma tiene como función ser una red dorsal de donde se interconectan infinidad de redes locales.
- Se ha cumplido con el objetivo planteado, que fue el estudio de las características de funcionamiento de la FDDI y la tendencia de las redes de comunicación para transferir mayores masas de información a tasas que las nuevas aplicaciones lo exigen
- Hablando del diseño y construcción del modulo de comunicación didáctico concluimos que el diseño de un enlace óptico relaciona muchas variables respecto a las características tanto de la fibra óptica, fuente de luz, el fotodetector, como los circuitos involucrados
- El diseño del receptor es inherentemente más complejo que el transmisor ya que este tiene que ampliar y reconstruir la señal que ha sido degradada en la transmisión al recibirla por el fotodetector
- La Fibra óptica es un medio de transmisión que presenta grandes ventajas como son la gran capacidad, la poca atenuación, la escalabilidad, la seguridad en la transmisión, mayor calidad de servicio, etc., en comparación a otros medios de transmisión guiados y no guiados (par trenzado, cable coaxial, enlaces de radio, satelitales).
- La tenencia mundial es hacia el incremento del tráfico de Internet, y nuevas aplicaciones como video conferencias, video teléfono, TV,

audio y otros por lo cual es necesario implementar redes de mayor capacidad y versatilidad en nuestro país.

- Se transmiten un canal de voz en el rango de 300 Hz a 3400 Hz siguiendo los requerimientos establecidos por la ITU. La comunicación se realizó a una distancia de un (1) metro, en modo de operación simplex.
- Se implementó una serie de circuitos con el fin de adecuar las señales de voz a cada uno de los aspectos necesarios para el tratamiento de este tipo de señales.
- El sistema implementado utiliza las señales de luz para transmitir información aprovechando todas las ventajas antes mencionadas.
- La elección de la fibra para usar en la red de acceso, no representa un parámetro demasiado crítico ya que por las cortas distancias que se manejan en las redes de acceso de la provincia de Tungurahua no se presentan valores de atenuación o dispersión que puedan influir drásticamente en el comportamiento de los receptores.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda el estudio de la nueva interfaz FDDI-II ya que FDDI tiene algunas deficiencias las cuales como no soportar servicios isócronos, como lo requieren ahora las nuevas aplicaciones de voz, video y multimedia
- Se podría utilizar diferentes fuentes de luz en las diferentes ventanas de operación para mediante una comparación, seleccionar la más adecuada.
- Continuar el trabajo para permitir la transmisión de la señal de voz en los dos sentidos en una comunicación full-dúplex.

BIBLIOGRAFÍA

- BERNHARD, A. y. (1994). FDDI and FDDI- II: Architecture, Protocols and Performance. In A. y. BERNHARD, *FDDI and FDDI- II: Architecture, Protocols and Performance* (p. 399). Norwood, MA: Artech House Inc.
- CHOMYCZ, B. (1998). *Instalaciones de Fibra Óptica Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones*. McGraw Hill.
- FORTIER, P. J. (1992). Handbook of LAN Technology, Second Edition. In P. J. FORTIER, *Handbook of LAN Technology, Second Edition*. (p. 732). New York: McGraw Hills.
- JARDON AGUILAR, H. &. (1995). *Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas*. Mexico, D.F: Alfaomega.
- MAZAFERRO, J. F. (1990). An overview of FDDI, Journal of Data and computer communications. In J. F. MAZAFERRO, *An overview of FDDI, Journal of Data and computer communications* (pp. 15-27). Summer.
- MILEAF, H. (1985). *Principios de electronica*. Limusa.
- TUR, J. &. (1989). *Todo sobre fibras Ópticas*. Marcombo.