

# Kit de Entrenamiento sobre la Transmisión de señales a través de Fibra Óptica

José Gregorio Borbor Camacho. <sup>(1)</sup>; Jorge Rafael Molineros González, . <sup>(1)</sup>; Gabriel Felipe Proaño Peña, . <sup>(1)</sup>; Ing. German Vargas . <sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Miembros de Grupo de Tesis previa la obtención del Título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

<sup>2</sup> Master en Telecomunicaciones

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Campus Prosperina, Km 30.5 vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador

{jborbor, jmoliner, gproano, gvargas}@fiec.espol.edu.ec

## Resumen

*El desarrollo de la presente tesis está orientado a brindar una alternativa técnico – práctica en el campo de las comunicaciones ópticas. El diseño y elaboración de un kit de entrenamiento sobre la transmisión de señales a través de Fibra Óptica permite a través de circuitos básicos poner en práctica los principios que gobiernan el manejo de la luz en el interior de la fibra óptica.*

*Sustentada en un marco teórico, se elaboraron prácticas de laboratorio cuyo objetivo es mostrar variedad de alternativas al momento de realizar una transmisión sobre fibra óptica. Estar en capacidad de reconocer las ventajas de los diferentes tipos de fuentes emisoras de luz y en base a estas poder escoger el receptor más adecuado según el tipo de transmisión deseada sea esta analógica o digital.*

*Se pone énfasis en el empleo de la fibra de plástico mostrando sus principales ventajas frente a la tradicional fibra de vidrio. Tener en consideración las aplicaciones brindadas por la fibra de plástico que en algunas ocasiones sobrepasan los alcances reconocidos con la fibra de vidrio es uno de los objetivos de la presente tesis.*

**Palabras Claves:** LED INFRAROJO, LASER, FOTODIODO, FOTOTRANSISTOR, FOTODARLINGTON, ANCHO DE BANDA, LONGITUD DE ONDA, TRANSMISION ANALOGICA, TRANSMISION DIGITAL, BER.

## Abstract

*The development of this thesis brings a technical-practice alternative in the optical communication field. The design and hands on of a training kit about signal transmission of signals over fiber optic lets by means of basic circuits put in practice the principles that governs the use of the light inside the fiber optic.*

*Based in a theoretical reference, some laboratory practices were made with the objective of showing a variety of alternatives at the moment of making a transmission over fiber optic conditions. To Be able to recognize the advantages of the different types of light sources and based on this take a decision of the best receptor according of the type of transmission, this can be analog or digital.*

*We put emphasis in the use of the plastic fiber showing the principals advantages against the traditional fiber optic of glass. To know the applications given by the plastic fiber that, in some cases are exceeds the recognized reaches of a glass fiber optic, is one of the objective of this work.*

## 1. Introducción

En la actualidad las tendencias tecnológicas están orientadas a brindar al consumidor diversidad de opciones que le permiten ahorrar tiempo y dinero. El desarrollo de las comunicaciones ha ido consiguiendo este objetivo paulatinamente haciendo ya posible el acortar distancias físicas. La fibra óptica ha sido el principal responsable de esta constante e imparparable evolución. En el uso de la fibra óptica existen sin número de principios que permiten obtener el máximo beneficio de esta herramienta. El objetivo de la presente tesis es

mostrar mediante circuitos electrónicos básicos como es posible la transmisión de una señal en el interior de una fibra óptica.

La electrónica clásica nos ha mostrado el empleo de señales eléctricas como vía a ser tomada en cuenta al momento de generar una comunicación. En el empleo de la fibra óptica hay un cambio radical en el concepto de las comunicaciones dado que la señal eléctrica sufre una transducción y pasa del mundo eléctrico al mundo óptico. En el presente trabajo se muestran diseños de circuitos electrónicos en los que la señal eléctrica es convertida en luz a través de dispositivos tales como el led infrarrojo. El láser es otra opción que

se puede tener en cuenta al momento de transmitir; sin embargo, dados los mayores cuidados que el empleo del láser merece no se han generado prácticas con esta fuente de luz. Las prácticas que se desarrollan en esta tesis tienen como principal fuente generadora de luz al led infrarrojo.

Existen conceptos como apertura numérica, ancho de banda, tiempo de respuesta, atenuación, dispersión que son abordados en las prácticas que se han generado.

Dentro de la diversidad de opciones de circuitos electrónicos que se presentan están: Circuito Transmisor Análogo, Circuito Transmisor Digital, donde la transmisión de voz humana se hace posible. Además señales de audio sean estas analógicas o digitales han podido ser transmitidas en el interior de la fibra.

Cabe recalcar que en todas las prácticas la fibra empleada es la fibra de plástico.

Cuando las personas escuchan hablar de fibra óptica, ellos inmediatamente la relacionan con vidrio. Pocas personas, incluidos profesionales del medio, conocen acerca de la fibra óptica de plástico (POF) que precede a la hecha de vidrio. Debido a que la fibra de vidrio tiene ciertas ventajas, esta ha dominado el mercado, mientras la POF se ha mantenido al margen a lo largo del tiempo.

Pero recientes desarrollos tanto en tecnología como en aplicaciones han mejorado la imagen de la POF, y estos desarrollos han hecho un espacio para la evolución de este medio de transmisión en el mundo entero.

Recientes investigaciones de mercadeo describen un crecimiento de más del 20% en ventas de POF del 2003 al 2006, alcanzando hasta el 2006 ventas de casi 2 billones de dólares. Contrario a la fibra de vidrio, la cual es principalmente usada en las telecomunicaciones, la POF tiene diversas aplicaciones en muchas industrias, como automatización de controles, iluminación, automovilismo, y las redes LAN de poca extensión. Siendo los campos más importantes los controles industriales, las redes LAN y el área automotriz.

La principal causa de la demanda de POF en los controles industriales, es que este campo necesita un medio de transmisión que resista la Interferencia Electromagnética causada por el alto voltaje y la alta corriente que manejan sus dispositivos. La POF nos da la facilidad de instalación donde personas con un mínimo de entrenamiento pueden realizar conexiones de POF.

Las conexiones de datos en los vehículos modernos como autos, camiones y aviones usan POF como medio de transmisión de señales y transferencia de luz. El plástico es más barato y fácil de usar, las conexiones sencillas y su resistencia son grandes ventajas en la aplicación de esta tecnología en lugar del cobre. Así como el soportar cambios de temperatura que van desde 0° a

90° C, el manejo de ambientes peligrosos donde se usa combustible, caminos salinos, sol, agua, etc.

## 2. Materiales

Para el desarrollo de las prácticas es necesario contar con un stock básico de dispositivos que muchas de las veces serán reutilizados en diferentes prácticas. El empleo de la fibra óptica de plástico es el común denominador en todas las prácticas. A continuación se muestran algunos de los materiales requeridos para efectuar las prácticas propuestas.

- LED 's de diferentes colores
- LED infrarrojo.
- Fototransistor.
- Fotodiodo
- Fotodarlington
- Resistencias.
- Multímetro.
- Osciloscopio
- Generador de Funciones
- Fuente de voltaje.
- Fibra óptica de plástico.
- Terminales.
- Peladora de fibra.
- Tijera o cuchillo.
- Gel de acoplamiento de índices.
- Ponchadora de fibra óptica
- Juego de lijas
- Conectores para fibra óptica

Como se aprecia, dejando de lado el multímetro, osciloscopio y generador de funciones que sí se encuentra disponible en un laboratorio de electrónica o telecomunicaciones, sí es posible la generación de prácticas de laboratorio de electrónica con orientación hacia la comunicación óptica a partir de materiales no muy difíciles de conseguir y que su generación le brinda un buen complemento al estudio de las comunicaciones ópticas.

## 3. Comparación de la fibra óptica de plástico con otros medios de transmisión.

Las ventajas que posee la fibra óptica en general (plástica y de vidrio) con respecto a los otros medios de transmisión como el cobre y sus estándares derivados en cableado (UTP, coaxial, etc en todas sus categorías.) han sido ya mencionados en los capítulos anteriores, tales como:

- Mejor funcionamiento del sistema y mayor rendimiento.
- Alta calidad de transmisión.

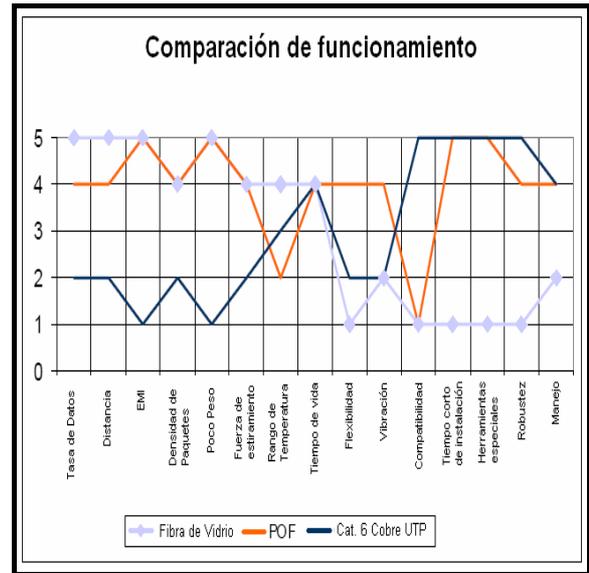
- Mayor capacidad y ancho de banda (algunos casos).
- Menor atenuación.
- Inmunidad al ruido eléctrico.
- Inmunidad al ruido (electromagnético EMI e interferencia de radio frecuencia).
- Ausencia de crosstalk.
- Menores tasas de error (BER).
- Seguridad de los datos transportados.
- No es un conductor, por lo tanto esta aislado eléctricamente.
- No requiere tierra común.
- Inmune a descargas eléctricas.
- Peso y tamaño.
- Es resistente a la corrosión.
- Resistente a temperaturas variables.
- Es flexible.
- Bajo costo por canal.
- Menor mantenimiento.
- Alta privacidad de transmisión.

Sin embargo, tiene algunas desventajas entre frente al cobre y estos son: su costo y su aún existente falta de estandarización. Aparentemente la fibra es una mejor solución que el cobre, pero debemos analizar ahora las ventajas que posee la nueva tecnología POF sobre la fibra óptica de vidrio.

- Componentes más simples y menos costosos.
- Menor nivel de potencia en el transmisor.
- Menos pesada.
- Más flexible.
- Más manejable y fácil de conectar, ya que POF tiene un diámetro de 1 mm.
- Los equipos de testing son más baratos.
- Mayor seguridad que algunos sistemas de vidrio, ya que no requiere el uso de fuentes láser.
- Empalmes en menor cantidad de tiempo y con menor entrenamiento (5 a 10 minutos).

Aunque también posee algunas desventajas frente a fibra de vidrio, que los fabricantes se encuentran tratando de corregir:

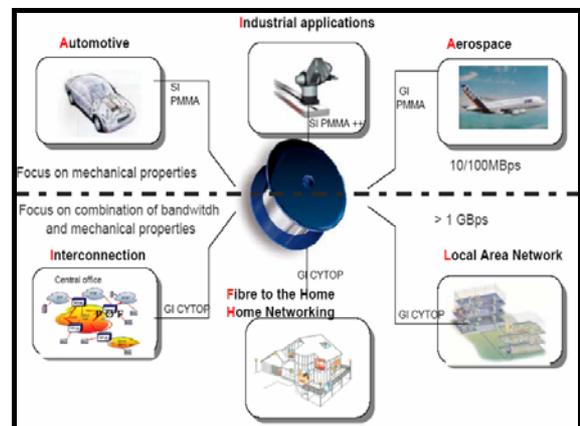
- Alta atenuación durante la transmisión.
- Aún un pequeño número de proveedores.
- Carencia de estándares.
- Carencia de conocimiento entre los usuarios, es decir, falta de mercadeo y difusión.
- Producción limitada, que ha mantenido a los clientes privados de experimentar el potencial de la POF.
- Se encuentra todavía en una etapa de pleno desarrollo.



**Figura 1.** Comparación de la fibra plástica con otros medios de transmisión.

Recientes investigaciones de mercadeo describen un crecimiento de más del 20% en ventas de POF del 2003 al 2006, alcanzando hasta el 2006 ventas de casi 2 billones de dólares. Contrario a la fibra de vidrio, la cual es principalmente usada en las telecomunicaciones, la POF tiene diversas aplicaciones en muchas industrias, como automatización de controles, iluminación, automovilismo, y las redes LAN de poca extensión. Siendo los campos más importantes los controles industriales, las redes LAN y el área automotriz.

La principal causa de la demanda de POF en los controles industriales, es que este campo necesita un medio de transmisión que resista la EMI causada por el alto voltaje y la alta corriente que manejan sus dispositivos. La POF nos da la facilidad de instalación donde personas con un mínimo de entrenamiento pueden realizar conexiones de POF.



**Figura 2.** Diversas aplicaciones de la fibra plástica.

Las conexiones de datos en los vehículos modernos como autos, camiones y aeroplanos usan POF como medio de transmisión de señales y transferencia de luz. El plástico es mas barato y fácil de usar, las conexiones sencillas y su resistencia son grandes ventajas en la aplicación de esta tecnología en lugar del cobre. Así como el soportar cambios de temperatura que van desde 0° a 90° C, el manejo de ambientes peligrosos donde se usa combustible, caminos salinos, sol, agua, etc.

En el año 2000, un constructor alemán de automóviles Dimler-Benz observando que el incremento en el uso de componentes digitales en los automóviles aumentaba también el peso, la susceptibilidad al EMI y la complejidad del cableado, desarrolló una manera de reducir costos y solucionar sus problemas, el anillo POF, se dio cuenta que su anillo puede ser la solución que necesitaran los futuros automóviles y convenció a otros seis constructores de autos europeos, incluyendo BMW y Volkswagen, a unirse y desarrollar un estándar llamado MOST (Sistema de Transporte Orientado a Multimedia).

Ahora la MOST Cooperation posee 16 miembros, incluyendo General Motors, y tiene más de 60 surtidores de repuestos y equipos de POF para automóviles en todo el mundo. El sistema MOST original fue diseñado a 25 Mbps, y la siguiente generación fue de 50 Mbps, esta velocidad está planeada en incrementarse a 150 Mb/s a finales del 2006



**Figura 3.** Vehículo con servicios multimedia equipado con POF

Las aplicaciones de acoplamiento de la luz usadas para iluminación fueron patentadas por W. Wheeler en 1880. Su concepto usaba una simple bombilla central la cual reflejaba luz a otros cuartos por medio de ductos o canaletes. Sin embargo, el hecho de construir canales y usar una sola fuente de luz central es poco práctico, y la fibra óptica de plástico es una solución en estas aplicaciones por su bajo costo. Algunos ejemplos son:

- Iluminación auxiliar en microscopios, debido a su pequeño diámetro.
- Iluminación (dentro del cuerpo humano) para procedimientos médicos.

- Señalización e iluminación ornamental, como en edificios o las señales de tránsito.
- Iluminación alternativa en áreas de peligro como aquellas que contienen gases explosivos, combustibles, etc.



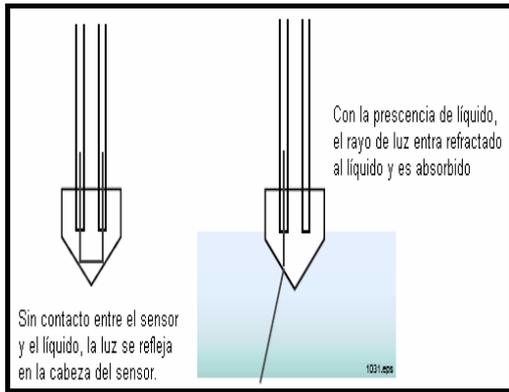
**Figura 4.** Iluminación ornamental con fibra óptica plástica.

En 1976, la Fuerza Aérea Americana, como parte del programa ALOFT, reemplazó el cableado de cobre en un jet A-7 por un cableado óptico. El cableado original pesaba 40 kg. y tenía una longitud de 1260 metros, con 302 tramos de cables. El reemplazo óptico pesaba 1.7 kg. con una extensión de 76 metros y conteniendo tan solo 12 fibras.

Las condiciones de operación en un aeroplano son similares a las que se tienen en un automóvil, por lo que son menos manejables aun los sistemas eléctricos que los ópticos. Los aviones poseen cambios más bruscos de temperatura, vibraciones y mal clima. Y los últimos acontecimientos del programa ALOFT y de otros programas militares demostraron la capacidad de la fibra plástica operando en condiciones severas, dando un rendimiento superior al cobre.

La fibra óptica plástica también puede ser usada para detectar estímulos externos como presión, campos magnéticos, temperatura, etc. Estos estímulos pueden ser medidos por medio de las características de la luz y pueden ser clasificados por sus principales operaciones:

- Sensores de intensidad, donde la intensidad de transmisión de la luz cambia con estímulos externos.
- Pruebas ópticas, donde las propiedades de transferencia de la luz censan objetos cercanos.
- Sensores de color, que detectan cambios de energía o de longitudes de onda transmitidas por la fibra.
- Sensores de polarización, detectan cambios en la polarización de la luz.

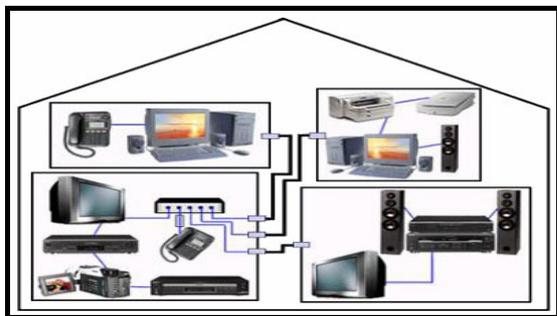


**Figura 5.** Sensores de pruebas ópticas

Otro de los campos potenciales de la POF, sin duda alguna son las transmisiones de datos como transmisiones telefónicas, TV por cable, o enlaces de redes LAN de pequeñas dimensiones como enlaces edificio-edificio donde la POF tiene una eficiencia excelente.

Las redes LAN son probablemente las aplicaciones más importantes en este campo. En los tiempos pasados, la fibra óptica era usada únicamente para el backbone de los enlaces de telecomunicaciones, sin embargo, la cableado horizontal (de los closets hasta los terminales) aun seguían siendo de cobre.

Obviamente, todos los administradores de redes quisieran tener las ventajas de ancho de banda que provee la fibra desde los puntos de acceso hasta sus computadoras, pero la fibra es más costosa que el cobre. Pues esto será posible en un par de años, donde el costo de la POF igualara al precio del cobre, y tomando en cuenta la mayor facilidad de instalación de la POF sin duda alguna por fin se habrá encontrado la manera de tener “fibra-al-escritorio”. Los costos se reducirán conforme el paso del tiempo. Una NIC para cableado de cobre esta alrededor de \$ 50, mientras que una tarjeta de fibra plástica cuesta \$ 100. La pregunta es si el valor ahorrado en la NIC justifica las comodidades de tener el ancho de banda mayor que brinda la fibra óptica.



**Figura 6.** Multimedia integrada con POF en el hogar

## 4. Objetivo de las prácticas

A continuación se van a ir señalando los objetivos y alcances de algunas de las prácticas que se han generado para la presente tesis:

### 4.1 Transmisión en el cable de fibra óptica y coeficientes de atenuación.

- En esta práctica se medirá la luz transmitida a través de varias medidas de longitud de fibra óptica.
- Relacionarse con los elementos básicos de la transmisión óptica: los fotodetectores y fototransmisores.
- Hacer uso de uno los equipos más importantes en la comunicación óptica: el medidor de potencia óptica (OPM) y comparar datos reales de potencia con resultados obtenidos teóricamente.
- Tener la capacidad de escoger entre varios fotoemisores, tomando en cuenta sus características de transmisión de potencia.

### 4.2 Empalmes: conectores y splices.

- En esta práctica se medirá atenuación en un conector y en un splice de fibra óptica.
- Se comparará la pérdida de potencia óptica al acoplar dos tramos de fibra vs. un tramos de fibra continuo.
- Se adquirirá destreza en el manejo de un par de métodos de empalme: conectores y splices.
- Al finalizar la práctica se tendrá la capacidad de escoger el empalme correcto de acuerdo a las circunstancias.

### 4.3 Reflexión de Fresnel: Gel de acople de índices.

- Se observará los efectos de pérdida que produce la reflexión de Fresnel presente en los acoples fibra-aire al conectar el cable óptico a un equipo emisor o un receptor.
- Se observará como el gel de acoplamiento de índices reduce las pérdidas de reflexión de Fresnel en un splice de fibra óptica.
- Se seguirá trabajando con splices y seguiremos familiarizándonos y adiestrándonos con su instalación.

### 4.4 Terminaciones en la fibra: Técnicas de pulido.

- En esta práctica se podrán apreciar los efectos de diferentes tipos de terminaciones de fibra.
- Se aprenderá a preparar los extremos de las fibras previo a un acople con splices, conectores o elementos transmisores o receptores; para una eficiente transmisión de luz.

#### **4.5 Velocidad de los dispositivos opto-electrónicos**

- En esta práctica se adquirirá destreza en la medición de tiempos de subida y bajada en los diferentes elementos transductores de luz.
- Se combinará diferentes arreglos de fototransmisores y fotodetectores, observando que arreglo o que elemento es más eficiente de acuerdo a la conveniencia de la aplicación a implementar.
- Se aprenderá a medir el ancho de banda de un sistema transmisor óptico usando el método de Wobulación.

#### **4.6 Transmisores de fibra óptica**

- Experimentar con los principales modelos de transmisión: digitales y análogos.
- Medir características importantes en los fotoemisores con diferentes condiciones de transmisión, tales como: corrientes de penumbra, corrientes y voltaje de polarización, etc.
- Escoger esquemas apropiados de acuerdo a los requerimientos de implementación.

#### **4.7 Diseño de amplificadores de transimpedancia para receptores.**

- En esta actividad se construirá y caracterizará algunos amplificadores de recepción transimpedánticos.
- Se evolucionará usando modelos simples para entender su funcionamiento y se revisará modelos más complejos usando la mayoría de fotorreceptores conocidos.
- Se aprenderá sobre el efecto que tienen las cargas parásitas sobre los receptores y la eficiencia de los amplificadores de transimpedancia.

#### **4.8 La fibra óptica en sensores ópticos pasivos y activos.**

- En esta práctica se observará como la fibra óptica puede ser usada con varios tipos de sensores ópticos.
- Se usará las propiedades de la luz para hacer funcionar un simple detector óptico.
- Se reconfigurará el módulo de transmisión-recepción en forma de un sensor óptico activo.

#### **4.9 Inmunidad a las ondas electromagnéticas (EMI) en la fibra óptica.**

- Identificar algunas de las ventajas de la tecnología de fibra óptica sobre la de cobre.
- Ver u oír los efectos del EMI causada por un motor DC en el cable de cobre.
- Observar como el cable de fibra óptica es inmune a los efectos del EMI.

- Comparar el peso de la fibra óptica con el de un cable de cobre o un cable coaxial.

#### **4.10 Dispositivos de interconexión para la fibra óptica: Conectores ST para fibra de plástico.**

- Ser capaz de definir interconectores de fibra.
- Identificar los 4 componentes básicos que poseen los conectores de fibra óptica.
- Discutir las ventajas y las desventajas de los diferentes conectores de fibra óptica que existen.
- Estudiar el procedimiento general de la instalación de conectores y el pulimento de sus terminaciones en la fibra óptica plástica.
- Instalar un conector ST en el extremo de una fibra óptica, incluyendo el poncheo y los pasos posteriores de pulimento.
- Medir las pérdidas de inserción del cable de fibra óptica.

#### **4.11 Dispositivos de interconexión para la fibra óptica: Splicing.**

- Revisar las ventajas de los sistemas de fibra óptica.
- Estar conciente de las limitaciones que tiene la fibra óptica en ciertas aplicaciones.
- Completar un proceso de instalación de un splicing en un cable de fibra óptica plástica.
- Medir la atenuación en el cable de fibra óptica dada por el splice.

### **5. Conclusiones**

Es satisfactorio encontrar que con las herramientas requeridas para cada práctica se ha logrado crear toda una guía para un laboratorio de fibras ópticas.

Además, el empleo de la fibra de plástica brinda una alternativa para aplicaciones en las que no necesariamente estén de por medio fines de comunicaciones.

El costo de la fibra de plástico es considerablemente menor que la fibra de vidrio en el mercado y dada la versatilidad que maneja en algunas circunstancias tales como la no interferencia electromagnéticos se convierte en una muy buena alternativa a tomar en cuenta.

Las once prácticas de fibra óptica sirven de soporte para el desarrollo e implementación de un sistema de comunicaciones óptico completo con fibra plástica como medio de transmisión.

En esta implementación se han podido realizar implementaciones de transmisiones análogas, transmisiones digitales.

Señales de voz, audio digital, analógico son posibles ser transmitidas gracias a la fibra óptica de plástico, donde se tomen en consideración las

observaciones plasmadas en las once prácticas generadas en la presente tesis

## 6. Bibliografía y referencias

- [1] Adams, M.J.: An Introduction to Optical Waveguides, Chichester, New York: John Wiley & Sons 1981.
- [2] Arnaud, J.A.: Beam and Fiber Optics. New York, London: Academic Press 1976
- [3] Barnoski, M.K.: Fundamental of Optical Fiber Communications. New York. London: Academic Press, 2. Aufl. 1981.
- [4] Elion, G.; Elion, H.: Fiber Optics in Communication Systems. New York: Marcel Dekker 1978.
- [5] Heinlein, W.: Grundlagen der faseroptischen Übertragungstechnik. Stuttgart: Teubner 1985.
- [6] Kersten, R. Thl: Einführung in die optische Nachrichtentechnik. Berlin: Springer 1983
- [7] Miller, S.E.; Chynoweth, A.G.: Optical Fiber Telecommunications. New York, London: Academic Press 1979.
- [8] Senior, J.M.: Optical Fiber Communications. London: Prentice-Hall 1985
- [9] Suematsu. Y.; Iga, K.I.: Introduction to Optical Fiber Communications, New York, Chichester: John Wiley & Sons 1982.
- [10] Unger, H.G.: Planar Optical Waveguides and Fibers. Oxford: Clarendon Press. 2. Aufl, 1980