

61
2^{ej.}



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE
PRUEBAS PARA ENLACES DE FIBRA OPTICA

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO EN COMPUTACION

p r e s e n t a n

MARCELA MENDEZ SEGURA

OMAR PEREZ CARBOT



Director de Tesis:
ING. RICARDO MARTINEZ GARZA FERNANDEZ

México, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Pruebas actuales a los enlaces de fibra óptica 1

1.2 ¿Por qué diseñar un sistema de pruebas para enlaces de fibra óptica?3

CAPITULO 2

DISEÑO

2.1 Circuito Intercomunicador de Voz 6

2.2 Circuito Transmisor de Reloj10

2.3 Adaptación para Transmisión Serie PC a PC15

2.4 Indicador de Nivel de Señal Óptica y Atenuación15

2.5 Integración en un sistema de pruebas 19

2.6 Cálculos de enlace23

CAPITULO 3**IMPLEMENTACION**

3.1 Implementación del sistema de pruebas	28
---	----

CAPITULO 4

<i>MANUAL DE OPERACION</i>	32
----------------------------------	----

CAPITULO 5

<i>CONCLUSIONES</i>	44
---------------------------	----

APENDICES**APENDICE A**

<i>CONCEPTOS BASICOS</i>	47
--------------------------------	----

APENDICE B

<i>FIBRA OPTICA vs. CABLE DE COBRE</i>	51
--	----

APENDICE C

<i>COMPONENTES DE UN SISTEMA BASICO</i>	56
---	----

APENDICE D

PARAMETROS DE LA FIBRA OPTICA 62

APENDICE E

MODULACION 65

APENDICE F

RED INTEGRAL DE TELECOMUNICACIONES DE LA U.N.A.M. 67

BIBLIOGRAFIA 68

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Recientemente se ha incrementado rápidamente la cantidad de fibra óptica instalada en nuestro país, tanto en instituciones privadas como públicas. La Universidad Nacional Autónoma de México no ha sido la excepción ya que desde 1989 se utiliza cableado de fibra óptica dentro del campus universitario. A raíz del Proyecto "Red Integral de Telecomunicaciones de la U.N.A.M.", se han incrementado los enlaces de fibra entre los diferentes institutos y dependencias hasta llegar a un total de aproximadamente 500 Km de fibra instalada. El proyecto tiene como objetivo fundamental lograr la integración de los servicios de voz y datos en una red privada que incluya a las dependencias que se ubican tanto en la Ciudad Universitaria como en el área metropolitana y diversos estados de la República Mexicana. Este proyecto es coordinado por la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (D.G.S.C.A.) y supervisado por la Dirección de Telecomunicaciones Digitales (D.T.D.), (APENDICE F).

El proceso de instalación de un enlace de fibra óptica se puede resumir en cinco pasos: tendido del cable, acometida al edificio, empalmes, conectarización y pruebas. Nuestro trabajo de tesis se concentra en la etapa que corresponde a las pruebas de los enlaces de fibra óptica.

1.1 Pruebas actuales a los enlaces de fibra óptica

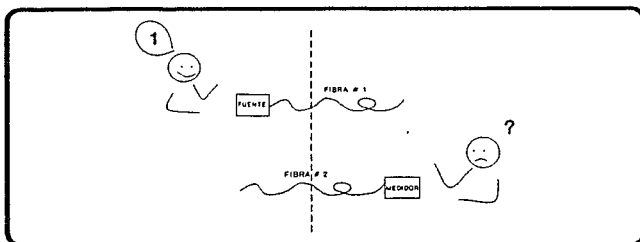
El objetivo de las pruebas es confirmar y garantizar el correcto funcionamiento de cada enlace de fibra óptica. Para la red de fibra óptica en Ciudad Universitaria se ha utilizado cable de 8 fibras, cada una de las cuales debe ser probada antes de ponerla en operación.

Existen comercialmente dos sistemas de medición para fibra óptica con los cuales se cuenta en nuestra Universidad.

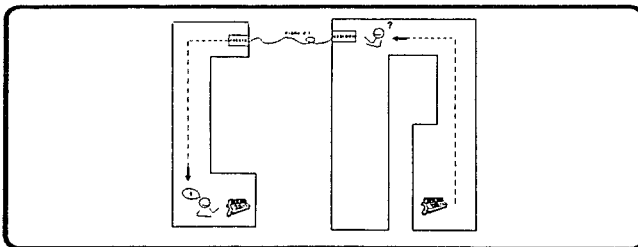
- Medidor de potencia óptica. Proporciona un valor que representa la pérdida aproximada de potencia óptica a través de la fibra.
- Reflectómetro óptico. (Optical Time-Domain Reflectometer OTDR). Proporciona una gráfica de distancia vs. potencia óptica que determina la longitud de la fibra, localiza cortes o fracturas de la misma así como pérdidas de potencia debidas a empalmes y conectores.

La utilización de dichos sistemas para la evaluación y mantenimiento de fibra óptica resulta prácticamente indispensable. Sin embargo, en la práctica surgen dificultades relacionadas con su uso, mismas que se exponen a continuación:

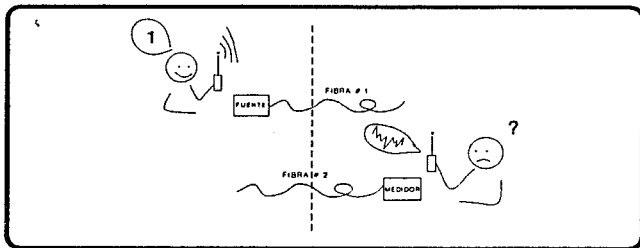
a) No cuentan con un medio de comunicación de voz entre los extremos de la fibra óptica para poder coordinar y llevar a cabo cada una de las mediciones. Por ejemplo, el medidor de potencia óptica necesita de una fuente de referencia en el extremo contrario al de la medición. Si no se trabaja en la misma fibra óptica, no se obtendrá la medición esperada.



Tener disponible un enlace telefónico no garantiza una adecuada coordinación si los aparatos telefónicos no se localizan cerca o en el lugar exacto donde termina la fibra óptica. Las mediciones pueden tomar varias horas por lo que el costo de establecer dicha comunicación puede resultar elevado.



El uso de radiocomunicación parece una solución adecuada sin embargo los radios tienen un alcance limitado así como una corta duración en la carga de sus baterías.



b) Con estos sistemas se realiza transmisión de información que no tiene significado real para el usuario, es decir, no se prueba transmisión de datos o voz.

c) Contar con sistemas de respaldo o actualizarlos representa una inversión elevada del orden de decenas de miles de dólares.

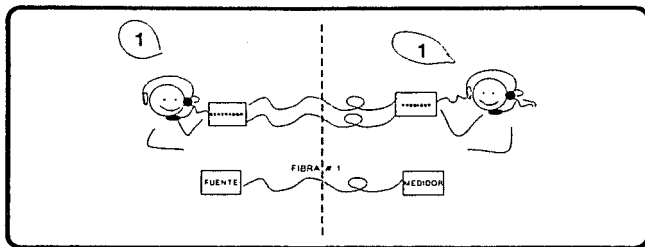
d) El medidor de potencia óptica y su fuente de referencia son equipos portátiles de peso y tamaño reducidos. Sin embargo, el OTDR es grande en tamaño y peso por lo que su transportación de un lugar a otro resulta poco práctica para quien realiza las mediciones.

1.2 ¿Por qué diseñar un sistema de pruebas para enlaces de fibra óptica?

Tomando en cuenta los conceptos enunciados anteriormente, se planteó la necesidad de diseñar un sistema que cuente con las características siguientes:

a) Establecer una comunicación de voz punto a punto utilizando como medio de transmisión la fibra óptica.

Con ello, coordinar: las pruebas y mediciones de la fibra óptica, instalación y mantenimiento de equipos de telecomunicaciones, y en general cualquier actividad que requiera de coordinación entre personas que estén en lugares enlazados por fibra óptica. Todo lo anterior de manera directa evitando los inconvenientes del uso de servicios como telefonía o radiofrecuencia mencionados anteriormente.



b) Transmitir información que tenga significado y utilidad para el usuario, como por ejemplo, transferencia de archivos o mensajes entre computadoras. Con esto se tiene una prueba objetiva del buen funcionamiento de la fibra óptica.

c) Bajo costo

Además, deberá de ser de tamaño pequeño y sencillo en su operación.

Este sistema de pruebas podrá utilizarse de manera conjunta con los equipos de medición (medidor de potencia óptica y OTDR) para formar así un completo mecanismo de análisis y pruebas para fibras ópticas.

El sistema propuesto consta de:

1. Circuito intercomunicador de voz.
2. Circuito transmisor de reloj.
Circuito receptor de reloj y contador.
3. Circuito de comunicación serie PC a PC.
4. Circuito indicador de nivel de señal óptica y atenuación.

En la figura de la página siguiente se muestra el diagrama de bloques del sistema de pruebas.

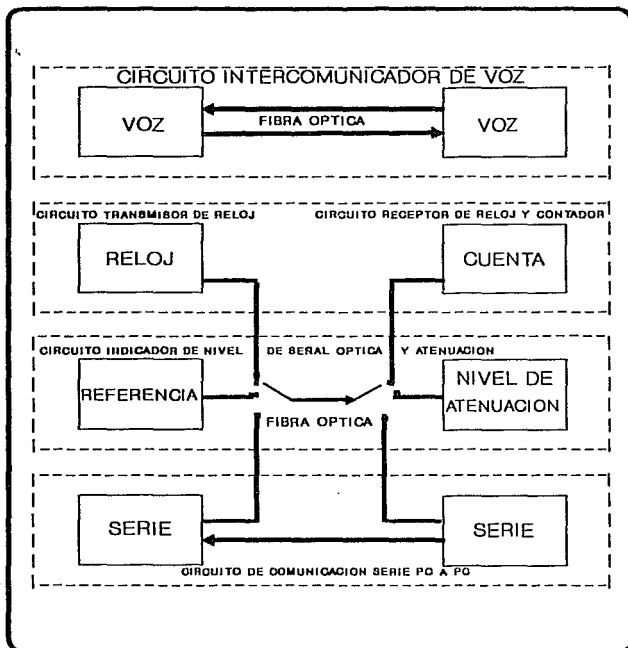


Diagrama de bloques del sistema de pruebas.

En el capítulo dos se explican en forma detallada los circuitos que integran al sistema de pruebas para enlaces de fibra óptica.

CAPITULO 2

DISEÑO

2.1 Circuito Intercomunicador de Voz

El intercomunicador de voz, como todo sistema de transmisión, consiste de tres partes fundamentales: transmisor, medio de transmisión (en este caso fibra óptica) y receptor.

2.1.1 Transmisor

El transmisor vía fibra óptica consiste de un micrófono, un amplificador, un manejador (driver), una fuente óptica y conectores o interfaz.

El diagrama electrónico del circuito transmisor se muestra en la figura 2.1.1

La voz produce vibraciones mecánicas las cuales son captadas por el micrófono que contiene una membrana sensitiva. Su operación es similar a una resistencia variable. Cuando no hay señal de entrada, el micrófono actúa como una resistencia fija. Esto nos proporciona un voltaje de aproximadamente 4 volts a través del micrófono. Cuando sí existe señal en la entrada (voz) su resistencia varía de acuerdo a la amplitud y a la frecuencia.

El voltaje a través del micrófono se acopla a un circuito LM741 para su amplificación.

Los valores de R2 y R4 son iguales y dividen el voltaje de la fuente aplicado a la terminal no inversora del amplificador. El capacitor en paralelo C2 filtra cualquier ruido de la fuente de voltaje en el divisor.

La salida del amplificador operacional se acopla directamente a la base de un transistor NPN de emisor común que maneja la carga D1, un LED (Light-Emitting Diode) cercano al espectro Infrarrojo cuya emisión óptica está centrada en 850 nanómetros. El LED EOM-M4 cuyas características ópticas se resumen en la tabla 2.1. El centro del espectro óptico se encuentra fuera de la banda de visión del ojo humano. Cuando el LED está encendido se puede observar una tenue luz roja, debido a que el espectro de emisión del LED se extiende a una región que es visible para el ojo humano. La corriente del colector a través del LED es:

$$I_c = (V_o - V_{bc})/R_7$$

donde V_o es el voltaje de salida del amplificador operacional, V_{be} es el voltaje de base emisor de Q1 y R7 es de 33 ohms.

Los valores obtenidos son:

$V_o = 2.4 \text{ V}$, $V_{be} = 0.68 \text{ V}$ con lo cual $I_c = 54 \text{ mA}$.

CARACTERISTICAS OPTICAS LED Emisor EOM-M4 ¹		
<u>Característica</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidades</u>
Potencia de salida	4	miliWatts
Apertura numérica	0.30	----
Diámetro de salida	250	micrómetros
Longitud de onda	850	nanómetros

¹ Optoelectronics Device Data, Motorola 1989

Tabla 2.1

2.1.2 Receptor

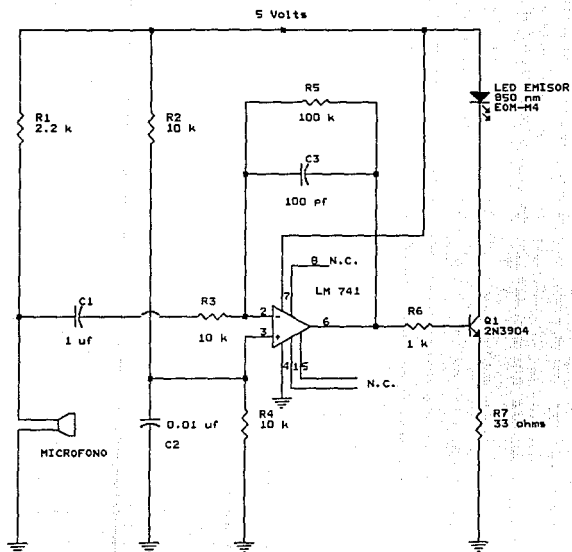
El diagrama electrónico del circuito receptor se muestra en la figura 2.1.2

La energía de luz modulada recibida a través de la fibra óptica se acopla a la base fotosensitiva del fotodetector Q1, el MFOD2404, donde la energía óptica se convierte en corriente eléctrica. En la tabla 2.2 se resumen sus principales características ópticas. La corriente que fluye a través de Q1 es directamente proporcional a la intensidad de la luz que llega a la base: mientras más luz llegue a la base, más corriente fluirá a través del colector.

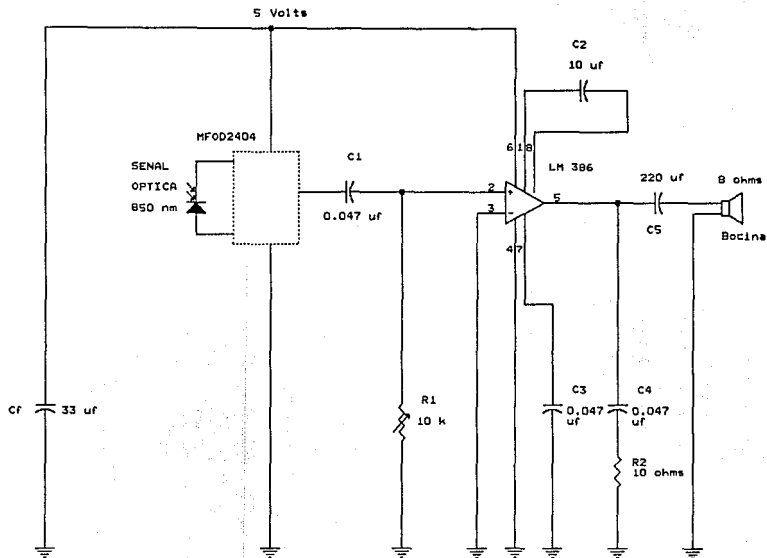
CARACTERISTICAS OPTICAS Fotodetector MFOD2404 ¹		
<u>Característica</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidades</u>
Sensitividad	0.1	microWatts
Apertura numérica	0.5	----
Diámetro de entrada	300	micrómetros
Longitud de onda	850	nanómetros

¹ Optoelectronics Device Data, Motorola 1989

Tabla 2.2



MARCELA MENDEZ SEGURA	
OHAR PEREZ CARBOT	
Title	
Circuito Transmisor de Voz via Fibra Optica.	
Size Document Number	
A	Figura 2.1.1
Date: November 21, 1992	Sheet 1 of 1



MARCELA MENDEZ SEGURA
OMAR PEREZ CARBOT

Title		REV
Circuito Receptor de Voz via Fibra Optica.		
Size Document Number		1c
A	Figura 2.1.2	
Date: November 21, 1992	Sheet	1 of 1

La corriente que fluye a través del fototransistor se convierte en voltaje por un potenciómetro R1. El volumen de audio del intercomunicador se ajusta por medio de dicha resistencia variable, mismo que proporciona un rango de operación equivalente al ancho de banda audible. El potenciómetro tiene integrado un interruptor para la fuente de alimentación.

El LM386 es un amplificador de potencia de audio diseñado para usarse en aplicaciones que consumen bajo voltaje. La ganancia está ajustada internamente a 20, con la opción de incrementarse hasta 200, con un capacitor externo ($10\mu\text{farads}$) a través de los pines 1 y 8 del amplificador de audio. Los componentes C4 y R2 proporcionan compensación para el LM386 manejando los $8\ \Omega$ de la carga (bocina).

El filtrado de la fuente de alimentación para el circuito receptor lo proporciona el capacitor electrolítico Cf.

2.2 Circuito Transmisor de Reloj

Para probar la correcta transmisión de datos usando la fibra óptica como medio físico se propone utilizar un par de circuitos electrónicos, uno para cada extremo del enlace a probar. Llamemos circuito A al transmisor y circuito B al receptor tal y como se muestra en la figura 2.2.1.

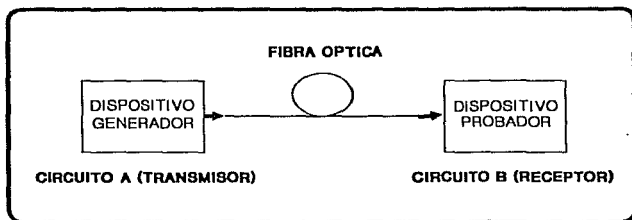


Figura 2.2.1

El circuito A genera una señal cuadrada con nivel TTL a una frecuencia de un Hz (que llamaremos señal de reloj) que se convierte en señal óptica mediante un led emisor; dicha señal óptica se transmite por la fibra y a la recepción tenemos el circuito B que gracias a un fotodetector convierte la señal óptica nuevamente en señal eléctrica (reloj) que es la entrada a un contador BCD cuya cuenta se observa en un display de siete segmentos. Si la señal de reloj llega exitosamente al extremo B del enlace entonces la cuenta BCD se realizará también correctamente. Lo anterior es la idea general del funcionamiento del circuito transmisor de reloj. Sin embargo, existen varios parámetros de diseño importantes que se explican a continuación.

-Selección del tipo de emisor (convertidor eléctrico/óptico).

Tomando en cuenta los estándares para equipos de comunicación de datos vía fibra óptica utilizados así como la idea de un diseño económico, se decidió por un led emisor de luz en el espectro infrarrojo, el EOM-M4 con las características principales que se muestran en la tabla 2.1

-Selección del detector óptico.

Dado que se requiere el manejo de una señal TTL se decidió utilizar un fotodetector compatible con el LED EOM-M4 (Tabla 2.1) y que nos proporciona una salida TTL, el MFOD1035 cuyas características ópticas se resumen en la tabla 2.3. Así, conectamos la salida del fotodetector a nuestro contador para obtener el reloj originalmente enviado.

CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS		
Fotodetector MFOD3510 ¹		
<u>Característica</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidades</u>
Sensitividad	0.1	microWatts
Apertura numérica	0.5	----
Diámetro de entrada	300	micrómetros
Longitud de onda	850	nanómetros

1 Optoelectronics Device Data, Motorola 1993

Tabla 2.3

-Tipo de fibra óptica bajo prueba.

El tipo de fibra óptica es el conocido como 62.5 μ m/125 μ m y es utilizado para los enlaces que se instalaron y se continúan instalando dentro del campus de Ciudad Universitaria dentro del proyecto "Red Integral de Telecomunicaciones de la UNAM".

CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA		
Multimodo de índice gradual ²		
<u>Característica</u>	<u>Valor</u>	<u>Unidades</u>
Diámetro del núcleo	62.5	micrómetros
Diámetro del revestimiento	125	micrómetros
Atenuación	2.75	dB/km
Ancho de banda(rango)	150 - 1000	MHz-km

2 Fiber Optic Interconnection Systems, AMP 1986

-Selección de la frecuencia del generador de reloj.

-Dado que en el receptor se tiene que observar una cuenta BCD se decidió una frecuencia de 1 Hz para el reloj. Con tal frecuencia se logran dos cosas:

a) Evitar una etapa de división de frecuencia si se utilizara una frecuencia de reloj mayor a, por ejemplo, 5 Hz, ya que el ojo humano no es capaz de tomar una lectura que varíe 5 veces por segundo o más.

b) El observador del circuito B podrá tomar adecuadamente la lectura de la cuenta BCD si ésta se realiza y así evaluar la correcta transmisión de la señal de reloj a través del enlace de fibra óptica.

-Diseño del generador de reloj.

Se utilizó un circuito integrado LM 555 con un par de resistencias y capacitores externos el cual nos proporciona a la salida una señal cuadrada de 5 Vpp a una frecuencia de 1 Hz. Para obtener esta frecuencia, se calcularon los valores de las resistencias y capacitores según la fórmula propuesta por Linear Databook de National Semiconductor

$$f = 1.44 / (R2 + 2R1)C1 \quad \text{con } C2 = 0.1 \mu\text{f}$$

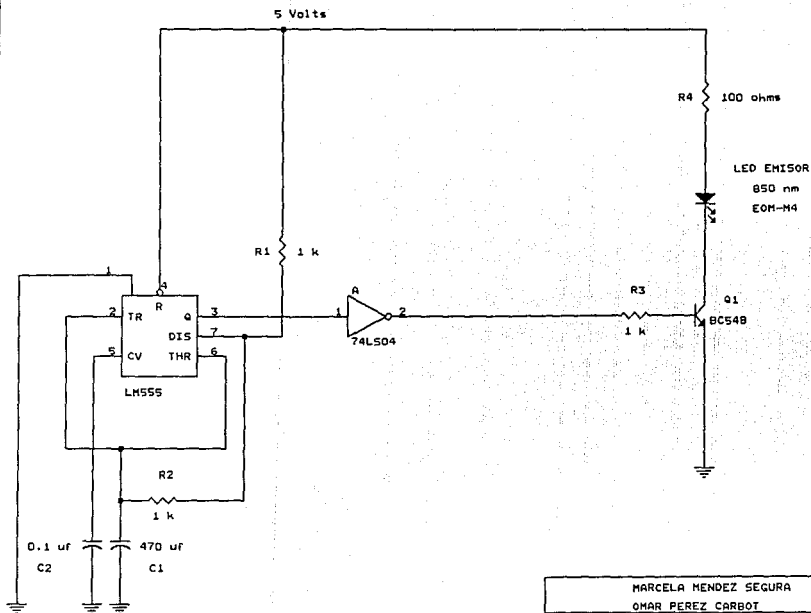
para un valor de $R2 = R1 = 1 \text{ k}$ y una frecuencia $f = 1 \text{ Hz}$ se tiene que

$$C1 = 480 \mu\text{f}$$

-Contador.

Para el circuito B el reloj recibido es la entrada a un circuito integrado contador BCD 74192 cuya salida de cuatro bits se codifica a siete segmentos mediante un circuito integrado 7447 y finalmente se presenta el conteo en un display de un dígito y siete segmentos. Este circuito se puede extender a dos dígitos agregando otro contador 74192 y conectando la salida de acarreo del primero a la entrada de cuenta ascendente del segundo.

Los diagramas de los circuitos A y B quedan finalmente como se muestran en las Figuras 2.2.2 y 2.2.3.



MARCELA MENDEZ SEGURA

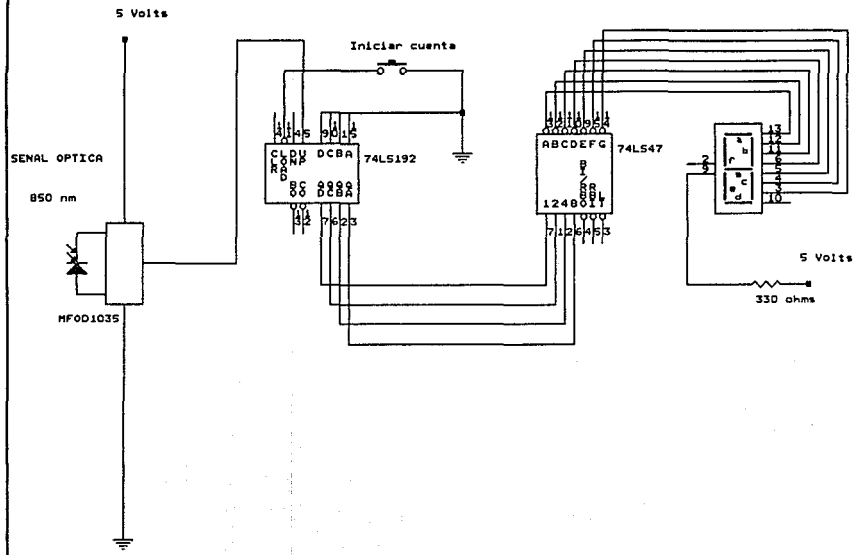
OMAR PEREZ CARBOT

Title
TRANSMISOR DE RELOJ VIA FIBRA OPTICA.

Size Document Number REV

A Figura 2.2.2 1A

Date: November 23, 1992 Sheet 1 of 1



MARCELA MENDEZ SEGURA	
OMAR PEREZ CARBOT	
Title	
CIRCUITO RECEPTOR DE RELOJ Y CONTADOR BCD	
Size Document Number	
A	Figura 2.2.3
Date: November 23, 1992	Sheet 1 of 1
REV	1A

2.3 Adaptación para Transmisión Serie PC a PC

Para poder realizar una prueba que nos permitiera una transmisión de información digital más completa utilizando nuestro sistema de pruebas, se decidió utilizar una interfaz RS-232 para poder intercomunicar dos computadoras personales a través de su puerto serie con la interfaz ya mencionada.

Para esto, se utilizaron los circuitos integrados 1488 y 1489. El CI 1488 es un convertidor de nivel TTL a nivel RS-232 que se polariza con voltajes de 12v - 12v. El CI 1489 es un convertidor de nivel RS-232 a nivel TTL que se polariza con 5v. Los circuitos se presentan en las figuras 2.3.1 y 2.3.2.

Para la prueba de comunicación se utilizaron dos computadoras portátiles con interfaz serie RS-232 y un paquete de comunicaciones que nos permite intercambiar mensajes entre dos computadoras vía puerto serie. Las pruebas de transmisión de información se realizaron a una velocidad de 19200 bauds.

2.4 Indicador de Nivel de Señal Óptica y Atenuación

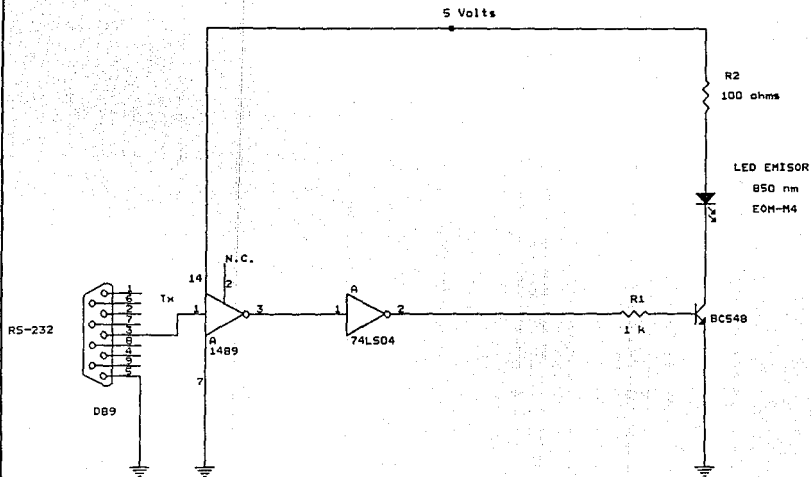
Realizar una medición de atenuación implica la utilización de sofisticados y precisos circuitos de instrumentación; sin embargo, para obtener una idea aproximada de la magnitud de la atenuación en una fibra óptica basta con que se nos muestre gráficamente si estamos recibiendo o no suficiente potencia de señal óptica de recepción. Se nos ocurrió que en una barra de led's podría representarse la cantidad de potencia óptica recibida: si dicha potencia corresponde a la enviada (señal de referencia) se encienden sólo ciertos led's, si es poco menor a la enviada se encienden los led's anteriores más otros tantos y finalmente si la potencia es mucho menor a la de referencia entonces se encienden todos los led's.

Para ello se diseñó un circuito que, considerando a la corriente de salida del fotodetector proporcional a la cantidad de luz recibida, convierte dicha corriente en un voltaje que a su vez es la entrada a un circuito integrado 3914. El LM3914 es un manejador de display de barra que en su configuración básica (propuesta por el manual Linear Databook de National Semiconductor) despliega variaciones de voltaje entre 0 y 1.2v en una barra de 10 leds.

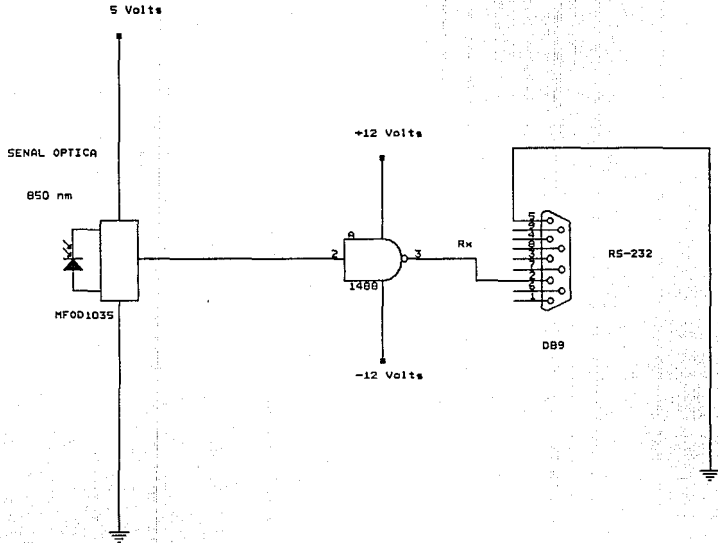
El circuito se muestra en la figura 2.4.1

Es importante mencionar que la señal de referencia es generada al transmitir un "uno lógico" desde un dispositivo generador con lo cual se obtiene una señal de potencia constante en el LED emisor.

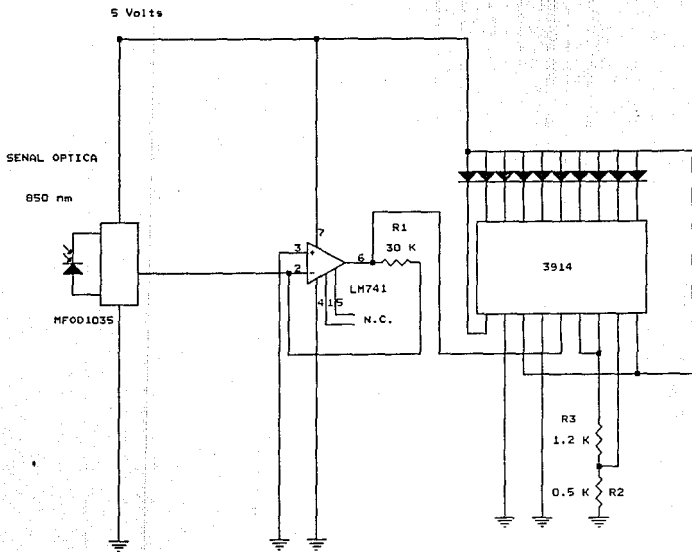
Los valores de R1, R2 y R3 fueron ajustados para poder obtener una variación de voltaje entre 0 y 1.2 volts y así hacer uso de la escala completa de 10 leds.



MARCELA MENDEZ SEGURA	
OMAR PEREZ CARBOT	
Title TRANSMISOR DE DATOS VIA FIBRA OPTICA.	
Size	Document Number
A	Figura 2.3.1
Date: November 21, 1992	Sheet 1 of 1
REV	1A



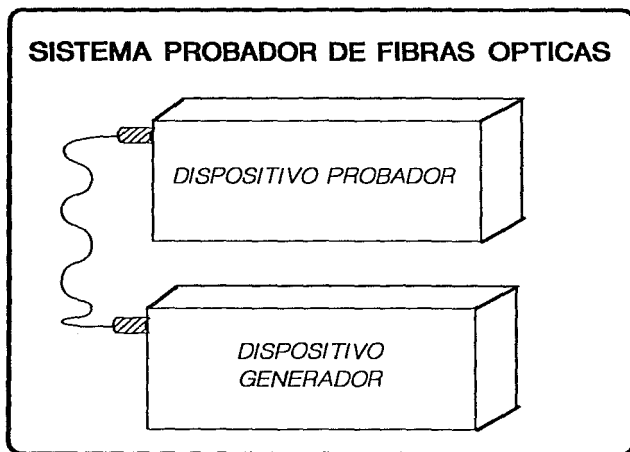
MARCELA MENDEZ SEGURA	
OMAR PEREZ CARBOT	
Title	
CIRCUITO RECEPTOR DE DATOS VIA FIBRA OPTICA.	
Size/Document Number	
A	Figura 2.3.2
Date: November 23, 1992	Sheet 1 of 1
	REV 1A



MARCELA MENDEZ SEGURA			
OMAR PEREZ CARBOT			
Title			
INDICADOR DE NIVEL DE ATENUACION.			
Size Document Number			
A	Figura 2.4.1	REV	1A
Date: November 23, 1992		Sheet	1 of

2.5 Integración en un sistema de pruebas

Se han presentado y explicado ya varios circuitos en forma aislada. Sin embargo, la idea es integrarlos en un sistema completo para pruebas de enlaces de fibra óptica. Así, se plantea la construcción de un dispositivo probador y otro generador tal y como se emplea en los sistemas de medición en donde un equipo envía los datos o señal y otro registra las mediciones. En el circuito probador se tomarán las lecturas del contador BCD y de nivel de atenuación mientras que en el dispositivo generador se enviarán las señales de reloj o de referencia según se seleccione. En ambos dispositivos se tendrá la interfaz RS-232 para comunicación serie entre computadoras personales así como los circuitos de transmisión de voz.



2.5.1 Dispositivo probador

Se pueden realizar las siguientes actividades:

- Lectura de la cuenta en los dos displays de siete segmentos, del 00 al 99
- Lectura del nivel de señal óptica en la barra de 10 led's según la escala de Bien/Regular/Mal
- Comunicación de voz
- Comunicación de datos a través del puerto serie de una computadora personal

Para todo lo anterior, se construyó el dispositivo probador como se muestra en la figura 2.5.1.

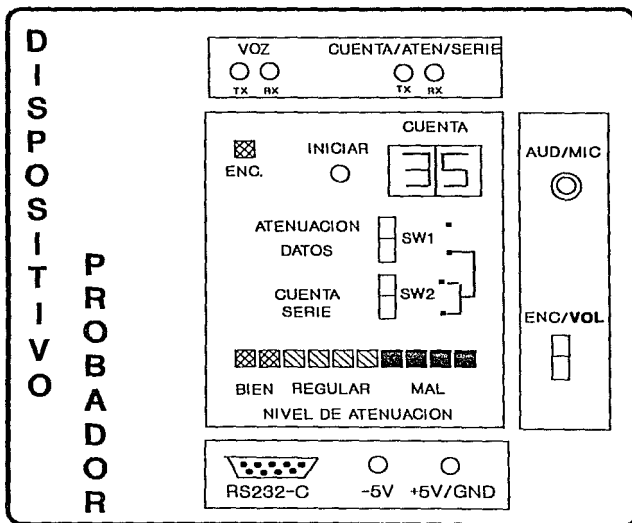


Figura 2.5.1

2.5.2 Dispositivo generador.

Se pueden realizar las siguientes actividades:

- Transmisión de la señal de reloj
- Transmisión de la señal de referencia
- Comunicación de voz
- Comunicación de datos a través del puerto serie de una computadora personal

Para todo lo anterior, se construyó el dispositivo probador como se muestra en la figura 2.5.2.

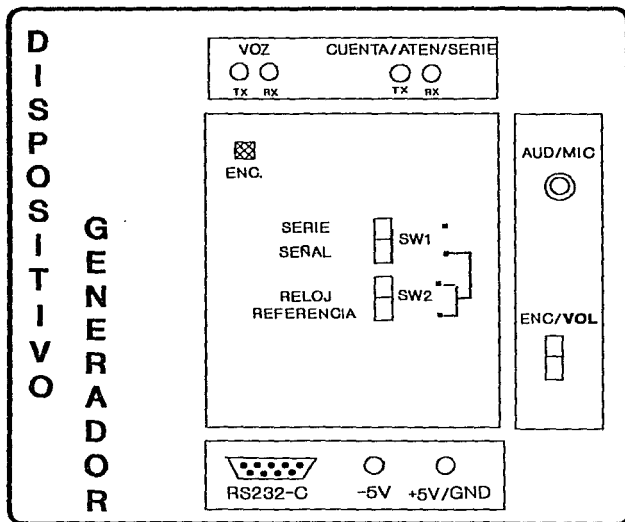


Figura 2.5.2

Es importante destacar que la razón por la cual se colocaron dos canales transmisión/recepción es que de esta manera, se podrá tener siempre habilitada la comunicación de voz mientras se realiza cualquiera de las otras tres pruebas, es decir, lectura de la cuenta BCD, nivel de atenuación o bien transmisión serie lo cual permite una mayor dinámica en las pruebas.

Así mismo, la comunicación de voz se podrá utilizar para coordinar otras pruebas como medición de atenuación, obtención de gráficas atenuación/distancia, conexión de equipo de comunicaciones (modem óptico, multiplexor, repetidor, etc.).

Por otro lado, el sistema de pruebas puede ser utilizado como identificador de fibras cuando éstas no estén debidamente identificadas, para ello se utiliza el modo cuenta BCD y reloj para los dispositivos probador y generador respectivamente.

El modo de utilizar cada uno de los dispositivos se describe en el "Manual de Operación" presentado en el capítulo 4 de este trabajo.

2.6 Cálculos de enlace

Para poder determinar los alcances y limitaciones del sistema de pruebas diseñado es indispensable realizar cálculos de enlace en relación a la longitud y atenuación máxima total permitida para que pueda operar correctamente.

Los parámetros necesarios para llevar a cabo dichos cálculos se obtuvieron de las hojas de especificaciones técnicas tanto de los convertidores eléctrico/óptico y óptico/eléctrico así como de los datos del fabricante del cable de fibra óptica utilizada en el proyecto de la Red Integral.

La figura 2.6.1 nos muestra los elementos que componen un enlace típico por fibra óptica mismo en el que nos basamos para realizar los cálculos de enlace.

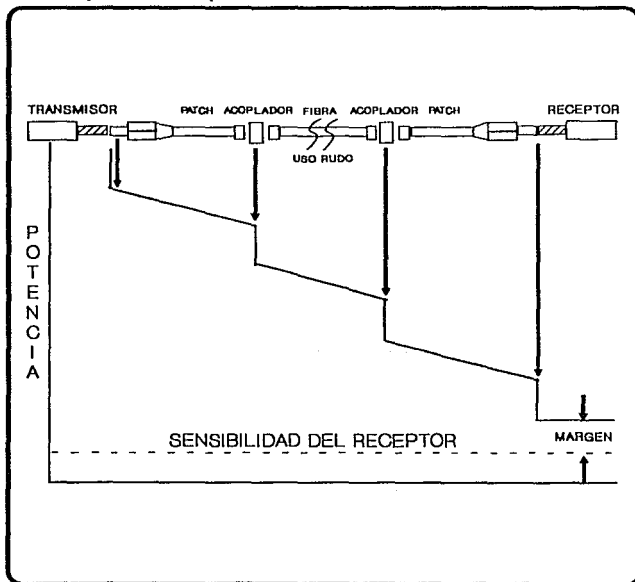


Figura 2.6.1

Los parámetros y sus valores son los siguientes:

TRANSMISOR¹

Potencia de salida en Watts	4 mW
Potencia de salida en dBm	6 dBm
Diámetro de salida	250 micrómetros
Apertura numérica	0.3
Pérdida por el conector	1.5 dB

¹ Optoelectronics Device Data. Motorola 1989

Tabla 2.6.1

FIBRA OPTICA²

Diámetro del núcleo	62.5 micrómetros
Diámetro del revestimiento	125 micrómetros
Apertura numérica	0.275
Atenuación	2.75 dB/km
Longitud máxima del enlace	X km
Pérdida por el conector	1.5 dB
Pérdida por el empalme	1 dB

² Fiber Optic Interconnection System. AMP 1989

Tabla 2.6.2

RECEPTOR³

Sensibilidad en Watts	0.1 microWatts
Sensibilidad en dB	40 dBm
Diámetro del núcleo	300 micrómetros
Apertura numérica	0.5
Pérdida por el conector	1.5 dBm

³ Optoelectronics Device Data. Motorola 1989

Tabla 2.6.3

El presupuesto de potencia es la diferencia entre la potencia transmitida y la sensibilidad del receptor. Para nuestro caso tenemos que

Potencia del transmisor 6 dBm

Sensibilidad del receptor 40 dBm

Presupuesto = $40 - 6 = 34$ dB

Desarrollo

El desarrollo de los cálculos de enlace se resumen en las tablas siguientes.

PERDIDAS EN EL TRANSMISOR

Factor de pérdida	Ecuación	Valor (en dB)
Diferencia entre diámetros tx-fibra	$10\log(\text{fibra}/\text{tx})^2$	12.05
Diferencia entre apertura numérica transmisor-fibra	$10\log(\text{NA}_{\text{fib}}/\text{NA}_{\text{tx}})^2$	0.75
Dos conectores(patch)		3.00
Total *		15.80 dB

PERDIDAS EN LA FIBRA OPTICA

Factor de Pérdida	Valor unitario	Valor acumulado
Atenuación por especificación del fabricante	2.75 dB/km	(X) * (2.75)
Dos conectores	1.50 dB	3.0
Dos empalmes	1.00 dB	2.0
Total *		5.0 dB

(Sin tomar en cuenta la longitud X del enlace)

PERDIDAS EN EL RECEPTOR

<u>Factor de Pérdida</u>	<u>Valor unitario</u>	<u>Valor acumulado</u>
Dos conectores(patch)	1.5 dB	3.00 dB
Total		3.00 dB

PERDIDAS TOTALES DEL ENLACE

<u>Etapas</u>	<u>Valor (en dB)</u>
Transmisión	15.8
Fibra Optica	5.0
Recepción	3.0
Total de Pérdidas =	
	23.8 dB

MARGEN DE POTENCIA

<u>Concepto</u>	<u>Valor en dB</u>
Presupuesto de potencia	34.00
Pérdidas totales del enlace	(-) 23.80
Márgen de potencia	
	10.20 dB

Dado que no se ha tomado en cuenta la longitud del enlace, se tiene que la atenuación máxima de la fibra óptica deberá ser de 10.2 dB, que es el margen de potencia obtenido.

Considerando que la atenuación por km de fibra es de 2.75 (Tabla 2.6.2) se tiene que la longitud máxima del enlace es:

$$10.2 \text{ dB} / 2.75 \text{ dB/km} = 3.71 \text{ km}$$

Si consideramos que el enlace más largo instalado en Ciudad Universitaria dentro del proyecto de Red Integral es de 2.9 km aproximadamente entre el edificio D.G.S.C.A. y el edificio Comisión de Telecomunicaciones podemos finalmente afirmar que nuestro sistema de pruebas está listo para ser utilizado en cualquiera de los enlaces instalados actualmente en el campus universitario.

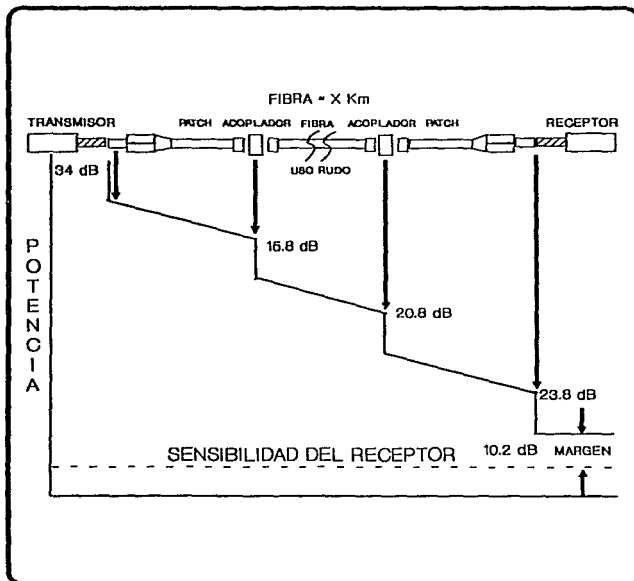


Figura 2.6.2

CAPITULO 3

IMPLEMENTACION

3.1 Implementación del sistema de pruebas

Se ha recalcado ya la importancia que tiene el diseño de un sistema de pruebas que sirva de complemento a los equipos ya existentes (medidor de potencia óptica y OTDR), por ejemplo, proporcionar un enlace de comunicación de voz que permita la coordinación de la toma de mediciones, instalación y mantenimiento de equipo de telecomunicaciones; probar por medio de transmisión de información entre computadoras, entre otras. Una vez que se ha diseñado dicho sistema resulta de igual importancia su incorporación al equipo de pruebas existente para obtener así los máximos beneficios del mismo. Para ello, se procedió a probar diez nuevos enlaces de fibra óptica entre diversas dependencias universitarias teniendo como meta el garantizar el buen funcionamiento de los enlaces y evaluar el desempeño del sistema diseñado.

Para ilustrar los resultados obtenidos de las pruebas se transcribe a continuación la información obtenida al analizar dos de los nuevos enlaces, el más largo (del edificio de la D.G.S.C.A. al Centro de Ecología) y el más corto (del Centro de Ecología a las oficinas del Jardín Botánico) de los diez evaluados.

Es conveniente recordar que cada enlace consta de ocho fibras ópticas las cuales hay que evaluar una por una.

Enlace : D.G.S.C.A. a Centro de Ecología Fecha: 19/Octubre/1992

Probó: Marcela Méndez Segura-Omar Pérez Carbot

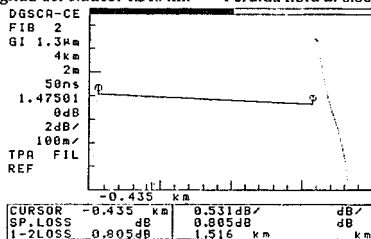
Fibra	*Pérdida	Cuenta BCD	Nivel de Atenuación	Transmisión Serie
No.	dB	Si/No	Bien/Regular/Mal	Si/No
1	6.44	si	bien	si
2	5.11	si	bien	si
3	4.86	si	bien	si
4	5.51	si	bien	si
5	6.58	si	bien	si
6	5.86	si </td <td>bien</td> <td>si</td>	bien	si
7	5.92	si	bien	si
8	5.64	si	bien	si

Observaciones:

* Medidor de potencia óptica: Siecor OM-100S 850 nm.

Según la gráfica del OTDR marca ANDO a 1300 nm :

Longitud del enlace: 1.516 km Pérdida fibra 2: 0.805 dB



Enlace : Centro de Ecología a Jardín Botánico Fecha: 22/Octubre/1992

Probó: Marcela Méndez Segura-Omar Pérez Carbot

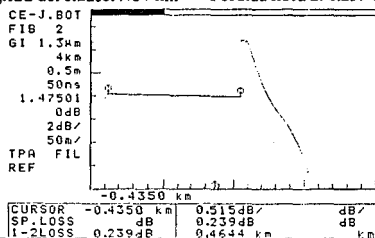
Fibra No.	*Pérdida dB	Cuenta BCD Si/No	Nivel de Atenuación Bien/Regular/Mal	Transmisión Serie Si/No
1	2.18	si	bien	si
2	1.85	si	bien	si
3	2.96	si	bien	si
4	2.98	si	bien	si
5	2.16	si	bien	si
6	2.85	si	bien	si
7	2.71	si	bien	si
8	2.89	si	bien	si

Observaciones:

* Medidor de potencia óptica: Siecor OM-100S 850 nm.

Según la gráfica del OTDR marca ANDO a 1300 nm :

Longitud del enlace: 464 km Pérdida fibra 2: 0.239 dB



Para el caso particular del local Jardín Botánico, el enlace de voz establecido mediante el sistema de pruebas diseñado fue de gran ayuda debido a que no sólo agilizó la toma de las mediciones presentadas sino que posteriormente fué utilizado para la puesta en operación del enlace entre el conmutador digital de ese local y el conmutador digital de la D.G.S.C.A.

De acuerdo a los resultados ya descritos, podemos concluir que nuestro sistema de pruebas, incorporado al equipo con que se contaba anteriormente, forman un mecanismo completo de pruebas para enlaces de fibra óptica que cumple con las expectativas definidas en el primer capítulo y mencionadas a lo largo de todo nuestro trabajo de tesis.

Es importante destacar que la parte correspondiente a la comunicación de voz hace de nuestro sistema algo más que un probador. Se tiene en él una gran herramienta para ser utilizada, como ya se ha establecido, en diversas actividades que estén relacionadas con la instalación y mantenimiento de equipo de telecomunicaciones en lugares enlazados por fibra óptica.

CAPITULO 4

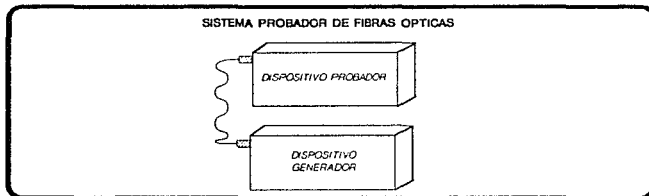
MANUAL DE OPERACION

CONTENIDO

Introducción	33
Componentes	34
Dispositivo Generador	35
Dispositivo Probador	36
Fuente de alimentación	37
Modo de operación	37
Tabla Resumen de Funciones	42
Interpretación de resultados	42
Cuidado y Mantenimiento	43

INTRODUCCION

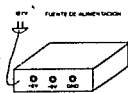
El sistema de pruebas nos ayuda a detectar problemas en el cableado de fibra óptica (los cuales imposibilitan la correcta transmisión a través de ésta), en forma simple, rápida y a un bajo costo. El sistema de pruebas está formado por dos dispositivos: el Generador y el Probador.



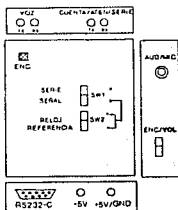
COMPONENTES

Antes de empezar a utilizar el Probador de Fibras, asegúrese de tener los siguientes componentes:

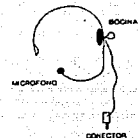
• Dispositivo Generador



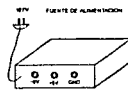
D
I
S
P
O
S
I
T
I
V
O
G
E
N
E
R
A
D
O
R



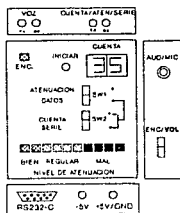
DIADEMA (BOONA/MICROFONO)



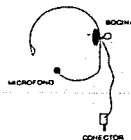
• Dispositivo Probador



D
I
S
P
O
S
I
T
I
V
O
P
R
O
B
A
D
O
R

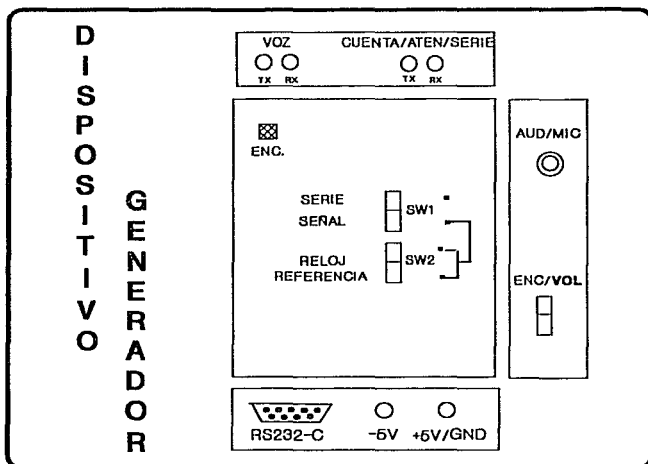


DIADEMA (BOONA/MICROFONO)



DISPOSITIVO GENERADOR

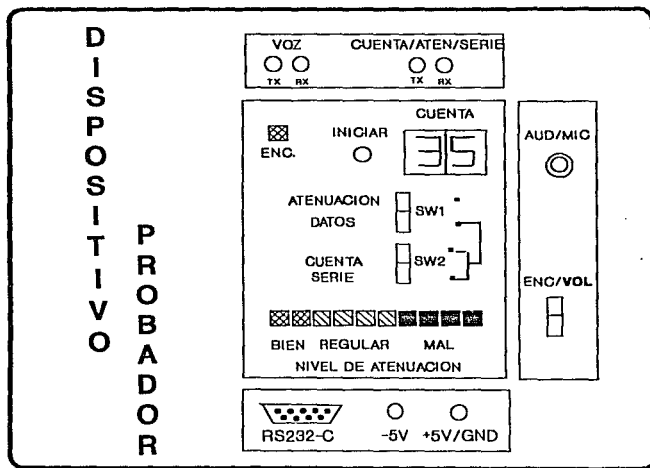
El Dispositivo Generador, transmite una señal óptica a través de un extremo A de la fibra bajo prueba, la cuál es detectada por el Dispositivo Probador. Esta señal óptica puede ser enviada en forma de voz y/o datos, teniendo para ambas opciones conectores Tx (Transmisión) y Rx (Recepción) de tipo SMA. Así mismo tiene una entrada para la Diadema Aud/Mic, una Interfaz Db 9 para transmisión Serie, un interruptor que selecciona la función a realizar , un conector para fuente externa de alimentación, y un interruptor de encendido.



DISPOSITIVO PROBADOR

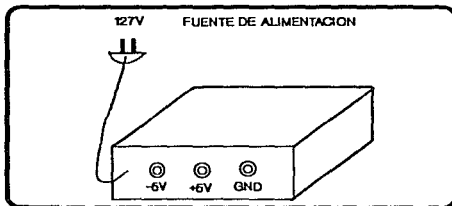
El Dispositivo Probador recibe la señal óptica a través del extremo B de dicha fibra bajo Prueba, enviada por el Dispositivo Generador. Esta señal óptica puede ser recibida en forma de voz y/o datos, teniendo para ambas opciones conectores Tx y Rx de tipo SMA.

Así mismo tiene una entrada para la Diadema Aud/Mic, un par de Display que nos muestran la cuenta 00-99, una barra de led's que nos muestran el nivel aproximado de atenuación, una Interfaz Db9 para transmisión Serie, un interruptor que selecciona la función a realizar, un conector para fuente externa de alimentación, y un interruptor de encendido.



FUENTE DE ALIMENTACION

Para el funcionamiento de cada uno de los dispositivos mencionados anteriormente se utiliza una fuente que proporciona los voltajes de +5v, -5v, y tierra.



MODO DE OPERACION

El Sistema de Pruebas nos permite realizar 3 formas de comprobar el buen funcionamiento de un segmento o enlace de fibra óptica :

1. Transmitiendo Voz
2. Transmitiendo Datos
 - 2.1. Señal de Reloj (Cuenta en el display)
 - 2.2. Serie (Pc a Pc)
3. Graficación del Nivel de Atenuación

Para la realización de cada una de las pruebas anteriores se asumirá que el dispositivo generador se operará desde un extremo de la fibra a probar, y el dispositivo probador en el extremo opuesto de dicha fibra.

1. Transmisión de Voz.

Una de las características más importantes del Sistema de Pruebas de Fibras ópticas es que permite establecer una comunicación verbal entre las personas que realizan las pruebas, para ello se deben seguir los siguientes pasos :

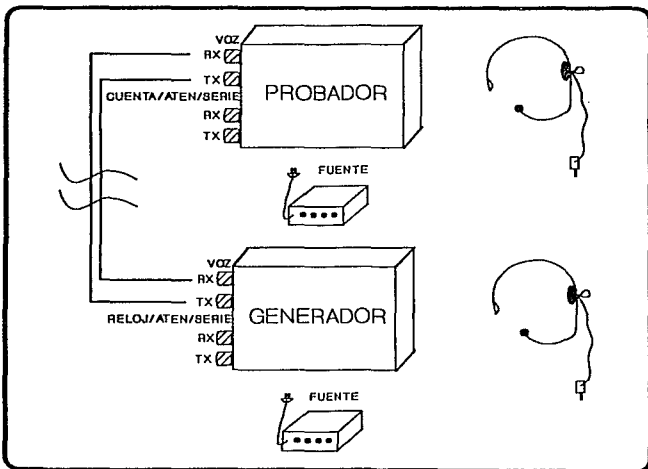
a) Conectar las fuentes de alimentación para cada uno de los dispositivos generador y probador (respectivamente en cada extremo).

b) Conectar las diademas en cada uno de los dispositivos.

c) Para el dispositivo probador : conectar la interfaz marcada como Voz/Tx a la fibra impar de numeración más baja no utilizada y la interfaz Voz/Rx a la fibra par de numeración más baja no utilizada.

Para el dispositivo generador : conectar la interfaz Voz/Tx a la fibra par de numeración más baja no utilizada y la interfaz Voz/Rx a la fibra impar de numeración más baja no utilizada.

d) Encender ambos dispositivos, y ajustar el volumen.



2. Transmisión de Datos.

Una vez establecida la comunicación verbal entre los operadores las pruebas de transmisión de datos resultarán más sencillas. Para la transmisión de datos se tienen las siguientes funciones :

2.1. Transmisión de señal de Reloj.

a) Para el dispositivo probador : colocar el interruptor Sw1 en la posición de "Datos", y el interruptor Sw2 en la posición de "Cuenta BCD".

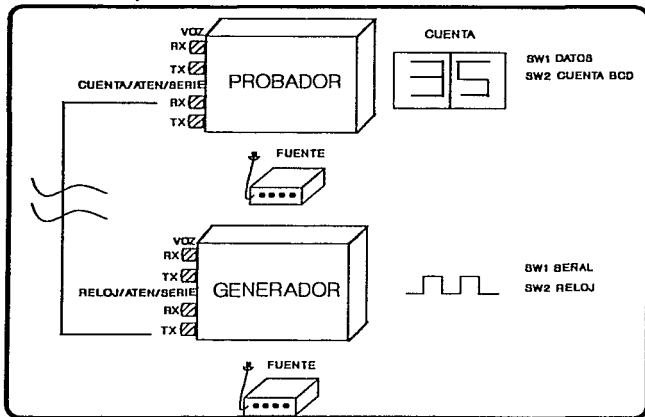
Para el dispositivo generador : colocar el interruptor Sw1 en la posición de "Señal", y el interruptor Sw2 en la posición de "Reloj".

b) Proceder a probar fibra por fibra comenzando en ambos extremos por la fibra de numeración más baja par o impar según estén disponibles.

Para el dispositivo probador se utilizará sólo la interfaz marcada como Cuenta/Rx.

Para el dispositivo generador se utilizará sólo la interfaz marcada como Reloj/Tx.

c) Comprobar que la cuenta se lleve a cabo correctamente, iniciando la cuenta en ceros, para ello sólo bastará oprimir el boton "Iniciar".



2.2. Transmisión de Datos por puerto Serie.

Con esta función se interconectan dos computadoras a través del puerto serie utilizando un programa de comunicaciones y así realizar diversas operaciones como transmisión de mensajes y transferencia de archivos. Para ello se deben seguir los siguientes pasos :

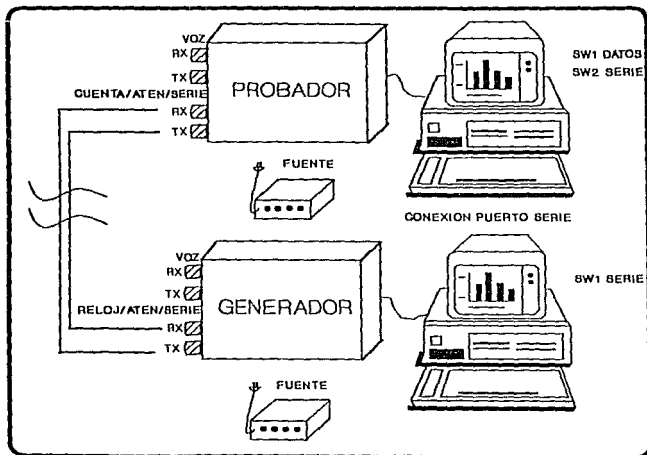
a) Para el dispositivo probador : colocar el interruptor Sw1 en la posición de "Datos", y el interruptor Sw2 en la posición "Serie".

Para el dispositivo generador : colocar el interruptor Sw1 en la posición "Serie", y el interruptor Sw2 en cualquier posición.

b) Para el dispositivo probador : conectar la interfaz marcada como Serie/Tx a la fibra impar de numeración más baja no utilizada y la interfaz marcada como Serie/Rx a la fibra par de numeración más baja no utilizada.

Para el dispositivo generador : conectar la interfaz Serie/Tx a la fibra par de numeración más baja no utilizada y la interfaz Serie/Rx a la fibra impar de numeración más baja no utilizada.

c) Proceder de igual manera para el resto de las fibras si así se desea.



2.2. Transmisión de Datos por puerto Serie.

Con esta función se interconectan dos computadoras a través del puerto serie utilizando un programa de comunicaciones y así realizar diversas operaciones como transmisión de mensajes y transferencia de archivos. Para ello se deben seguir los siguientes pasos :

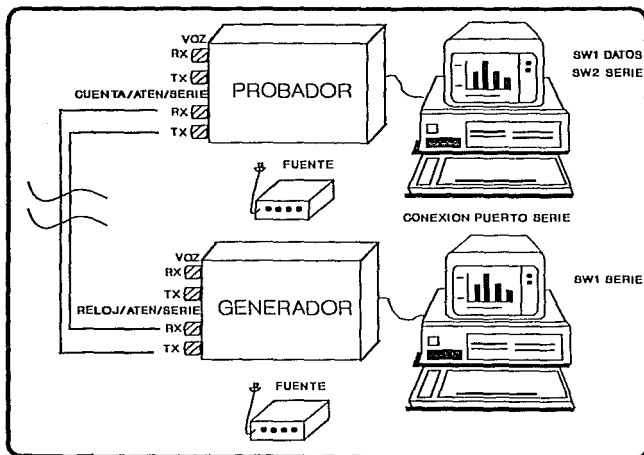
a) Para el dispositivo probador : colocar el interruptor Sw1 en la posición de "Datos", y el interruptor Sw2 en la posición "Serie".

Para el dispositivo generador : colocar el interruptor Sw1 en la posición "Serie", y el interruptor Sw2 en cualquier posición.

b) Para el dispositivo probador : conectar la interfaz marcada como Serie/Tx a la fibra impar de numeración más baja no utilizada y la interfaz marcada como Serie/Rx a la fibra par de numeración más baja no utilizada.

Para el dispositivo generador : conectar la interfaz Serie/Tx a la fibra par de numeración más baja no utilizada y la interfaz Serie/Rx a la fibra impar de numeración más baja no utilizada.

c) Proceder de igual manera para el resto de las fibras si así se desea.



3. Graficación del Nivel de Atenuación.

Se proporciona una aproximación de la calidad de la señal óptica recibida mediante una barra de diez led's, los cuales permanecerán encendidos si no hay señal óptica de entrada, y se apagarán uno a uno según la calidad de la señal. La barra está dividida en tres secciones de la recepción de la señal de referencia enviada por el dispositivo generador. Para ello se deben seguir los siguientes pasos :

a) Para el dispositivo probador : colocar el interruptor Sw1 en la posición de "Atenuación", y el interruptor Sw2 en cualquier posición.

Para el dispositivo generador : colocar el interruptor Sw1 en la posición de "Señal", y el interruptor Sw2 en la posición de "Referencia".

b) Para el dispositivo probador : conectar la interfaz marcada como Atenuación/Rx a la fibra de numeración más baja no utilizada Para el dispositivo generador : conectar la interfaz Atenuación/Tx a la fibra de numeración más baja no utilizada.

c) Proceder de igual manera para el resto de las fibras si así se desea.

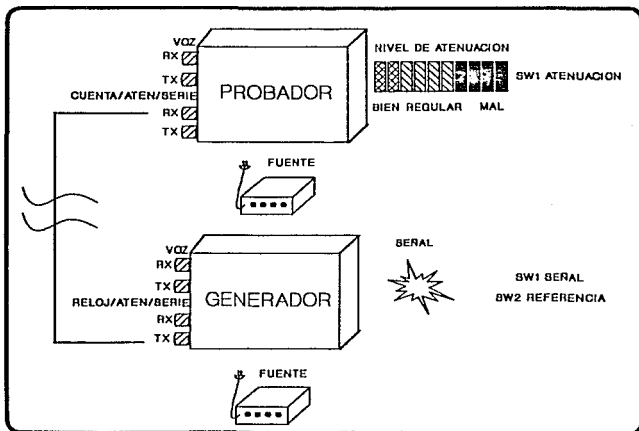


TABLA RESUMEN DE FUNCIONES

FUNCION	PROBADOR		GENERADOR	
	SW1	SW2	SW1	SW2
VOZ	*	*	*	*
CUENTA	DATOS	CUENTA	SERIAL	RELOJ
NIVEL DE ATENUACION	ATENUACION	*	SERIAL	REFERENCIA
TRANSMISION PC - PC	DATOS	SERIE	SERIE	*

* Cualquiera posición

INTERPRETACION DE RESULTADOS

Un funcionamiento anormal de la transmisión de voz y datos nos indica que la fibra no funciona correctamente.:

- No hay comunicación de voz.
- No se realiza la cuenta.
- No se transmiten datos Pc-Pc
- Se registra nivel de atenuación "MAL"

Para ello se recomienda revisar el enlace de fibra óptica con equipo especializado (medidor de potencia óptica y OTDR) para su evaluación definitiva.

CUIDADO Y MANTENIMIENTO

Para obtener el máximo beneficio de los dispositivos probador y generador, es muy importante que cuando estén almacenados se les coloque su tapa plástica protectora a cada una de las interfaz SMA tanto de transmisión como recepción óptica.

Igualmente es importante el buen manejo de los patch's ¹de fibra óptica utilizados para conectar a los dispositivos con la fibra a probar. También se deberán almacenar con sus tapas plásticas protectoras para evitar que se ensucien o rayen las puntas de los conectores.

Es conveniente dar una limpieza a los conectores de los patch's cada 40 conexiones aproximadamente para mejores resultados. Utilizar un paño limpio y alcohol isopropílico.

En general el probador no requiere de especial cuidado salvo los que pudiera tenerse con cualquier dispositivo electrónico.

1 Cables flexibles de fibra óptica con conectores en ambos extremos de éstos.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

El sistema de pruebas ha pasado ya por las etapas de diseño e implementación; sin embargo es indispensable hacer un análisis de los resultados obtenidos desde el punto de vista crítico para evaluar las ventajas y dificultades tanto prácticas como técnicas que se desprenden de su utilización.

Ventajas y dificultades

En cuanto a las características del sistema de pruebas, podemos afirmar que una de sus principales ventajas es que permite establecer una comunicación de voz haciendo uso del enlace bajo prueba. Esto brinda independencia de otros medios de comunicación como telefonía y radiofrecuencia, mismos que pueden estar o no disponibles en el lugar de pruebas. Pensamos que su utilización puede ser aprovechada al máximo cuando, además de pruebas, se lleven a cabo trabajos de instalación y mantenimiento de equipos de telecomunicaciones que se desarrollen en ambos extremos de un enlace de fibra óptica. De hecho, es imposible imaginar dos lugares unidos por fibra óptica que no requieran de la instalación de dichos equipos.

En cuanto a las pruebas de transmisión de información que puede realizar el sistema diseñado, podemos establecer que al menos dos de ellas, la transmisión de reloj-cuenta y de nivel de señal óptica se realizan de forma rápida, sencilla y práctica. Sin embargo, la transmisión de datos entre computadoras personales representa una prueba más laboriosa debido a que se involucran varios elementos externos para poderla llevar a cabo, como por ejemplo, disponer de una computadora en cada extremo de la fibra óptica bajo prueba.

En relación al aspecto técnico, el diseño del circuito de transmisión de datos vía interfaz RS-232 puede ser utilizado en aplicaciones que requieran transmisión digital de información por fibra óptica, por ejemplo terminales remotas, adquisición de datos, sistemas de monitoreo y control, entre otros.

Una vez más queremos destacar el hecho de que no se ha pretendido sustituir a los equipos de prueba y medición con que ya se cuenta comercialmente como son el medidor de potencia óptica y el OTDR (descritos en el capítulo 1); estos aparatos proporcionan elementos cuantitativos indispensables para la evaluación de un enlace de fibra óptica. Incorporando nuestro sistema, logramos tener un completo mecanismo de pruebas y medición para enlaces de fibra óptica.

De acuerdo a las características de los elementos ópticos utilizados, el sistema de pruebas tiene un alcance limitado en cuanto a la máxima distancia de fibra óptica con la cual puede funcionar debidamente. Como se expuso en el capítulo 2, la distancia máxima permitida para que el sistema funcione es de 3.71 km para un margen de potencia de 10.2 dB y una atenuación característica de la fibra óptica de 2.75 dB/km. Para el caso particular de la Red Integral de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional, esta limitación no es significativa dado que el máximo enlace instalado hasta el momento tiene una longitud de 2.9 km.

El trabajo como complemento de la formación escolar

Un aspecto valioso que obtuvimos durante la elaboración de este trabajo fue, sin duda, los conocimientos nuevos que adquirimos sobre comunicaciones por fibra óptica. El desarrollo de nuestra tesis requirió de investigación en varios campos con los cuales no habíamos tenido contacto a lo largo de la carrera de Ingeniero en Computación, como lo son la óptica y las telecomunicaciones. Sin embargo, el colaborar en el proyecto de la Red Integral nos motivó para desarrollar un trabajo en el área de las telecomunicaciones y específicamente, de las fibras ópticas las cuales representan una sobresaliente alternativa dentro de las telecomunicaciones actuales.

El sistema de pruebas representa una aportación a nuestra Universidad y esperamos que sea utilizado siempre que sea posible para beneficio de la misma.

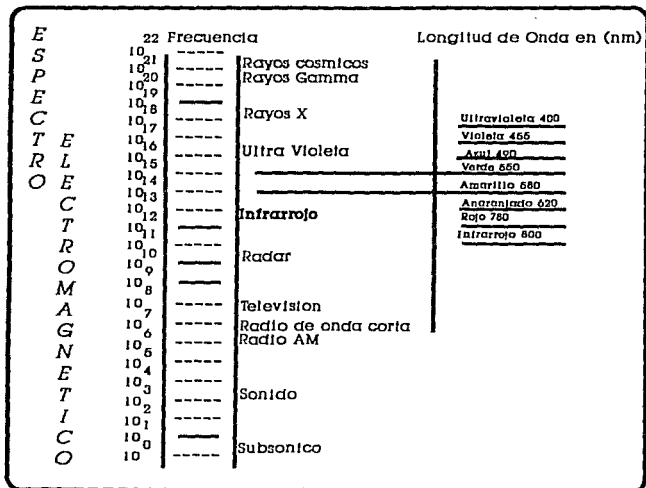
APÉNDICES

APENDICE A

CONCEPTOS BASICOS

Para poder comprender mejor la manera en que la luz es capaz de viajar a través de una fibra óptica, es indispensable conocer los conceptos básicos que rigen su comportamiento considerándola como una onda electromagnética. Se describen a continuación brevemente tales conceptos¹.

La luz es una pequeña parte del espectro electromagnético.



¹ INDUSTRIAL FIBER OPTICS. Fiber Optic Book. Scottsdale, Arizona. 1990.

La luz tiene altas frecuencias pero tiene pequeñas longitudes de onda en comparación con las ondas de radio, por ejemplo. La luz visible comienza en los 380 nanómetros (nm), con un violeta oscuro, hasta los 750 nm, con un rojo oscuro. La radiación infrarroja tiene ondas más largas que la luz visible. La mayoría de los sistemas con fibra óptica usan luz infrarroja entre los 750 y 1500 nm. La relación entre la frecuencia y la longitud de onda se define como:

$$\lambda = c/f$$

donde c es la velocidad de la luz y f es la frecuencia de la onda.

INDICE DE REFRACCION

El índice de refracción es el cociente de la velocidad de la luz en el vacío entre la velocidad de la luz en el medio dado, es decir

$$n = c \text{ del vacío} / c \text{ del material.}$$

La velocidad de la luz en cualquier material es siempre menor que en el vacío, por lo tanto el índice de refracción es siempre mayor que uno. En la práctica, el índice de refracción se mide comparando la velocidad de la luz en el material y en el aire, más que en el vacío.

INDICES DE REFRACCION

<i>MATERIAL</i>	<i>INDICE DE REFRACCION</i>
Vacío	1.0
Aire	1.00029
Agua	1.33
Cuarzo fundido	1.46
Vidrio	1.45-1.6
Diamante	2.0
Silicon	3.4
Arsénico de Galio	3.6

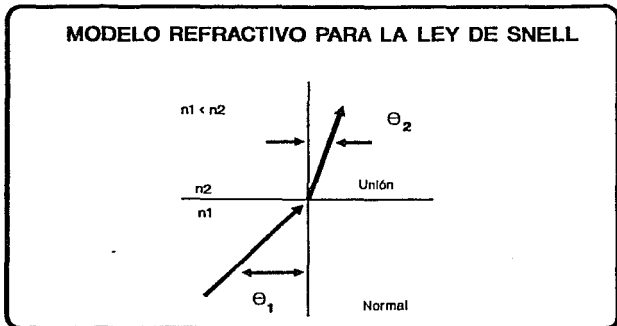
LEY DE SNELL

La luz viaja en línea recta a través de la mayoría de los materiales ópticos, pero algo diferente sucede en la unión con otro material. La luz cambia su trayectoria cuando pasa a una superficie que tiene cambios en el índice de refracción, por ejemplo, cuando pasa de aire a vidrio.

La cantidad de cambio en la trayectoria de los rayos de luz depende de los índices de refracción de los dos materiales y del ángulo con que incide el rayo al medio de transmisión. Los ángulos de incidencia y transmisión se miden desde una línea perpendicular a la superficie. La relación matemática entre los rayos de incidencia y transmisión se conoce como la Ley de Snell.

$$n_1 \text{ Sen } (\theta_1) = n_2 \text{ Sen } (\theta_2)$$

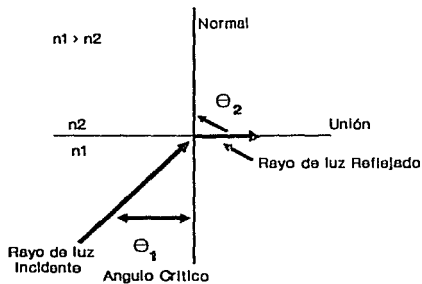
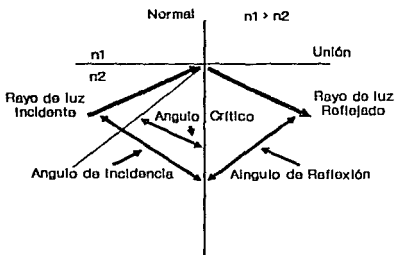
donde n_1 y n_2 son los índices de refracción de los medios inicial y secundario, respectivamente, mientras que θ_1 y θ_2 son los ángulos de incidencia y transmisión, respectivamente.



ANGULO CRITICO

La ley de Snell indica que la refracción no puede tener lugar cuando el ángulo de incidencia es muy grande (por ejemplo, cuando la luz viaja de un índice alto a un índice menor). Si el ángulo de incidencia excede el valor crítico, en donde el seno del ángulo es igual a uno, la luz no se refracta en el vidrio. Todo el rayo es reflejado cuando el ángulo de incidencia es más grande que el ángulo crítico. Este fenómeno se llama Reflexión Interna Total y mantiene a la luz confinada dentro de una fibra óptica. El ángulo crítico, con el cual se da lugar a la Reflexión Interna Total se deriva de la ley de Snell:

$$\text{Angulo crítico} = \text{Angulo seno } (n_1/n_2).$$

REFLEXION EN ANGULO CRITICO**LUZ INCIDENTE EN UN ANGULO MAYOR QUE EL ANGULO CRITICO**

APENDICE B

FIBRA OPTICA vs. CABLE DE COBRE

Se presenta una comparación entre los cables de fibra óptica y los cables de cobre debido a que se pueden tener en condiciones y aplicaciones similares como lo son la telefonía, redes de cómputo y transmisión de imágenes. Por ejemplo, cables de cobre y fibra óptica pueden compartir ductos y trayectorias subterráneos o aéreos; de igual forma ambos medios se instalan frecuentemente en interiores de edificios; por ello no se han tomado en cuenta otros medios de transmisión como satélite y microondas.

En comparación con los cables de cobre, las fibras ópticas ofrecen múltiples ventajas¹ en los sistemas de comunicación.

1. Alta capacidad de transmisión de información

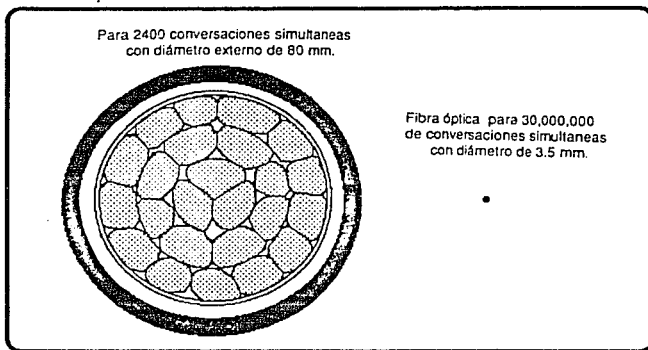
Las fibras ópticas pueden transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la conversación simultánea a un gran número de usuarios.

TIPO DE CABLE	CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN	CONVERSACIONES SIMULTÁNEAS TEÓRICAS
Par de Cobre	1 M Hz - Km	300
Coaxial	100 M Hz - Km	30,000
Fibra Óptica	100 G Hz - Km	30,000,000

1. Conductores Latíncasa - ITESM *Fibras ópticas.* . México 1990.

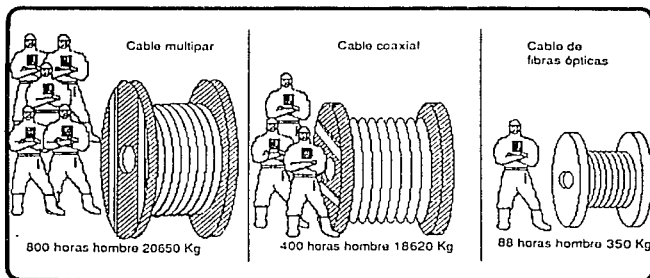
2. Dimensiones

Un cable de 2400 pares , con diámetro externo de 80 mm, puede ser substituido por un cable de una fibra óptica con diámetro externo de 3.5mm.



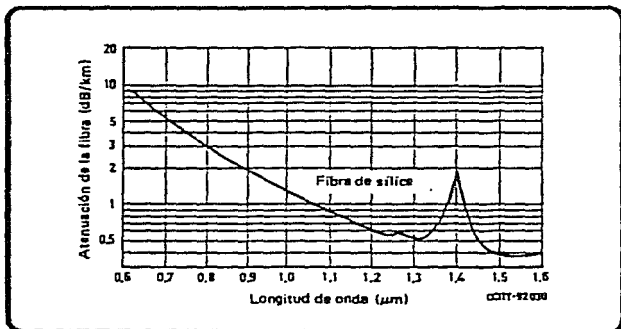
3. Peso y tiempo de instalación

Un cable multipar de 3.5 Km de largo pesa aproximadamente 20,650 Kg y requiere de 800 horas-hombre para instalarlo; Un cable coaxial para la misma capacidad y longitud pesa aproximadamente 18,620 Kg y requiere de 400 horas-hombre; en cambio, un cable de fibras ópticas pesa 350 Kg y necesita de tan sólo 88 horas- hombre.



4. Atenuación

Conforme se desarrolla la técnica de fabricación de fibras ópticas se obtienen atenuaciones cada vez más bajas, actualmente del orden de 0.4 dB/Km para fibras monomodo, con fibras ópticas de sílice, y se espera que con la fibra óptica a base de fluoruros se logren atenuaciones aún menores.



5. Distancia entre repetidores

En líneas de cable de fibras ópticas los repetidores se hacen menos frecuentes.

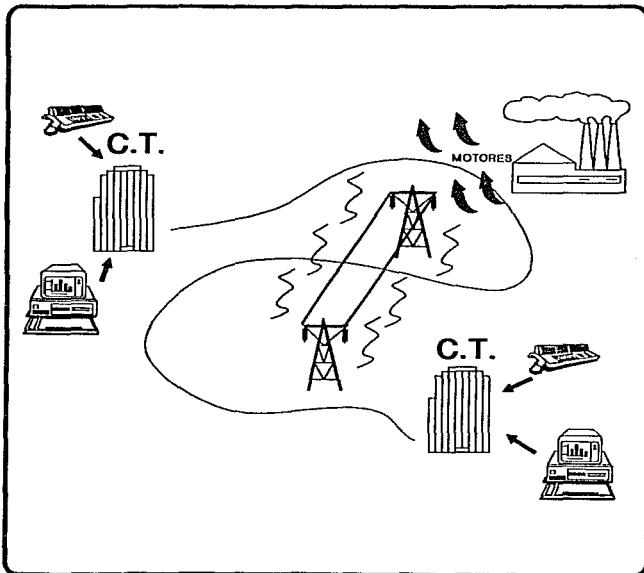
MEDIO DE TRANSMISION	VELOCIDAD DE TRANSMISION	DISTANCIA ENTRE REPETIDORES APROX.
Par de cobre	2 Mbits/seg	cada 1.6 Km a 4 Km
Fibra Optica	2 Mbits/seg	cada 25.0 Km
Cable Coaxial	140 Mbits/seg	cada 4.85 Km
Fibra Optica	140 Mbits/seg	cada 8.0 Km

6. Costo

Mientras el costo de los cables de cobre se incrementa año con año, el costo de los cables de fibras ópticas disminuye, debido al perfeccionamiento de la técnica para producirlos.

7. Otras ventajas de las fibras ópticas

Las fibras ópticas son flexibles, de bajo peso y permiten la transmisión con altos voltajes, sin la necesidad de transformadores que aislen la corriente; también son inmunes al ruido, no radian, son altamente resistentes a la intrusión e insensibles a interferencias de campos electromagnéticos causados por medios externos. Por éstas y muchas razones de peso, se espera un uso universal de las fibras ópticas en los sistemas de comunicación, telecomunicaciones, instrumentación y control.

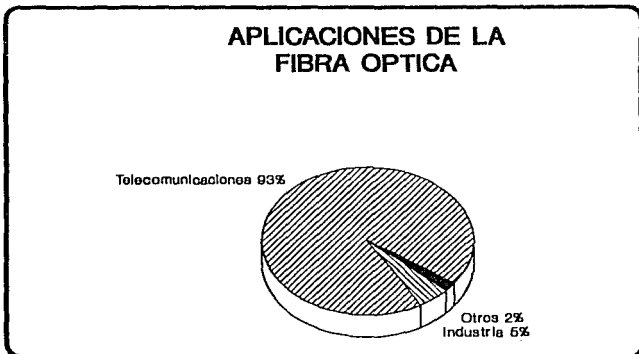


Desventajas de las fibras ópticas

Las desventajas de las fibras ópticas son realmente pocas y se refieren a su manejo; tipo de conectores y cajas de empalme utilizados en su instalación, ya que para ello se requiere de equipo y personal especializado.

Aplicaciones

A continuación se muestra el porcentaje de uso de las fibras ópticas en diferentes aplicaciones:



Expectativas

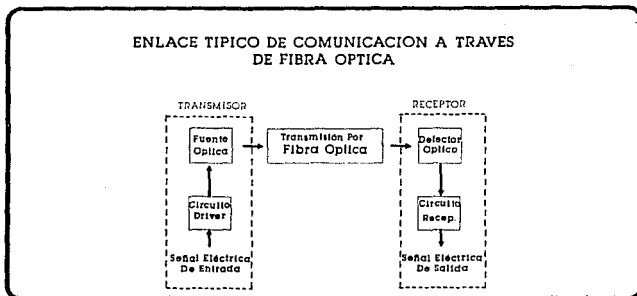
Las fibras ópticas han venido a marcar una nueva era en los sistemas de comunicación, pues resulta increíble que por un "hilo" tan delgado (una fibra óptica) pueda transmitirse tanta información con un mínimo de pérdidas, observando considerables ventajas sobre la transmisión por medio de dispositivos convencionales como el par trenzado y el cable coaxial. Estudiar su principio de operación y las múltiples aplicaciones que tiene, implica para nosotros el compromiso de mirar hacia adelante, pasar por nuevas fronteras de la ciencia y la tecnología y reconocer que hay demasiado por entender en la dirección en la que nos movemos.

APENDICE C

COMPONENTES DE UN SISTEMA BASICO

El uso más común de las Fibras ópticas es un enlace de transmisión conectado a dos circuitos electrónicos. Un enlace de fibra óptica esta formado de tres partes principales:

- Transmisor
- Receptor
- Sistema de Interconexión.



El Transmisor convierte una señal eléctrica en en una señal óptica. Este incluye un circuito manejador electrónico (driver), y una fuente de luz LED (Light Emitting Diode) o un diodo laser.

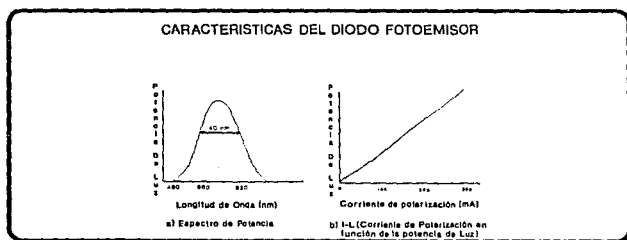
El Receptor convierte una señal óptica en una señal eléctrica. Este incluye un detector de luz y un circuito receptor.

El Sistema de interconexión proporciona el medio de transmisión para conectar el transmisor y el receptor. Este incluye fibras ópticas, conectores y hardware asociado.

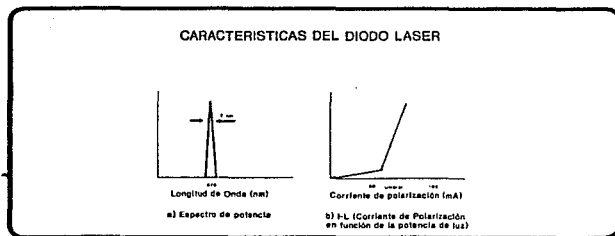
CONVERTIDOR ELECTRICO/OPTICO (fuente de luz/transmisor)

Considerando las características de los convertidores eléctrico/ópticos (larga vida útil, potente salida óptica, alta fiabilidad, alta eficacia de conversión eléctrico/óptica, bajo consumo de potencia etc.), hay dos fuentes de luz adecuadas para sistemas de transmisión, que son el fotoemisor LED (Light Emitting Diode) y el diodo laser LD (Laser Diode).

En la siguiente figura, se muestra el espectro de potencia para el diodo fotoemisor y su característica I-L (potencia de salida óptica en función de la corriente de polarización). El diodo fotoemisor tiene un espectro de potencia más ancho que el diodo laser. por tanto el diodo fotoemisor no es adecuado para sistemas de transmisión a larga distancia y a velocidades de transmisión más altas. No obstante, en vista de su larga vida útil y su bajo costo, puede ser adecuado para redes de cómputo LAN y líneas telefónicas entre otros. Este dispositivo fué el utilizado para el sistemas de pruebas, tal y como se explica en la sección 2.2 del captulo 2.



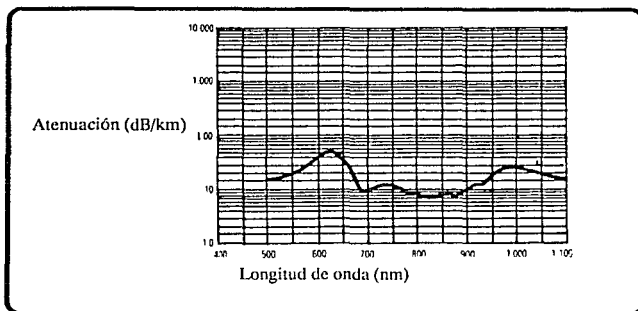
En la siguiente figura, se muestra el espectro de potencia para el diodo laser y su característica I-L. Cuando la corriente de polarización es inferior al umbral (corriente de umbral), la potencia de salida del diodo laser tiene un espectro ancho de decenas de nm. Sin embargo, por encima de la I umbral el espectro se estrecha a menos de 2-3 nm. Apenas es afectado por dispersiones y es particularmente adecuado para la transmisión a velocidades más altas. Desde el punto de vista de aplicación práctica, no obstante, el diodo laser tiene una vida útil bastante corta comparada con el diodo fotoemisor. Se estan realizando investigaciones para resolver este problema.



Existen varios parámetros importantes a considerar en los LED's usados con fibras ópticas :

a) Longitud de Onda de Emisión.

Las fibras ópticas presentan una característica de atenuación que varía con la longitud de onda. Si la fibra de la gráfica siguiente fuera a ser utilizada en un sistema de transmisión, la longitud deseada de operación debería ser de aproximadamente 875 nm para la cual se tiene una atenuación de aproximadamente 7.0 dB/km. La longitud de onda menos deseada es de 630 nm, donde la atenuación es de 60 dB/km aproximadamente.



b) Velocidad Máxima de Operación.

Los LED's tienen un tiempo de respuesta finito de encendido y apagado. Un dispositivo con una respuesta de 100 ns nunca funcionará en un sistema a 20 MHz.

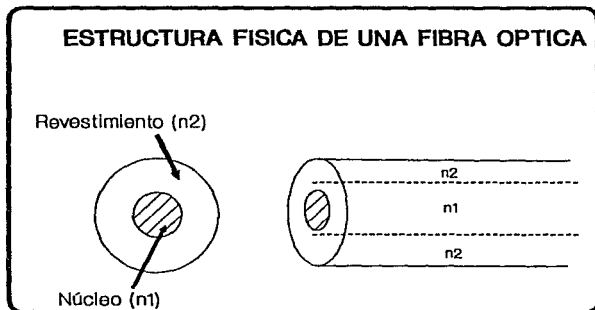
c) Patrón de Emisión.

En un sistema típico de comunicaciones de datos el LED se acopla a una fibra con diámetro de núcleo entre 50 y 100 μm . Si el patrón de emisión de un LED en particular es un haz de luz con un diámetro igual o menor a 100 μm es muy probable que toda la potencia óptica se acople a la fibra.

CONVERTIDOR OPTICO/ELECTRICO (detector óptico/receptor)

Las propiedades del convertidor óptico/eléctrico incluyen respuesta de alta velocidad, pequeña corriente residual (corriente que fluye en ausencia de irradiación), y bajo voltaje de polarización. Los convertidores óptico/eléctricos desarrollados son el fotodiodo PD (PhotoDiode) y el fotodiodo de avalancha APD (Avalanche PhotoDiode). En el APD, el efecto de avalancha multiplica la corriente óptica unas 20-1000 veces. En consecuencia puede obtenerse una elevada relación señal-ruido.

El fotodiodo no tiene efecto de avalancha pero puede utilizarse con un bajo voltaje de polarización. Los circuitos de control y excitación del fotodiodo son más sencillos que los del fotodiodo de avalancha. Así mismo, el propio fotodiodo es menos costoso que el fotodiodo de avalancha. La relación entre el fotodiodo y el fotodiodo de avalancha en cuanto al campo de aplicación es análoga a la relación entre el diodo fotoemisor y el diodo láser respectivamente.

ESTRUCTURA BASICA Y CLASIFICACION DE LA FIBRA OPTICA

En la figura anterior, se esquematiza la estructura de la fibra. Se observa que dentro de ella se distinguen dos regiones con diferentes índices de refracción. Una de ellas, en el interior de la fibra, constituye el denominado núcleo (core), mientras que la otra, que recubre a la anterior, se llama revestimiento (cladding). Es necesario que el índice de refracción n_1 del núcleo sea mayor que el n_2 correspondiente al revestimiento, para que las ondas ópticas se propaguen en el núcleo de la fibra sujetas al principio de Reflexión Interna Total, como se explicó en el Apéndice A.

El término "modo", es usado para describir una ruta que sigue un rayo de luz a través de la fibra óptica. El número de modos que se propagan en la fibra se determina según: la longitud de onda óptica; la diferencia de índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento; el perfil del índice de refracción del núcleo y las dimensiones del núcleo. La fibra que admite un sólo modo se denomina fibra de modo único o monomodo y aquella que admite varios modos se llama fibra multimodo.

De acuerdo a lo anterior las fibras se clasifican en tres tipos :

1. Fibra Multimodo de Índice Escalonado.

Ventajas : Bajo costo; apertura numérica grande y fácil de empalmar.

Desventajas : Dispersión grande y ancho de banda pequeño.

2. Fibra Monomodo de Índice Escalonado.

Ventajas : Dispersión mínima y ancho de banda grande.

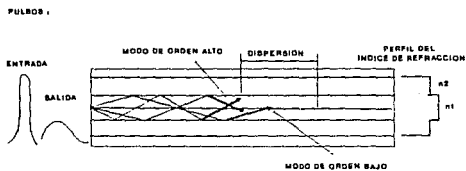
Desventajas : Apertura numérica pequeña; requiere del diodo laser LD; es difícil de empalmar; debido a las reducidas dimensiones del núcleo provoca pérdidas en los puntos de unión entre fuentes de luz y cables y en las conexiones entre cables.

En general los diámetros del revestimiento y del núcleo de la fibra oscilan entre 100 a 300 μm y 5 a 10 μm respectivamente y es costoso con respecto a los demás.

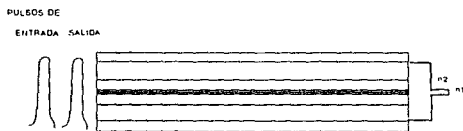
3. Fibra Multimodo de Índice Graduado.

La fibra de índice graduado, que tiene un perfil casi parabólico, posee características de banda ancha ya que en tal tipo de fibra las diferencias de velocidad de propagación entre modos, son pequeñas. Para este tipo de fibra se ha adoptado en forma internacional 125 μm para el diámetro del revestimiento y 62.5 μm para el diámetro del núcleo. Este tipo de fibra tiene ventajas y desventajas intermedias con respecto a los otros dos tipos de fibra.

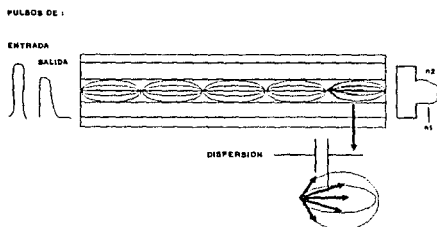
FIBRA MULTIMODO DE INDICE ESCALONADO



FIBRA MONOMODO DE INDICE ESCALONADO



FIBRA MULTIMODO INDICE GRADUADO



APENDICE D

PARAMETROS DE LA FIBRA OPTICA

Existen cuatro parámetros principales involucrados en la selección de la fibra para un sistema óptico.

1. Apertura Numérica

Es un parámetro que indica la facilidad con que la fibra permite que la luz pase a través de ella. La apertura numérica es un parámetro muy importante a considerar cuando se determinan pérdidas en la fibra, ya que es uno de los factores que contribuyen a incrementarlas.

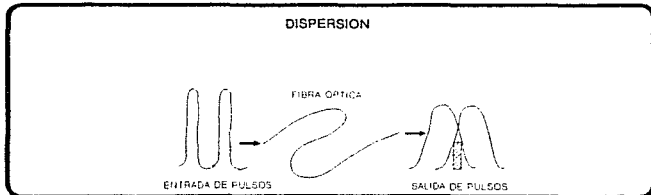
A mayor apertura numérica, será mayor la cantidad de luz aceptada por la fibra, es decir, si la apertura numérica aumenta habrá mayor posibilidad de transmisión a distancia, tomando en cuenta que se utilizan la misma fuente de luz y el mismo detector.

2. Dispersión

Otro fenómeno que afecta la transmisión de la señal en las fibras ópticas, resulta por efecto de las diferentes velocidades con que viajan las longitudes de onda a través de un medio dado.

La dispersión en las fibras es la que causa limitaciones en el ancho de banda presente en cualquier tipo de cable. El efecto se puede reducir utilizando una fuente de luz monocromática como el diodo laser.

Dispersión Modal: se debe al número de modos que viajan dentro de la fibra y a la diferencia de velocidades entre uno y otro. Para la fibra monomodo la dispersión modal es igual a cero.



Dispersión del Material: el vidrio es un material dispersivo que cambia su índice de refracción en función de la longitud de onda. La causa de la dispersión es simple, pues si la longitud de onda varía hay diferentes velocidades de propagación en el material. Para una fuente lumínica que tiene simultáneamente diferentes componentes de longitud de onda, la dispersión del material provoca cambios en la velocidad de grupos. Usando tal fuente lumínica, un pulso de entrada agudo se transforma en uno ancho a la salida. Este concepto está íntimamente relacionado con la Dispersión Cromática, ya que está en función de las características del pulso de salida del transmisor y es el resultado de las diferentes longitudes de onda de la luz viajando a diferentes velocidades a través de la fibra óptica.

3. Atenuación

La transmisión de luz en una fibra óptica no es cien por ciento eficiente; las pérdidas de potencia óptica en la transmisión se llaman atenuación.

La atenuación se mide por comparación de la potencia de salida y la potencia de entrada. La atenuación de una fibra se da en decibelios (dB). El decibel es una unidad logarítmica, relacionando la razón de potencia de salida y potencia de entrada. La pérdida en decibelios se define como:

$$\text{pérdida} = 10 \log_{10} (p_o/p_i).$$

El signo menos ha sido omitido por conveniencia y está implícito en todas las mediciones de atenuación.

Todas las fibras ópticas tienen características de atenuación dadas en dB por unidad de longitud, normalmente se definen en dB/Km.

Las pérdidas de potencia óptica en una fibra se deben a varios factores, entre ellos tenemos:

- pérdida intrínseca, debida a imperfecciones en la estructura de la fibra.
- pérdida debida a curvaturas que provocan que ciertos rayos de luz sean refractados al modificarse sus ángulos de incidencia.
- pérdida de conexión o empalme debida al mal alineamiento entre fibras.
- pérdida de acoplamiento entre fibras y dispositivos ópticos, fuente óptica a la entrada y detector a la salida.

4. Ancho de Banda

Representa la capacidad de información que una fibra óptica puede transmitir; es inversamente proporcional a la longitud de la fibra.

Para determinar el parámetro de Ancho de Banda en las fibras ópticas, se deben tomar en cuenta los siguientes elementos que limitan la magnitud de dicho parámetro:

- 1.- Ensanchamiento de los pulsos causado por dispersión modal, dispersión del material, y dispersión cromática.
- 2.- Microfracturas de la fibra por el uso e instalación.
- 3.- En general los mismos elementos descritos en el parámetro de atenuación.

APENDICE E

MODULACION

Los LED's y diodos laser son pequeños, ligeros, consumen sólo cantidades moderadas de potencia y su modulación es relativamente sencilla. Ambos operan por medio de corriente que fluye a través de ellos. La cantidad de potencia que irradian es proporcional a dicha corriente. De este modo, la potencia óptica de salida es el reflejo de la corriente de entrada que llega desde el modulador. Los resultados de la modulación analógica y digital se aprecian en la figura E.1.

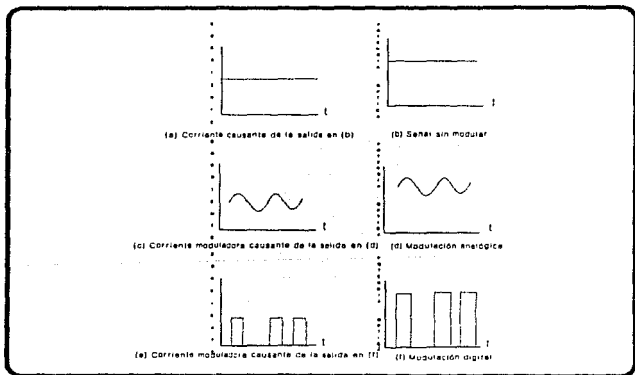


Figura E.1

Es importante destacar que la información que va a ser transmitida está contenida en la variación de la potencia óptica. Esto es llamado Modulación de Intensidad. Como se observa en la figura E.2, la señal de corriente tiene partes negativas y positivas, sin embargo, la potencia óptica de salida emitida es siempre positiva.

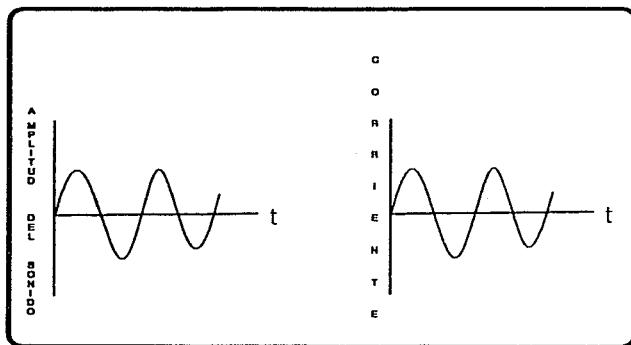


Figura E.2

Con el fin de conseguir linealidad, la corriente real modulada en un sistema analógico debe ser completamente positiva. Una corriente de de se suma a la señal de información deseada, provocando dicho resultado, como se muestra en la figura E1. En forma similar, la corriente moduladora para un sistema digital es siempre positiva. Debido a que los diodos laser no encienden hasta que una corriente de umbral se les aplica, la corriente modulada puede incluir un offset de de igual a ese valor de umbral. La presencia de un 1 binario maneja la corriente más allá de su umbral y hace que el diodo emita luz. Un cero binario libera la corriente de umbral, donde no ocurre radiación. Un LED no tiene umbral por lo que enciende siempre que fluya una corriente positiva a través de él.

APENDICE F

RED INTEGRAL DE TELECOMUNICACIONES

DE LA U.N.A.M.

Respondiendo a la apremiante necesidad de nuestra comunidad de modernizar las comunicaciones en la Universidad en un plazo relativamente corto, a finales de 1989 se estableció un ambicioso proyecto, que debfa quedar terminado en 36 meses, para renovar totalmente el sistema telefónico conforme los estándares más modernos y con capacidad de crecer conforme a las necesidades de la Institución. En particular, el sistema debería contemplar la transmisión indistinta de voz y datos y complementar a las redes de computadoras de reciente instalación. A este sistema se le conoce como Red Integral de Telecomunicaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México y entre sus principales características destacan:

- Transmite indistintamente voz y datos, mediante sistemas digitales basados en las más modernas normas internacionales.
- Las principales instalaciones de la Universidad están integradas a la Red. Esto significa que, a nivel licenciatura, posgrado e investigación, alrededor del 90% de sus miembros se encuentran en instalaciones cubiertas por la Red, independientemente de su ubicación geográfica.
- El sistema es descentralizado, redundante y está integrado por 31 nodos de cómputo y telecomunicaciones enlazados entre sí, vía fibra óptica, enlaces satelitales y de microondas.
- Posee una infraestructura instalada para 13000 servicios telefónicos alimentados por 2400 troncales digitales conectadas vía fibra óptica. Al día de hoy se encuentran en operación cerca de 4000 servicios telefónicos y 1800 troncales.
- Así mismo tiene una infraestructura instalada para más de 110 redes locales de cómputo. Actualmente la red enlaza a cerca de 1400 computadoras de la U.N.A.M. entre sí y alrededor de un millón de computadoras en el resto del mundo.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

Centro de Optica ITESM y Conductores Latincasa S.A.

Fibras Opticas. Instituto Tecnológico de Estudios

Superiores de Monterrey . Monterrey N.L.:

ITESM.,1981.

Freeman, Roger L. *Telecommunication Transmission*

Handbook, 2nd Ed. New York University. New York.:

A Wiley Interscience Publication, Inc., 1981.

Kao, Charles. *Optical Fiber Technology.*

New York.: McGraw-Hill, Inc., 1982.

Keiser, Gerd. *Optical Fiber Communications.*

Auckland.: McGraw-Hill, Inc., 1983.

Killen, Harold B. *Digital Communications with
Fiber Optics and Satellite Applications.* University

of Houston. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1988.

ESTA TESIS NO DEBE
SER REPRODUCIDA

Kuecken, John. *Fiber Optics.*

Pasadena.: Blue Ridge Summit, Inc., 1980.

Lacy, Eduard A. *Fiber Optics.* Englewood Cliffs, N.J.:

Prentice-Hall, Inc., 1982.

Palais, Joseph C. *Fiber Optics Communications,*

Second Edition. Arizona Estate University.

Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1988.

Resnick, Robert y Hallyday, David.

Física Parte 2, Séptima Edición.

México. : CECSA, 1987

Seippel, Robert G. *Fiber Optics.* Reston, Virginia:

Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1984.

Senior, John M. *Optical Fiber Communications:*

Principles and Practice. Englewood Cliffs, N.J.:

Prentice-Hall, Inc., 1984.

Tomasi, Wayne. *Electronic Communications Systems. Fundamentals Through Advanced.* Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1988.

Tomasi, Wayne. *Telecommunications: Voice/Data with Fiber Optics applications* Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc., 1988.

MANUALES

AMP. *Fiber Optic Interconnection System.*
Catalog 88-812.

AT&T LIGHTGUIDE. *A Total Linkage and Transport Systems.* , Atlanta, GA.: 1987.

INDUSTRIAL FIBER OPTICS. *Fiber Optic Book.*
Scottsdale, Arizona.: 1990.

MOTOROLA INC. *Optoelectronics Device Data.*
Fourth Printing. Phoenix, Arizona.: 1989.

Nec Corporation. *Manual sobre Sistemas de Transmisión por Fibras Ópticas*, 2a Ed. Tokio, Japón.: 1991.

SIECOR. *FDDI Network, Cabling Design Guide. Fiber Optics Components of the Universal Transport System.* Siecor Corporation. Hickory, NC.: 1990.

SIECOR. *Universal Transport System. Fiber optic Products For Premises Communications.* Siecor Corporation. Hickory, NC.: 1990.

PUBLICACIONES MENSUALES

RED. La Revista de Redes de Computadoras.
Fibra Óptica en Telecomunicaciones: Aplicaciones y Ventajas de las Fibras Ópticas.
Año III, Número 23 Julio.