



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGIENERÍA ELÉCTRICA

T E S I S
SISTEMA DE ILUMINACIÓN TRASERA PARA UN AUTOMÓVIL
BASADO EN FIBRA ÓPTICA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA EN ELECTRÓNICA

PRESENTA:
IMELDA SANTANA GONZÁLEZ

ASESOR DE TESIS:
DR. GILBERTO GONZÁLEZ ÁVALOS
Doctor en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica

Morelia, Michoacán, México, Noviembre 2018.



Agradecimientos

A dios por darme la oportunidad de venir al mundo dándole vida a mí ser, por guiarme espiritualmente y ayudarme en la lucha constante de cada día, dándome la fuerza para levantarme y continuar, por no dejarme rendir cada vez que algún trabajo no me salía bien, por darme la luz y la sabiduría para arreglar cada error que cometía en cada uno de mis proyectos.

A mis padres que desde pequeña se dedicaron a enseñarme excelentes valores, brindándome la mejor educación que estuvo a su alcance, su lucha constante por sacar mis estudios adelante, un apoyo incondicional, una dedicación total, sus consejos y su ejemplo de vida, los admiro y aprecio con todo mi corazón, personas maravillosas , son mis mayores ídolos, les doy gracias.

A mis hermanos les doy gracias por sus consejos, por su apoyo y su lealtad, gracias por ser parte de mi vida.

A los amigos que permanecieron en mi vida en éste caminar tan cansado, aquéllos que supieron tenerme la paciencia necesaria en los malos momentos, su apoyo en cada momento difícil, les doy gracias por su valiosa amistad.

Al Dr. Gilberto que me dio la oportunidad de trabajar con él en éste proyecto, por su paciencia en cada error cometido, por cada palabra de ánimo que me regaló y por cada minuto de su tiempo y su apoyo, muchas gracias Dr.

Indice

Agradecimientos.....	ii
Índice de Figuras.....	vii
Resumen.....	ix
Abstract	x
Glosario de acrónimos	xi
CAPITULO 1	1
INTRODUCCION.....	1
1.1 La iluminación por fibra óptica	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Metodología.....	3
1.5 Contenido de la tesis	3
CAPITULO 2	4
ANTECEDENTES DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.....	4
2.1 Introducción	4
2.1.1 Sistemas de telecomunicación.....	4
2.1.2 Fibras ópticas como canal de transmisión	5
2.1.3 Tipos de cables de fibras ópticas	6
2.1.4 Evolución de las fibras ópticas	8
2.1.5 Sistemas de comunicación por fibra óptica	9
2.1.6 Ventajas potenciales.....	10
2.1.7 Campos de aplicación	11
2.2 Transmisión en fibras ópticas	11
2.2.1 Óptica geométrica	11
2.2.2 Propiedades de la luz	11
2.3.3 Angulo de aceptación	14

2.3.4	Apertura numérica	14
2.3.5	Rayos oblicuos.....	16
2.4	Tipos de fibras.....	18
2.4.1	Fibras Multimodo de índice de paso	18
2.4.2	Fibras multimodo de índice graduado.....	20
2.4.3	Fibras monomodo	21
2.4.4	Fibras de revestimiento de plástico.....	22
2.4.5	Fibras todo de plástico.....	23
2.4.6	Fibras de índice de paso.....	24
2.4.7	Fibra de índice graduado.....	26
2.5	Características de transmisión de fibras ópticas.....	28
2.5.1	Atenuación.....	28
2.5.2	Pérdidas por absorción del material en fibras de vidrio o de silicio	29
2.5.3	Pérdidas por dispersión lineal	31
2.5.4	Pérdidas por curvatura de la fibra	32
2.5.5	Dispersión en una fibra óptica	32
2.5.6	Dispersión intramodal	34
2.5.7	Dispersión intermodal	35
2.5.8	Dispersión modal	35
2.5.9	Interferencia intersimbólica	36
CAPITULO 3		38
SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE UN VEHÍCULO.....		38
3.1	Introducción	38
3.2	Historia.....	39
3.2.1	La luz incandescente	39
3.3	Tipos de lámparas o emisores de luz.....	40
3.3.1	Incandescentes	40

3.3.2	Halógenas	41
3.3.3	Xenón.....	42
3.3.4	Led's	43
3.4	Diseño de faros, reflectores y proyectores	45
3.4.1	Faros antiniebla y lavafaros	45
3.4.2	Luz adicional en giros	46
3.4.3	Encendido automático de las luces.....	46
3.4.4	Faros orientables.....	46
3.4.5	Faros adaptables automáticos	47
3.5	Sistema de iluminación trasera de un auto	48
3.5.1	Luces de posición trasera.....	49
3.5.2	Luces intermitentes.....	49
3.5.3	Luces de frenado	49
3.5.4	Luces de marcha atrás.....	50
3.5.5	Luces de emergencia	50
CAPITULO 4		51
IMPLEMENTACIÓN DE ILUMINACIÓN TRASERA DE UN AUTOMÓVIL CON FIBRA ÓPTICA		51
4.1	Introducción	51
4.2	Tipos de fibras ópticas comerciales.....	51
4.2.1	Fibras ópticas para Comunicaciones	52
4.2.2	Fibras ópticas para iluminación.....	55
4.3	Prototipo de iluminación trasera.....	55
4.3.1	Tipos de calaveras	55
4.3.2	Prototipo de calavera	59
4.3.3	Fuente de luz	61
4.3.4	Leds aplicados a los faros de un automóvil	62
4.3.5	Led de alta intensidad.....	63

4.4	Circuito Eléctrico para la alimentación de las fibras.....	64
4.4.1	Montaje de fibras.....	64
4.4.2	Prueba de iluminación.....	65
CAPITULO 5	68
Conclusiones y Recomendaciones.....		68
5.1 Conclusiones	68
5.2 Recomendaciones	69
Bibliografía	70

Índice de Figuras

Fig._2. 1. Proceso de la comunicación.....	5
Fig._2. 2. Anatomía de una fibra óptica [2].....	6
Fig._2. 3. Cable autosoportado dieléctrico ADSS.....	6
Fig._2. 4. Composición de un cable autosoportado dieléctrico [2]. ADSS.....	6
Fig._2. 5. Cable submarino de fibra óptica.....	7
Fig._2. 6. Composición de cable submarino [3].	7
Fig._2. 7. Cable OPGW de fibra óptica.....	8
Fig._2. 8. Diseño de cable OPGW [4].	8
Fig._2. 9. Sistema de comunicación por fibra óptica.....	9
Fig._2. 10. Repetidor óptico.....	9
Fig._2. 11. Reflexión de la luz.....	12
Fig._2. 12. Representación de la ley de shnell.....	13
Fig._2. 13. Angulo crítico de la refracción de un rayo de luz.....	13
Fig._2. 14. Ángulo de aceptación.....	14
Fig._2. 15. Apertura numérica.....	15
Fig._2. 16. Rayo oblicuo en una fibra óptica.....	16
Fig._2. 17. Trayectoria de un rayo oblicuo.....	17
Fig._2. 18. Estructura de una fibra de índice de paso multimodo.....	25
Fig._2. 19. Espectro de atenuación para fibras multimodo de índice de paso, a) Fibra de vidrio multicomponente, b)Fibra de silicio dopado.....	25
Fig._2. 20. Estructura de fibra multimodo de índice graduado.....	27
Fig._2. 21. Estructura de fibra monomodo de índice graduado.....	27
Fig._2. 22. Estructura de fibra monomodo de índice de paso.....	29
Fig._2. 23. Estructura de fibra de todo plástico.....	30
Fig._2. 24.Fibra de índice de paso multimodo.....	31
Fig._2. 25. Fibra de índice de paso monomodo.....	32
Fig._2. 26. Posibles perfiles de índice de refracción en la fibra.....	33
Fig._2. 27. Posibles perfiles de índice de refracción en la fibra.....	33
Fig._2. 28. Transmisión de luz en una fibra óptica de índice graduado.....	33
Fig._2. 29. Atenuación de pérdidas intrínsecas en vidrio puro de GeO ₂ -SiO ₂	34
Fig._2. 30. Absorción por los hidróxidos en el silicio.....	35
Fig._2. 31. Atenuación en la señal debida a la dispersión Rayleigh Interferencia intersimbólica [5].	37
Fig._2. 32. Pérdidas por curvatura de fibra.....	19
Fig._2. 33. Dispersión en una fibra óptica. (a) Señal de entrada; (b) Señal de salida a una distancia L1; (c) Señal de salida a una distancia L2, L2 > L1.....	20
Fig._2. 34. Fibra de índice de paso multimodo.....	20
Fig._2. 35. Fibra de índice graduado multimodo.....	21
Fig._2. 36. Fibra de índice de paso monomodo.....	22
Fig._2. 37. Transmisión de una fuente luminosa con lente insertada[5].	24
Fig._3. 1. Luces incandescentes.....	41
Fig._3. 2. Luces halógenas.....	42
Fig._3. 3. Distancia de las luces halógenas.....	42
Fig._3. 4. Luces Xenon.....	43
Fig._3. 5. Distancia de las luces xenon.....	43

Fig._3. 6. Luces leds	44
Fig._3. 7. Distancia de las luces leds.....	44
Fig._3. 8. Faros antiniebla.	45
Fig._3. 9. Faros orientados en curva.....	47
Fig._3. 10. Faros adaptables automáticos.....	48
Fig._3. 11. Sistema de iluminación trasera de un auto.....	48
Fig._3. 12. Iluminación de posición trasera de un auto.....	49
Fig._3. 13. Iluminación de frenado trasera de un auto.	50
Fig._3. 14. Iluminación de marcha atrás.	50
Fig._4. 1. Perfil de índice de refracción.....	52
Fig._4. 2. Espectro de atenuación.....	53
Fig._4. 3. Perfil de índice de refracción.....	54
Fig._4. 4. Curva de atenuación y longitud de onda.	54
Fig._4. 5. Luces halógenas en calavera de un auto Mazda.	56
Fig._4. 6. Luces halógenas en calavera de un auto Ford.	56
Fig._4. 7. Luces incandescentes en calavera de un auto Kia.	57
Fig._4. 8. Luces incandescentes en calavera de un auto Kia.	57
Fig._4. 9. Luces xenón en calavera de un jetta clásico.	58
Fig._4. 10. Luces xenón en calavera de un jetta A5.....	58
Fig._4. 11. Luces led´s en calavera de un auto jetta Mk6.....	59
Fig._4. 12. Luces led´s en calavera de un auto Tsuru.....	59
Fig._4. 13. Calavera marca Nissan.	60
Fig._4. 14. Calavera marca Nissan con luces incandescentes por medio de focos.	60
Fig._4. 15. Calavera marca Nissan con luces leds.....	60
Fig._4. 16. Partes que conforman un diodo led por dentro.	61
Fig._4. 17. Símbolo del diodo led.[15]	61
Fig._4. 18. Led que equipa el faro de un automóvil.....	62
Fig._4. 19. Led de alta intensidad, 1W.	63
Fig._4. 20. Circuito eléctrico utilizado como fuente de luz para la fibra óptica	65
Fig._4. 21. Montaje de fibras en la calavera trasera de un auto.....	65
Fig._4. 23. Iluminación sin aplicar freno.....	66
Fig._4. 23. Iluminación aplicando freno.	66
Fig._4. 24. Iluminación	67
Fig._4. 25. Intermitentes.	63

Resumen

En el presente documento se describen las características de las fibras ópticas que se usan hoy en día en la tecnología, como están formadas, los tipos de cables con el que están diseñadas, para qué son utilizadas tanto en los sistemas de telecomunicaciones como en los sistemas de iluminación. En éste documento se describe la implementación y diseño de un prototipo de sistema de iluminación para automóviles por medio de fibras ópticas; se estudia cada tipo de fibra óptica tanto el diseño como cada una de las características que las conforman para saber qué tipo de fibra es el más adecuado para el sistema y llevarlo a cabo. La finalidad del prototipo es innovar en el desarrollo de la tecnología, algo que es completamente nuevo en sistemas de iluminación para autos, y mostrar que se puede obtener una iluminación adecuada a bajo costo y con un gran ahorro de energía. El modelo de calavera que se está implementando en este proyecto es de la marca Pick up Nissan, con fibras ópticas monomodo PMMA POF puntual y lateral y led's de alta intensidad.

Palabras Claves: Fibras opticas, automovil, monumodu, moltimodo y rayos oblicuos.

Abstract

The present document describes the characteristics of the optical fibers used today in the technology , how they are formed , the types of cable they are designed for , what they are used in both telecommunications systems and lighthing systems. This document describe the implementation and design of a prototype car lighting system by means of optical fiber; Each type of optical fiber is studied both the design and each one of the characteristics that make them to know what type of fiber is the most suitable for the system and to carry it out. The purpose of the prototype is to innovate in the development of the technology, something that is completely new in lighting systems for cars, and to show that it is possible to obtain a suitable illumination at low cost and with a great energy saving. The model of skull that is being implemented in this project is of the mark Pick up Nissan, with optical fibers Monomode PMMA POF punctual and lateral and led's of high intensity.

Glosario de acrónimos

ADSS	Cable auto soportado (del acrónimo en inglés).
OPGW	Alambre de tierra abierto (del acrónimo en inglés).
AN	Apertura numérica (del acrónimo en inglés).
DSF	Fibra de dispersión desplazada (del acrónimo en inglés).
HID	lámparas de descarga de gas de alta intensidad (del acrónimo en inglés).
InGaAsP	Láseres de un material semiconductor indio, galio y arsénico (del acrónimo en inglés).
MCI	Compañía Telefónica Estadounidense (del acrónimo en inglés).
dBL	Decibeles (del acrónimo en inglés).
PMMA	Polimetacrilato de metilo (del acrónimo en inglés).
POF	Fibra óptica de plástico (del acrónimo en inglés).
PSOF	Fibra óptica de núcleo sólido brillante (del acrónimo en inglés).
MONOMODO	Un solo modo.
MULTIMODO	Varios modos.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 La iluminación por fibra óptica

A través de la historia de la tecnología tanto en la vida cotidiana de los humanos como en los vehículos ha ido avanzando desde la primera bombilla hasta focos leds con un alto grado de intensidad, cada día buscando la forma de ahorrar energía y obtener una iluminación mejorada. La iluminación por medio de fibras ópticas es mejor, ya que, cuenta con una amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radiofrecuencias y las pérdidas de la señal son muy bajas. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductivo.

La fibra óptica fue usada para transmitir luz desde una fuente remota, siendo una de las primeras aplicaciones de esta tecnología asociada con las telecomunicaciones. Considerando su gran resistencia a golpes, cambios de temperatura y bajo consumo energético, la fibra óptica se está transformando en una alternativa muy recurrida tanto en sistemas de iluminación en espacios exteriores como interiores. Se destaca la ausencia de electricidad, calor y gases, así mismo como de rayos ultravioletas e infrarrojos. Esto se debe a que el cable de la fibra óptica se conecta delante de la lámpara del iluminador, sin contacto físico, ni eléctrico entre ambos elementos, por lo que la fibra óptica transporta la luz y la conduce hasta el lugar deseado.

Anteriormente, esta tecnología fue usada principalmente para la iluminación de jardines y piscinas, donde se destaca por la seguridad que representa por la ausencia de energía eléctrica en la luminaria.

1.2 Objetivo

Se pretende desarrollar y aplicar un nuevo sistema de iluminación a un automóvil por medio de fibras ópticas, siendo un led de alta intensidad la principal fuente de energía, con la finalidad de obtener una iluminación innovadora en el auto.

1.3 Justificación

Se busca desarrollar un nuevo sistema de iluminación en el auto por medio de fibras ópticas debido a que son más fáciles de ajustar, tienen más flexibilidad, son ahorradoras de energía y se pueden conseguir a muy bajos costos, también se busca que la propuesta sea algo completamente nuevo en el mundo de la tecnología aunque sin duda en países extranjeros es muy probable que ya estén aplicando fibras ópticas a los sistemas de iluminación en autos. En los sistemas tradicionales de iluminación de un auto de hoy en día sólo ha avanzado la tecnología en leds, como se sabe los leds con los que se trabaja son de alta intensidad, pero se necesita prácticamente una cadena de leds para que la intensidad de la iluminación sea lo suficientemente alta para que se vea a larga distancia, con la fibra óptica se busca utilizar menos leds, ya que la fibra óptica sólo necesita un medio con la que pueda ser energizada, la iluminación con fibra óptica resulta ser muy eficaz y de bajo costo, ya que no requiere de muchos leds para que tenga una alta intensidad de iluminación.

1.4 Metodología

Para hacer una propuesta de un nuevo sistema de iluminación en autos por medio de fibras ópticas, se requiere saber cómo están desarrollados los sistemas tradicionales de iluminación en auto, desde cómo fue su inicio hasta hoy en día, cómo ha sido su avance en la tecnología con el paso del tiempo, por lo que se llevó a cabo una investigación mediante el método científico, por lo que se recurrió a artículos de internet, así como revistas basadas en autos donde se explica detalladamente el avance que han obtenido en la tecnología los sistemas de iluminación de los autos.

1.5 Contenido de la tesis

La presente tesis consta de 5 capítulos, el capítulo 1 es la introducción basado principalmente en la base de la iluminación con fibra óptica, el objetivo del sistema de iluminación, la justificación y la metodología que fue requerida para llevar a cabo la propuesta del sistema de iluminación de un auto con fibras ópticas. El capítulo 2 trata sobre los antecedentes de la fibra óptica, cómo está formada, el material con la que está diseñada, así como las ecuaciones que son requeridas para llevar a cabo el diseño de una fibra óptica y los diferentes tipos de fibras ópticas que existen. El capítulo 3 describe el sistema tradicional de un auto, tanto la parte delantera como la trasera, explica detalladamente cómo fue el avance de la tecnología en la iluminación desde que surgieron los primeros sistemas hasta hoy en día, el capítulo 4 es la propuesta del sistema de iluminación con fibras ópticas para el auto y el capítulo 5 son las conclusiones a las que se llegó con éste nuevo sistema y las recomendaciones que se pueden hacer si el sistema quiere ser mejorado.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

2.1 Introducción

La historia de la comunicación por medio de fibras ópticas comienza a partir de la derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, con lo que se descubrió una nueva utilización de la luz al que se le llamó rayo láser, el cual fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin de que los mensajes se transmitieran a velocidades más altas, desde entonces los intereses fundamentales de los seres humanos es solucionar la interacción a largas distancias y a velocidades más altas.

2.1.1 Sistemas de telecomunicación

Debido al problema de los seres humanos de interactuar unos con otros a largas distancias se han diseñado diferentes tipos de sistemas de comunicación para mandarse mensajes entre sí. Los elementos básicos que conforman un sistema de comunicación se muestran en la fig._2.1.

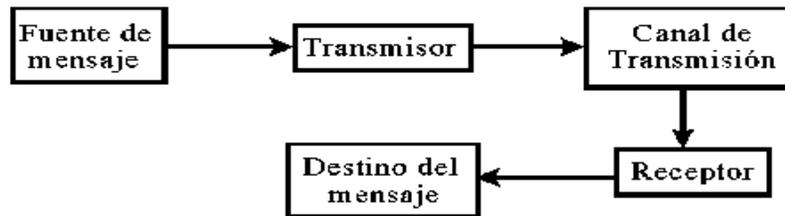


Fig._2. 1. Proceso de la comunicación.

La fuente de mensaje es la información que se introduce en el transmisor el cual éste acopla la información a el canal de transmisión en forma de señal que contiene propiedades de la transferencia del canal. El canal de información es el medio del enlace transmisor y receptor, el cual puede ser un conductor, una guía de transmisión o una onda de guía. A medida que la distancia se incrementa la señal que viaja en el canal se ve afectada, distorsionada o atenuada. El receptor se encarga de extraer la señal distorsionada y atenuada a partir del canal, para amplificarla y restablecerla a su forma original [1 (pág. 1)].

2.1.2 Fibras ópticas como canal de transmisión

Las fibras ópticas fueron originadas gracias a las perturbaciones que surgían por microondas, lo que ocasionaba que las telecomunicaciones ópticas tropezaran en la atmósfera libre. Las ondas luminosas se propagan dentro de un cilindro extremadamente puro y absorbente, como se observa en la fig._2.2.



Fig._2. 2. Anatomía de una fibra óptica [2].

La fibra óptica debe ser lo más transparente posible con el fin de que pueda utilizarse, entre menor sea la atenuación de la fibra, más larga puede ser.

2.1.3 Tipos de cables de fibras ópticas

- Cable auto soportado ADSS:
Diseñado para ser utilizado en estructuras aéreas, comúnmente redes eléctricas o de distribución energética (postes o torres), posee características técnicas que permiten soportar condiciones ambientales extremas y la forma de instalación es a través de soportes y abrazaderas especiales (Fig._2.3 y 2.4).

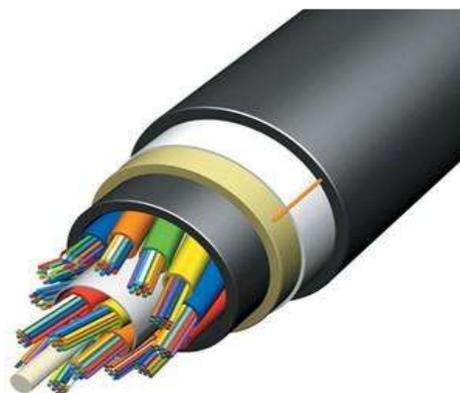


Fig._2. 3. Cable autoportado dieléctrico ADSS.

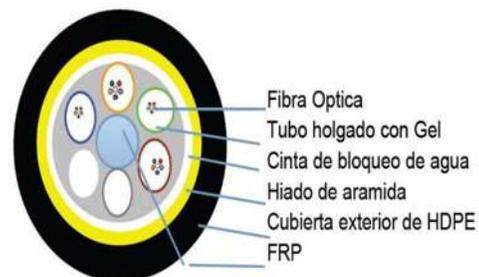
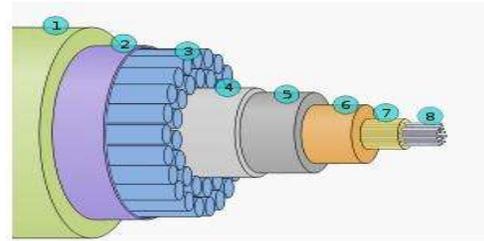


Fig._2. 4. Composición de un cable autoportado dieléctrico [2]. ADSS.

- **Cable submarino:**
Diseñado para permanecer sumergido en el agua. Éste tipo de cables logra alcanzar distancias muy largas, por lo cual son muy utilizados para conectar continentes. En su composición, disponen de cables de energía para alimentar los amplificadores ópticos que normalmente son parte de sistemas de comunicaciones y al encontrarse ubicados a grandes profundidades se imposibilita su mantenimiento (Fig._2.5 y 2.6).



Fig._2. 5. Cable submarino de fibra óptica.



Una sección transversal.

1. Polietileno.
2. Cinta de mylar.
3. Alambres de acero trenzado.
4. Barrera de aluminio resistente al agua.
5. Policarbonato.
6. Tubo de cobre o aluminio.
7. Vaselina.
8. Fibras ópticas.

Fig._2. 6. Composición de cable submarino [3].

- **Cable OPGW Alambre de tierra abierto (Open Ground Wire):**
Tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo, en el núcleo central del cable de tierra de los circuitos eléctricos. Sus fibras ópticas están completamente protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión y poseen gran disponibilidad en el servicio de transmisión de información (Fig. _2.7 y 2.8),[2].



Fig._2. 7. Cable OPGW de fibra óptica.

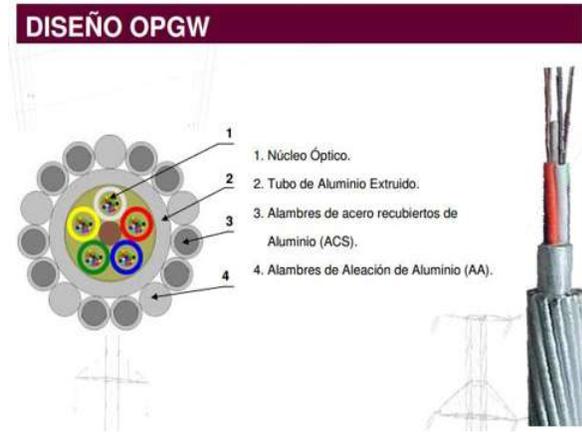


Fig._2. 8. Diseño de cable OPGW [4].

2.1.4 Evolución de las fibras ópticas

Se ha trabajado contantemente en la tecnología para reducir la atenuación de las fibras ópticas. Se deben hacer cálculos para que la longitud de éstas se reduzca por lo menos un 10% de la luz que se le inyecta.

La primera prueba se realizó en la compañía telefónica AT&T en Atlanta en 1976.

Los equipos de trabajo instalaron dos cables de fibra óptica, cada uno de los cuales medían 630 metros de largo y contenía 144 fibras, tirando de ellos a través de conductos subterráneos estándar, para lo que se requería que los cables pudieran sortear curvas cerradas. El servicio comercial comenzó al año siguiente en Chicago, donde un sistema de fibra óptica transportaba voz, datos y señales de video a través de 2.4 km de cables subterráneos que conectaban dos oficinas de conmutación de la compañía telefónica de Illinois Bell Telephone Company.

Estas primeras generaciones de sistemas podían transmitir luz a varios kilómetros sin repetidor, pero estaban limitadas por una atenuación de aprox. 2 dB/km. Pronto apareció una segunda generación de fibra, usando los nuevos láseres de InGaAsP que emitieron a 1.3 μm , donde la atenuación de la fibra era tan baja como 0.5 dB/km, y la dispersión del pulso reducida a 850 nm.

En 1983 MCI, una de las grandes compañías de larga distancia en los Estados Unidos fue la primera en tender una Red Nacional de Fibra óptica en los Estados Unidos.

A fines de los años ochenta, los sistemas tendían a operar a mayores longitudes de onda. La fibra de dispersión desplazada (DSF), se introdujo en 1985, y anunció una nueva era en las comunicaciones ópticas. Uniendo el mínimo de atenuación en la ventana de 1.550nm con dispersión cero en la misma longitud de onda, mayores velocidades de datos podrían llevarse a distancias mayores,[4].

2.1.5 Sistemas de comunicación por fibra óptica

Un sistema de comunicaciones por fibra óptica está constituido por los siguientes elementos que se muestra en la Fig. _2.9.



Fig._2. 9. Sistema de comunicación por fibra óptica.

La función que llevan a cabo los repetidores es amplificar la señal óptica para que ésta sea capaz de transmitir a distancias demasiado grandes, en éste tipo de situaciones se pueden llegar a necesitar varios repetidores, depende de la distancia. Un repetidor está constituido por un receptor óptico seguido por un emisor óptico, que se muestra en la Fig. _2.10.

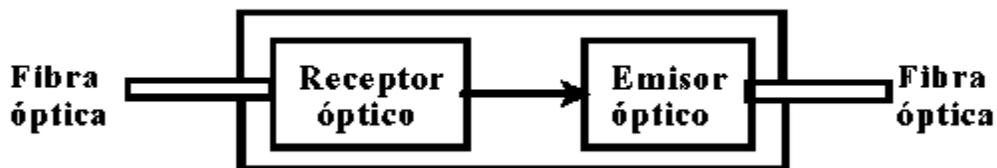


Fig._2. 10. Repetidor óptico

El emisor óptico contiene la fuente de luz, que puede ser un diodo electroluminiscente o un diodo láser. El receptor óptico contiene al detector óptico, el cuál puede ser un fotodiodo o un fototransistor. El emisor y el receptor ópticos están dotados de conectores que permiten acoplar la fuente y el receptor de la luz de la fibra. El canal de transmisión puede contener conectores que le permitan acoplar dos fibras entre sí [1 (pág. 10)].

2.1.6 Ventajas potenciales

Los sistemas de fibra óptica poseen ciertas ventajas potenciales, las cuales son:

- **Baja atenuación:**
Lo cual gracias a ello las fibras ópticas actuales hacen que las distancias se puedan acrecentar entre las repetidoras en un sistema de comunicación por fibra óptica.
- **Aislamiento eléctrico:**
Las fibras se hacen de materiales aislantes eléctricos (vidrios, plásticos). Lo que hace que las interferencias electromagnéticas externas no perturben la transmisión de la fibra, siendo ésta de muy alta calidad sin que se necesite una protección costosa contra el ruido electromagnético externo.
- **Peso y dimensiones:**
Un cable de fibra óptica es diez veces más ligero y más compacto que un cable coaxial clásico. Ésta reducción de peso y dimensiones permite economizar el transporte y la instalación de cables.
- **Gran banda de paso:**
Gracias a la capacidad de banda pasante de una fibra óptica, permite reemplazar varios canales de transmisión clásicos.
- **Diafonía:**
Como una fibra óptica no radia ni capta radiación externa, está completamente exenta de diafonía lo que propicia una transmisión con muy buena calidad.

2.1.7 Campos de aplicación

- Telefonía.
- Enlaces sin repetidores.
- Enlaces transoceánicos por cable óptico submarino.
- Televisión.
- Redes computacionales.
- Control de procesos e instrumentación.

2.2 Transmisión en fibras ópticas

2.2.1 Óptica geométrica

Se puede analizar la propagación de la luz en una fibra óptica mediante las leyes de la óptica geométrica. La luz se propaga a una velocidad de 300,000 Km/s en el vacío, mediante ondas que transportan energía caracterizada por su frecuencia de oscilación f , el cual es:

$$\lambda = \frac{v}{f} \rightarrow (2.1)$$

Su longitud de onda está comprendida entre $0.4\mu\text{m}$ y $0.8\mu\text{m}$, estas ondas electromagnéticas son visibles por el ojo humano.

La óptica es la rama de la física que se encarga del estudio de las propiedades de la luz.

2.2.2 Propiedades de la luz

Las propiedades de la luz dependen del tipo de fuente que las emita, en éste caso se trata de la reflexión y la refracción.

Las ondas de luz son transversales lo que significa que el movimiento de la onda es perpendicular a la dirección en la cual la onda viaja.

1. Reflexión:

- a) Cambio de dirección que experimenta la luz cuando choca contra un cuerpo. El ángulo de reflexión Θ_r es igual al ángulo de incidencia Θ_i .

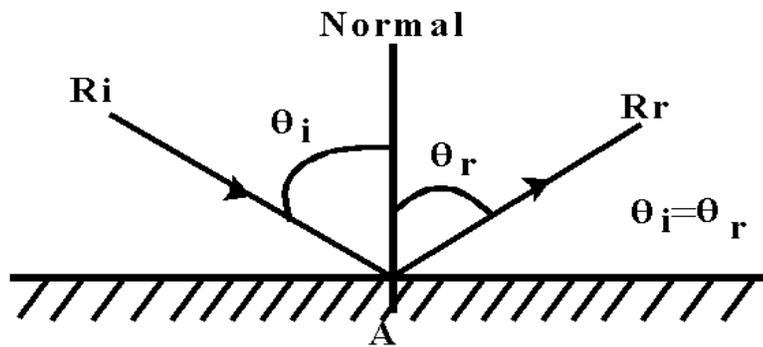


Fig._2. 11. Reflexión de la luz.

- b) El rayo incidente Ri, el rayo reflejado Rr, y la normal N pertenecen a un mismo plano llamado plano de incidencia.

2. Refracción:

- a) Es el cambio de dirección que experimenta la luz cuando pasa de un medio a otro diferente. Por ejemplo cuando pasan del aire al agua. Al pasar al agua los objetos se ven con tamaño diferente del real, es lo que se le llama refracción [6].
- b) La luz se desvía (se refracta) cuando atraviesa a la interface de dos diferentes medios n_i y n_r . El rayo de incidencia R_i , el rayo refractado R_r y la normal N estén en un mismo plano de incidencia.
- c) La relación entre el seno del ángulo de incidencia Θ_i y el seno del ángulo refractado Θ_r es constante y se define por:

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{n_i}{n_r} \text{ o } \rightarrow n_i \sin\theta_i = n_r \sin\theta_r \rightarrow (2.2)$$

La cual se conoce como ley de Snell, que se muestra en la fig._2.12.

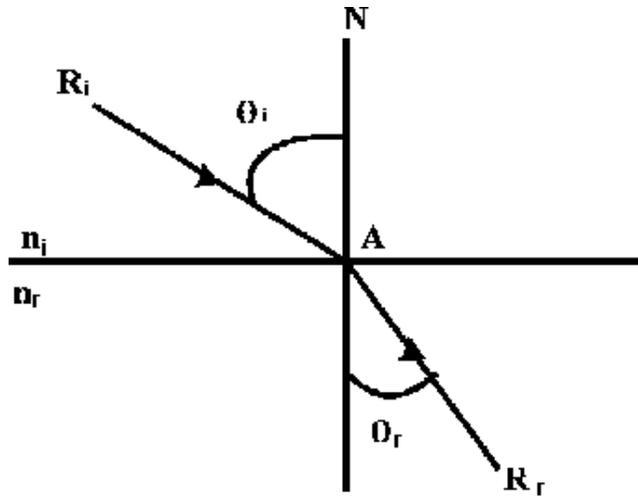


Fig._2. 12. Representación de la ley de shnell.

Si $n_i < n_r$, la luz pasa de un medio a otro que tiene un índice mayor (por ejemplo del aire al vidrio), como se muestra en la fig._2.13, [1 (pág. 16)].

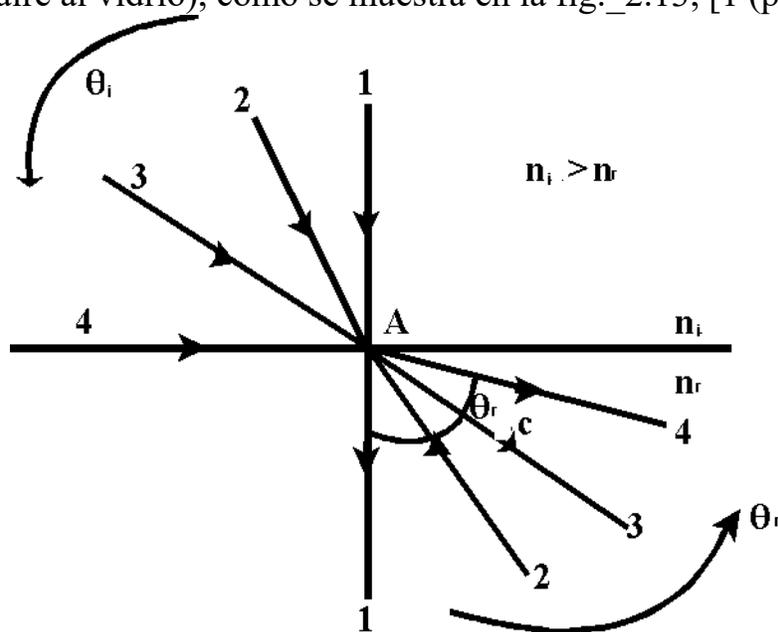


Fig._2. 13. Angulo crítico de la refracción de un rayo de luz.

Se tiene:

$$\sin\theta_r = \frac{n_i}{n_r} \sin\theta_i \rightarrow (2.3)$$

Para este caso existe un valor máximo del ángulo de refracción $\theta_{rc}, \theta_i = 90^\circ; \sin\theta_i = 1$.

$$\theta_{2r} = \arcsin\left(\frac{n_i}{n_r}\right) \rightarrow \text{ángulo crítico de refracción.} \rightarrow (2.4)$$

2.3.3 Angulo de aceptación

La propagación de la luz en la fibra óptica se realiza a través de la reflexión total interna en la interface núcleo-revestimiento.

Si un rayo de luz A, penetra en una fibra óptica este rayo será refractado por la inter fase aire-núcleo y, después, es transmitido a la interfase núcleo-revestimiento en el ángulo crítico.

Si un rayo de luz B, está incidiendo con un ángulo mayor a θ_a será transmitido a la interfase núcleo-revestimiento en un ángulo menor a θ_c y no será totalmente internamente como se muestra en la fig. 2.14.

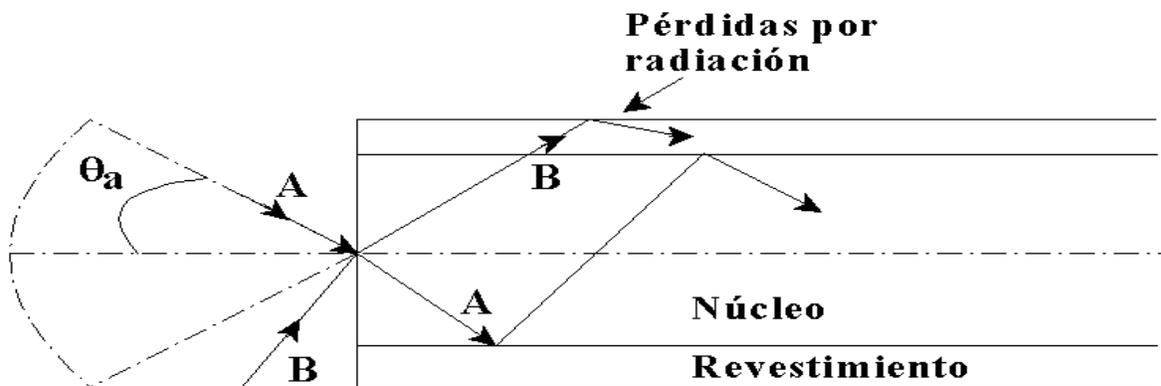


Fig. 2. 14. Ángulo de aceptación.

En ésta fig. 2.14, puede apreciarse que los rayos al ser transmitidos por la reflexión total interna dentro de la fibra, deben incidir en el núcleo de la fibra dentro de un cono de aceptación definido por la mitad del ángulo conical. Así θ_a , es el ángulo de aceptación o ángulo máximo, para el cual la luz entrará a la fibra y será propagada [5].

2.3.4 Apertura numérica

La apertura numérica (AN) predice de una manera más precisa si un rayo de luz va a ser transmitido a lo largo de una fibra óptica. La dirección de un rayo de luz que se encuentra dentro del cono de aceptación se muestra en la

fig._2.15. Con la cual se podrá encontrar una expresión más sencilla para definir la apertura numérica en términos de los índices de refracción.

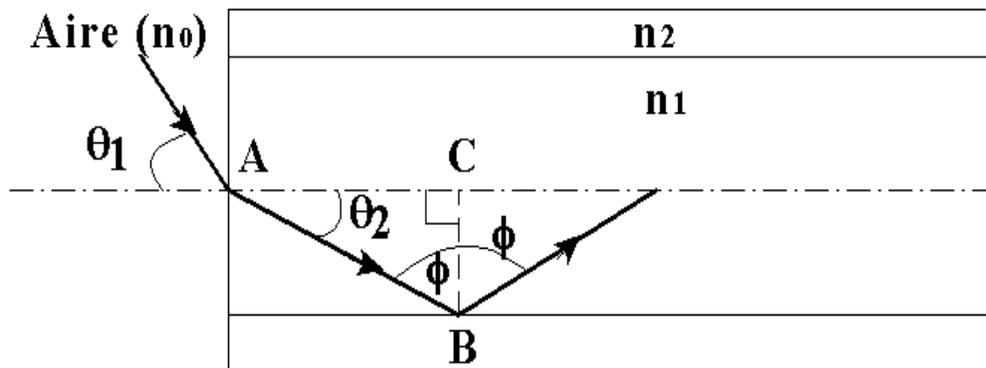


Fig._2. 15. Apertura numérica.

De acuerdo con la ley de Snell:

$$n_0 \text{sen} \theta_1 = n_1 \text{sen} \theta_2 \rightarrow (2.5)$$

Donde n_0 es el índice de refracción del aire, n_1 es el índice de refracción del núcleo de la fibra óptica, θ_1 es el ángulo del rayo incidente y θ_2 es el ángulo del rayo transmitido al núcleo de la fibra óptica.

De la fig._2.15.se tiene:

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \theta_2 \rightarrow (2.6)$$

Sustituyendo la ecuación:

$$n_0 \text{sen} \theta_1 = n_1 \text{cos} \phi \rightarrow (2.7)$$

Utilizando la identidad:

$$\text{sen}^2 \phi + \text{cos}^2 \phi = 1 \rightarrow (2.8)$$

Se tiene:

$$n_0 \text{sen} \theta_1 = n_1 (1 - \text{sen}^2 \phi)^{\frac{1}{2}} \rightarrow (2.9)$$

Considerando el caso límite, para la reflexión total interna:

$$\phi = \theta_a, \theta_1 = \theta_a \rightarrow (2.10)$$

$$n_0 \text{sen} \theta_a = ((n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \rightarrow (2.11)$$

Por lo tanto, la apertura numérica está definida por:

$$AN = n_0 \text{sen} \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \rightarrow (2.12)$$

En ocasiones la apertura numérica se da en términos de la diferencia del índice de refracción relativo Δ , la cual se obtiene de:

$$\Delta = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2} \rightarrow (2.13)$$

Combinando las condiciones, la apertura numérica es:

$$AN = n_1 (2\Delta)^{\frac{1}{2}} \rightarrow (2.14)$$

Las expresiones encontradas son independientes del diámetro del núcleo de la fibra, por lo que, para diámetros menores de $8\mu\text{m}$ el modelo de la teoría del rayo no es válido, debido a que no toma en cuenta la interferencia de los componentes que forman la fibra [1 (pág. 20)].

2.3.5 Rayos oblicuos

Comúnmente se tienen rayos que siguen una trayectoria helicoidal, hasta ahora se ha mencionado la propagación de rayos meridionales en una fibra óptica, pero en la fig. 2.16, se muestra la propagación de rayos con una trayectoria helicoidal:

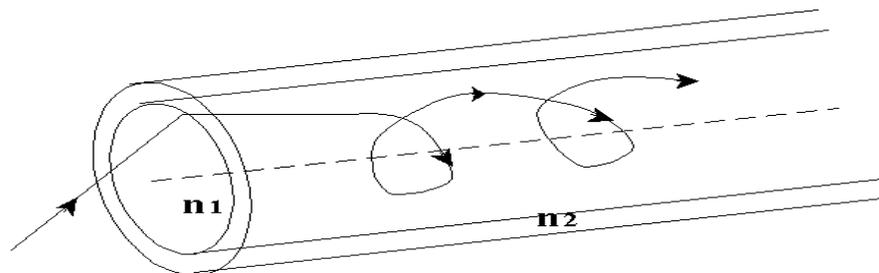


Fig._2. 16. Rayo oblicuo en una fibra óptica.

Para determinar la apertura numérica y el ángulo de aceptación como parámetros importantes para la transmisión de rayos oblicuos, se considera la fig. 2.17.

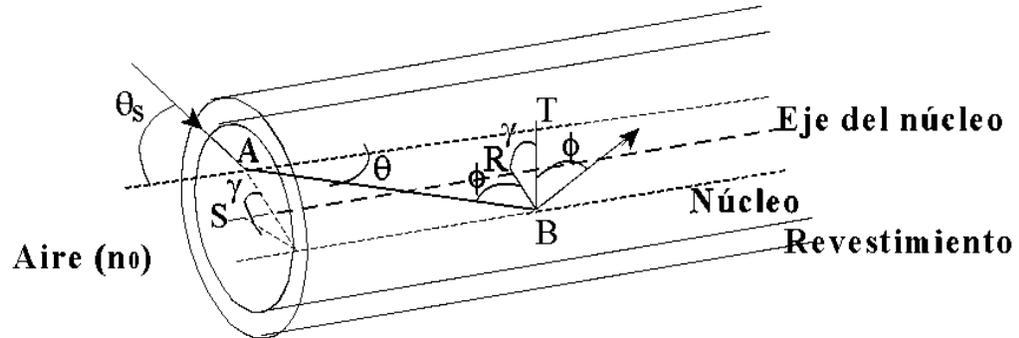


Fig. 2. 17. Trayectoria de un rayo oblicuo.

En la que se observa que un rayo oblicuo incide en el punto A con un Θ_s respecto a la normal al eje de la fibra, y es refractado al punto B, en éste punto para considerar la dirección del rayo AB relativa al radio BR, se tendrá que:

$$\cos\phi = \cos\gamma \sin\theta \rightarrow (2.15)$$

Donde $\cos\gamma$ es la proyección del rayo sobre el radio BR, γ es el ángulo entre el radio del núcleo y la proyección del radio sobre el plano BRS y θ es el ángulo entre el rayo y la línea AT que es el eje del núcleo.

Utilizando identidades trigonométricas y tomando ϕ como el ángulo crítico ϕ_c , así como:

$$\sin\phi_c = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow (2.16)$$

Se tiene:

$$\cos\gamma \sin\theta = \sin\phi_c = \left(1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \rightarrow (2.17)$$

Aplicando la ley de Snell para el punto A:

$$n_0 \sin\theta_a = n_1 \sin\theta \rightarrow (2.18)$$

Donde θ_a es el ángulo máximo para un rayo meridional.

Los rayos meridionales son confinados a los planos meridianos de la fibra, los cuales son los planos que contienen los ejes de simetría de la fibra (el eje del núcleo).

Sustituyendo (2.18) en (2.17):

$$\text{sen}\theta_{as} = \frac{n_1}{n_0} \frac{\cos\phi_c}{\cos\gamma} = \frac{n_1}{n_0 \cos\gamma} \left(1 - \left(\frac{n_2^2}{n_1^2} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \rightarrow (2.19)$$

Donde θ_{as} es el ángulo máximo de entrada o ángulo de aceptación por un rayo oblicuo.

La apertura numérica se puede calcular:

$$NA = n_0 \text{Sen}\theta_{as} \text{Cos}\gamma = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \rightarrow (2.20)$$

Ésta fórmula indica que el ángulo de aceptación para rayos oblicuos es mayor que para rayos meridionales.

2.4 Tipos de fibras

Los diferentes tipos de fibras ópticas se presentan a continuación:

2.4.1 Fibras Multimodo de índice de paso

Éste tipo de fibras son fabricadas a partir de compuestos de multicomponentes de vidrio o de silicio dopado, también pueden tener grandes diámetros del núcleo y grandes aperturas numéricas para facilitar un eficiente acoplo a una fuente de luz no coherente, tal como el diodo emisor de luz (LED).

Estructura típica de una fibra de vidrio multimodo de índice de paso, se muestra en la fig. 2.18.

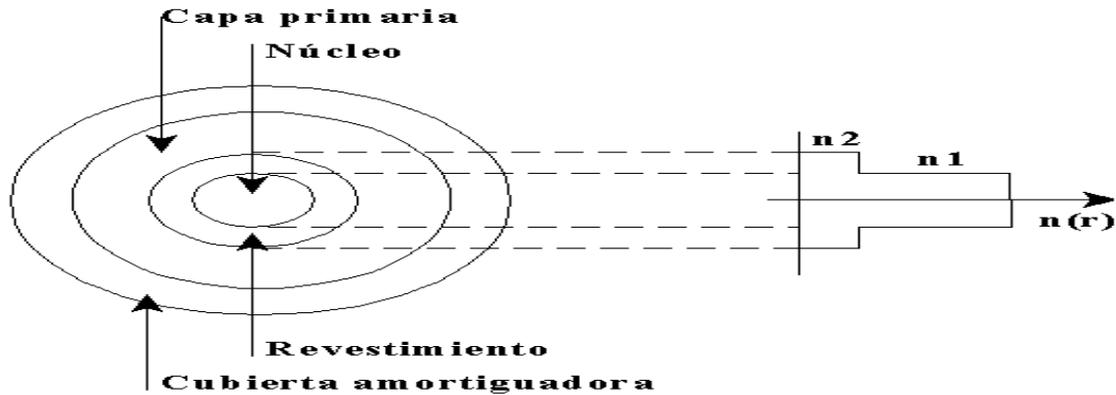


Fig._2.18. Estructura de una fibra de índice de paso multimodo.

Estructura:

Diámetro del núcleo: 40 a 400 μ m.

Diámetro del revestimiento: 125 a 500 μ m.

Diámetro de la cubierta amortiguadora: 250 a 1000 μ m.

Apertura numérica: 0.16 a 0.5

Características de representación:

- Atenuación: En una longitud de onda de 0.85 μ m es de 2.6 a 50dB/Km debido a la dispersión. Este rango de variación en la atenuación es debido a los métodos de preparación de la fibra, lo cual se muestra en la fig. 2.19, en donde se puede observar que para una fibra de vidrio multicomponente, presenta una atenuación de 40dB/Km a una longitud de onda de 0.85 μ m, mientras que para una fibra de silicio dopado tiene una atenuación de 5dB/Km en la misma longitud de onda.
- Ancho de banda: 6 a 50Mhz/Km.
- Aplicaciones. Recomendables para distancias cortas, con ancho de banda limitado y costo relativamente bajo.

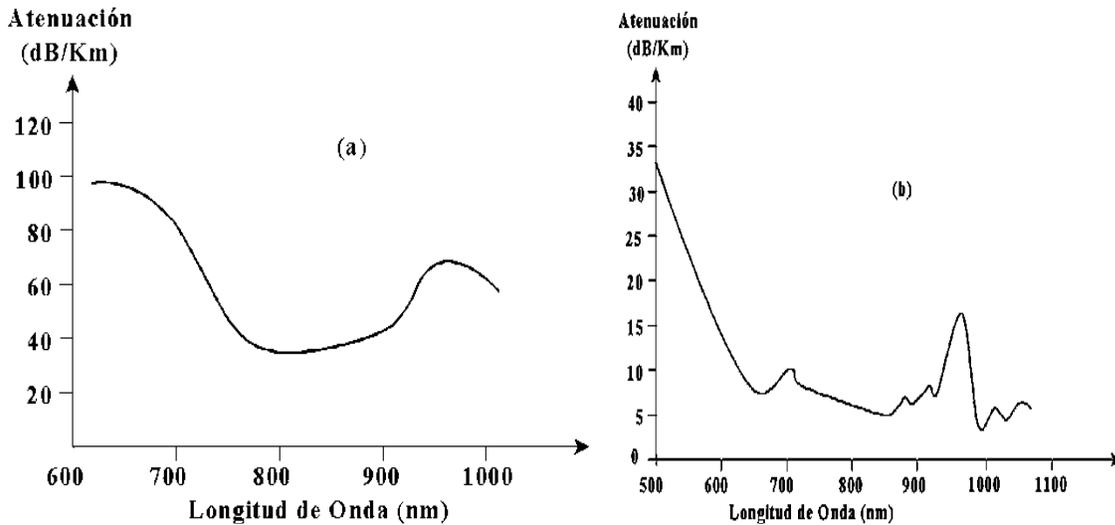


Fig._2.19. Espectro de atenuación para fibras multimodo de índice de paso, a) Fibra de vidrio multicomponente, b) Fibra de silicio dopado.

2.4.2 Fibras multimodo de índice graduado

Este tipo de fibras tienden a ser de materiales con un grado de pureza mayor que en la mayoría de fibras multimodo de índice de paso, como se muestra en la Fig._2.20.

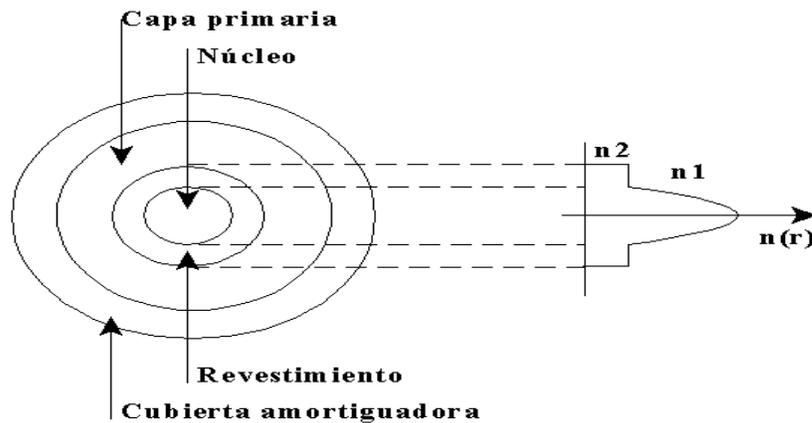


Fig._2.20. Estructura de fibra multimodo de índice graduado.

Estructura:

Diámetro del núcleo: 30 a 100 μm .

Diámetro del revestimiento: 100 a 150 μm .

Diámetro de la cubierta amortiguadora: 250 a 1000 μm .

Apertura numérica: 0.2 a 0.3.

Características de representación:

- Atenuación: A una longitud de onda de $0.85\mu\text{m}$ es de 2.0 a 10dB/Km debido a la dispersión. El promedio de pérdidas es alrededor de 0.4 y 0.25 dB/Km. Para longitudes de onda de 1.3 a $1.55\mu\text{m}$.
- Ancho de banda: 300MHz/Km a 3GHz/Km.
- Aplicaciones: Tienen un óptimo uso en distancias medias y longitudes de onda medias y altas, utilizando fuentes multimodo coherente e incoherentes.

2.4.3 Fibras monomodo

Son de alta calidad para amplias bandas, tienen transmisión a largas distancias y son, generalmente, fabricadas de silicio dopado, a fin de reducir la atenuación. Una estructura típica para una fibra monomodo de índice de paso, se muestra en la Fig. 2.21.

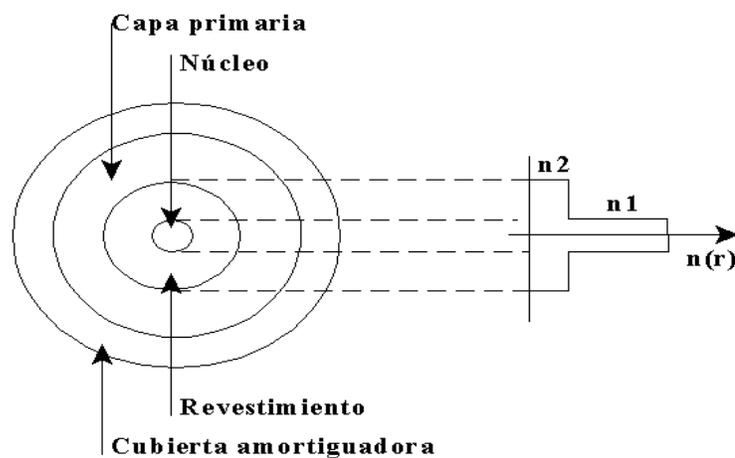


Fig. 2.21. Estructura de fibra monomodo de índice de paso.

Estructura:

Diámetro del núcleo: 5 a $10\mu\text{m}$.

Diámetro del revestimiento: Generalmente de $125\mu\text{m}$.

Diámetro de la cubierta amortiguadora: 250 a $1000\mu\text{m}$.

Apertura numérica: 0.08 a 0.15, usualmente de 0.10.

Características de representación:

- **Atenuación:** A una longitud de onda de $0.85\mu\text{m}$, de 2 a 5 dB/Km debido a la dispersión de alrededor de 1 dB/Km. El promedio de pérdidas es alrededor de 0.35 y 0.21 dB/Km. Para longitudes de onda de 1.3 a $1.55\mu\text{m}$.
- **Ancho de banda:** Mayor a 500MHz/Km. la longitud de onda es limitada por la dispersión del material y del guíaondas aproximadamente de 40 GHz/Km en una longitud de onda de $0.85\mu\text{m}$. Sin embargo, en la práctica excede 10GHz/Km a una longitud de onda de $1.3\mu\text{m}$.
- **Aplicaciones:** Son ideales para distancias muy largas y longitudes de onda muy altas, utilizando una fuente láser.

2.4.4 Fibras de revestimiento de plástico

Son multimodo y pueden ser de perfil de índice de paso o de índice graduado, tienen un revestimiento de plástico y un núcleo de vidrio, lo cual causa que exhiban pérdidas de radiación inducida más bajas con respecto a fibras de núcleo y revestimiento de vidrio de silicio, la Fig. _2.22., muestra éste tipo de fibra.

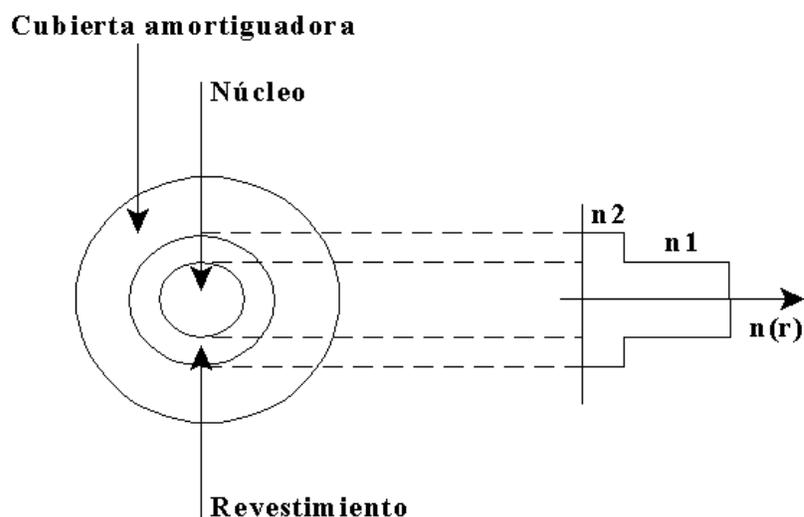


Fig._2.22. Estructura de fibra monomodo de índice de paso.

Estructura:

Diámetro del núcleo: Índice de paso: 100 a 500 μm , índice graduado: 50 a 100 μm .

Diámetro del revestimiento: Índice de paso: 300 a 800 μm , índice graduado: 125 a 150 μm .

Diámetro de la cubierta amortiguadora: Índice de paso: 500 a 1000 μm , índice graduado: 250 a 1000 μm .

Apertura numérica: Índice de paso: 0.2 a 0.5, índice graduado: 0.2 a 0.3.

Características de representación:

- Atenuación. Índice de paso: 5 a 50 dB/Km. Índice graduado: 4 a 15dB/Km.
- Ancho de banda: 6 a 50 MHz/Km.

2.4.5 Fibras todo de plástico

Son exclusivamente de índice de paso multimodo en largos diámetros de revestimiento, su rendimiento es restringido, dándoles un uso limitado en aplicaciones de comunicación. Todas las fibras de plástico, tienen grandes aperturas numéricas, las cuales aceptan un acoplo más sencillo de la luz dentro de la fibra a través de una fuente multimodo.

A pesar de los progresos sustanciales en la fabricación de fibras de plástico de alto rendimiento las pérdidas han sido de hasta 20dB/Km operando en una longitud de onda de 0.68 μm ; es claro que este tipo de fibras no compiten con fibras de silicio dopadas, excepto para aplicaciones a muy corta distancia y, sobre todo, en temperaturas elevadas, así como en sus propiedades de durabilidad química y mecánica. La fig._2.23, muestra la estructura de éste tipo de fibra.

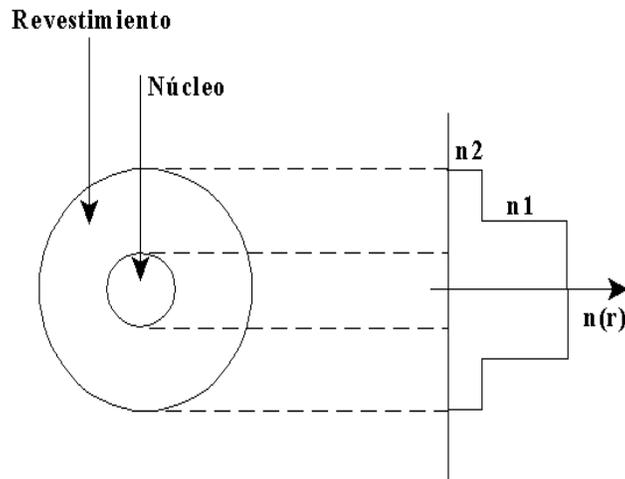


Fig._2.23. Estructura de fibra todo plástico.

Estructura:

Diámetro del núcleo: 200 a 600 μm .

Diámetro del revestimiento: 450 a 1000 μm .

Apertura numérica: 0.5 a 0.6.

Características de representación:

- Atenuación. 50 a 1000 dB/Km. En una longitud de onda de 0.65 μm .
- Ancho de banda: No es especificado en la transmisión, se limita generalmente a las decenas de metros.
- Aplicaciones: Pueden ser utilizadas a muy cortas distancias.

2.4.6 Fibras de índice de paso

La fibra de índice de paso tiene un índice de refracción constante en el núcleo y en el revestimiento. El perfil del índice de refracción se tiene como:

$$n(r) = \left\{ \begin{array}{ll} n_1 & r < a \text{ núcleo} \\ n_2 & r \geq a \text{ revestimiento} \end{array} \right\} \rightarrow (2.21)$$

De acuerdo con el diámetro del núcleo se tiene:

- Fibra de índice de paso multimodo que posee un diámetro de al menos $50\mu\text{m}$ cuya característica principal es aceptar la propagación de muchos modos, como se muestra en la fig._2.24.

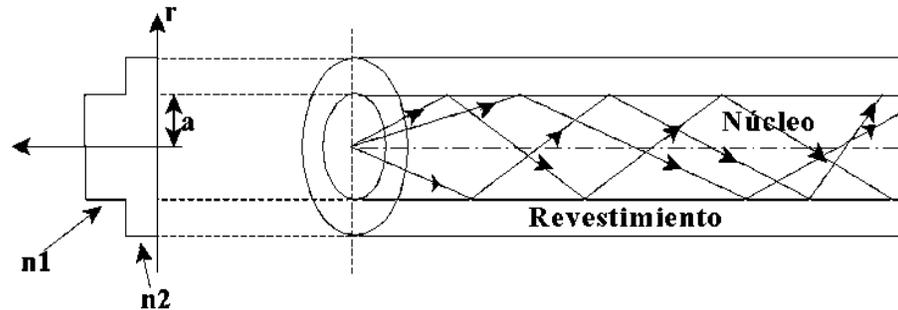


Fig._2.24. Fibra de índice de paso multimodo.

- Fibra de índice de paso de modo sencillo o monomodo, que sólo acepta la propagación de un modo electromagnético, debiendo ser el diámetro del núcleo de 2 a $10\mu\text{m}$, como se muestra en la fig._2.25.

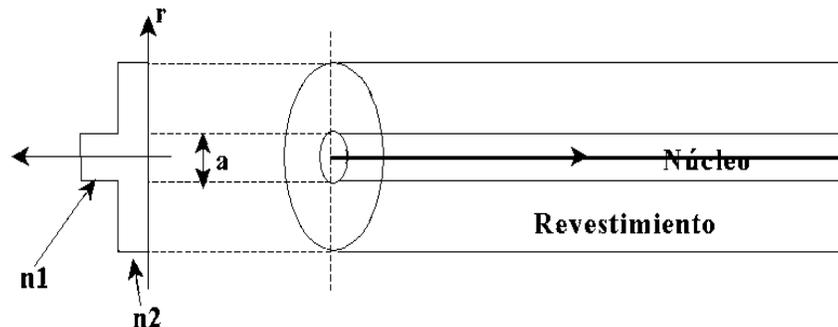


Fig._2.25. Fibra de índice de paso monomodo.

La frecuencia normalizada para las fibras monomodos pueden estar en el siguiente rango:

$$0 \leq V \leq 2.405 \rightarrow (2.22)$$

En una fibra monomodo la luz puede tomar un único camino a través del núcleo. Éstas fibras son más eficaces a largas distancias, pero el pequeño diámetro del núcleo requiere un alto grado de precisión en la fabricación, empalme y terminación de la fibra.

El número de modos guiados de una fibra óptica depende de los parámetros físicos de la fibra y de la longitud de la luz transmitida, éstos se pueden calcular con la siguiente expresión:

$$M_s = \frac{V^2}{2} \rightarrow (2.23)$$

Donde V es un parámetro estructural utilizado como paso intermedio para el cálculo de números de modos que es posible propagar por el núcleo de una fibra óptica, se calcula con la siguiente expresión:

$$V = 2\pi \left(\frac{A}{\lambda}\right) AN \rightarrow (2.24)$$

Donde A es el radio del núcleo de la fibra óptica, expresado en micras y λ es la longitud de onda del pulso lumínico propagado [1, (pág. 27)].

Las fibras multimodo se encuentran en el rango de 2 a 100 modos.

Los sistemas de fibra multimodo no tienen la capacidad de transportación de información de las fibras monomodo [6].

2.4.7 Fibra de índice graduado

Éste tipo de fibras no tienen un índice de refracción constante en el núcleo ya que éste disminuye en función de la distancia radial, el índice de refracción es inferior en las proximidades del revestimiento que en el eje de la fibra. Las ondas luminosas se propagan ligeramente más lentas en las proximidades del eje del núcleo que cerca del revestimiento. La variación de éste índice se representa con la siguiente expresión:

$$n(r) = \left\{ \begin{array}{ll} n_1 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha \right]^{\frac{1}{2}} & r < a, \quad \text{núcleo} \\ n_1 (1 - 2\Delta)^{\frac{1}{2}} = n_2 & r \geq a, \quad \text{revestimiento} \end{array} \right\}$$

Donde: a es el perfil del parámetro que caracteriza el índice de refracción.

Cuando $\alpha = 1$, se tiene un perfil triangular, para $\alpha = 2$, el perfil es parabólico y para $\alpha = \infty$ el índice es de paso, como se muestra en la fig. 2.26.

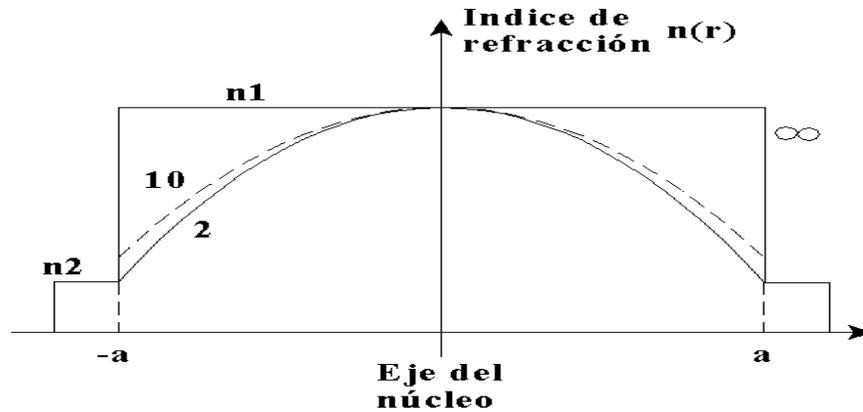


Fig._2. 26. Posibles perfiles de índice de refracción en la fibra.

El perfil de índice graduado de refracción produce mejores resultados para la propagación óptica multimodo, ya que exhibe pérdidas más bajas por su menor dispersión intermodal. La propagación de la luz en una fibra óptica de índice graduado con perfil parabólico se muestra en la fig._2.27.

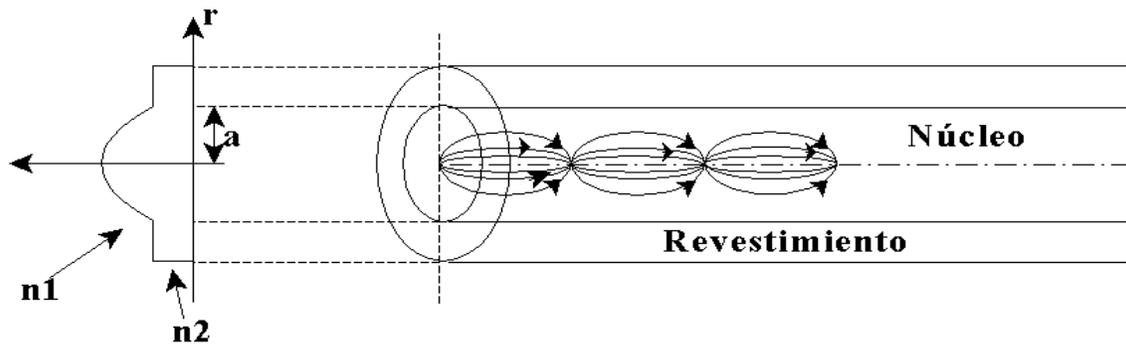


Fig._2.27. Transmisión de luz en una fibra óptica de índice graduado.

Las fibras de índice gradual comprometen la eficiencia en el acoplo para tener mayor ancho de banda. Se hace esto dando al núcleo un índice de refracción no uniforme en todo su perfil. La variación del índice de refracción en el perfil de la fibra da lugar a que la luz se propague según una trayectoria curva, en lugar de a tramos rectos como en las fibras de salto de índice. El mayor recorrido del rayo se compensa por la mayor velocidad de propagación ($V=c/n$) en la región exterior del núcleo. En estas fibras el ángulo de aceptación depende de la distancia al eje del núcleo, siendo máximo en el centro y cero en la frontera con el revestimiento. Sin embargo, la apertura numérica (NA) de las fibras de índice gradual se define de la siguiente manera:

$$NA = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \rightarrow (2.25)$$

La NA tiene un valor típico de 0.2 para éstas fibras.

La mayoría de las fibras de índice gradual tienen un núcleo con diámetro de entre 50 μm y un revestimiento con 125 μm de diámetro. Estas fibras provocan menos modos de propagación que las de salto de índice, reduciéndose la dispersión, y con ello un aumento del ancho de banda. Estas fibras son empleadas hasta distancias de 10 km.

2.5 Características de transmisión de fibras ópticas

2.5.1 Atenuación

La baja atenuación o pérdidas en la transmisión de las señales a través de fibras ópticas se expresa en decibeles por unidad de longitud se expresa como:

$$\alpha_{dBL} = \frac{10 \log P_i}{p_o} \rightarrow (2.26)$$

Donde: α_{dBL} es la atenuación de señal por unidad de longitud, P_i es la potencia óptica de entrada y P_o es la potencia óptica de salida.

2.5.2 Pérdidas por absorción del material en fibras de vidrio o de silicio

La absorción del material puede ser intrínseca o extrínseca, lo cual es un mecanismo de pérdida que está relacionada con la composición del material y de la fabricación de la fibra, lo que resulta en la disipación de una parte de la potencia óptica transmitida como calor.

- Absorción intrínseca.

Éstas pérdidas se deben a la interacción existentes entre los fotones que viajan por la fibra y las moléculas que componen la fibra. La energía fotónica cede, en parte a las moléculas de silicio que van encontrando los fotones en su camino produciendo vibraciones en las mismas.

La absorción debida a la componente de radiación ultravioleta de la luz transmitida, decrece exponencialmente con la longitud de onda, y es casi despreciable a partir de los 1000nm.

La absorción debida a los rayos infrarrojos se origina por las vibraciones entre átomos de silicio principalmente y oxígeno, creciendo exponencialmente con la longitud de onda la cual no es apreciable hasta los 1400nm. Como se muestra en la fig. 2.28.

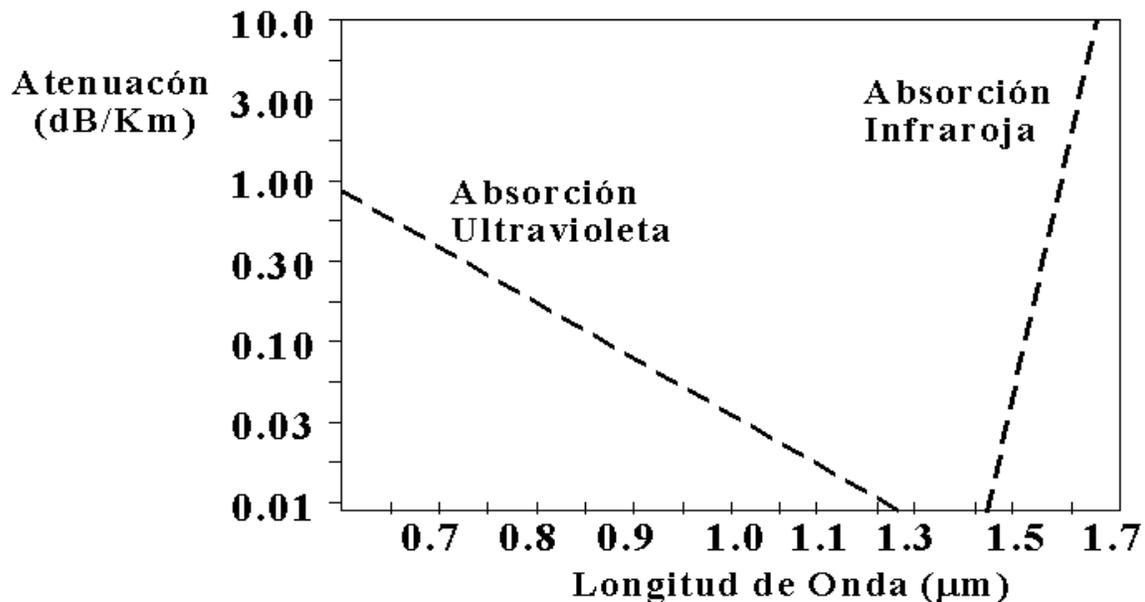


Fig. 2.28. Atenuación de pérdidas intrínsecas en vidrio puro de $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$.

- Absorción extrínseca.

Son las pérdidas causadas por las técnicas convencionales de fusión con las que son fabricadas las fibras ópticas, las impurezas que tienen los elementos metálicos causan impurezas en la atenuación de la señal. Cuando se tiene un exceso de impurezas causa pérdidas en la fibra hasta de 1dB/Km en la región cercana a la longitud de onda infrarroja, pero es relativamente fácil su control en el proceso de fabricación por lo que se puede reducir al mínimo.

Otro mecanismo de pérdida es causado por la absorción de agua ya sean éstos iones o hidróxido disuelto en el vidrio durante el proceso de fabricación de la fibra. Éste tipo de pérdidas no son fáciles de controlar y a 2720nm se produce resonancia de la estructura atómica de los iones OH, éste fenómeno produce tres picos adicionales de pérdidas correspondientes a los tres primeros armónicos de esa frecuencia en las longitudes de onda definidas, el cual se muestra en la fig._2.29.

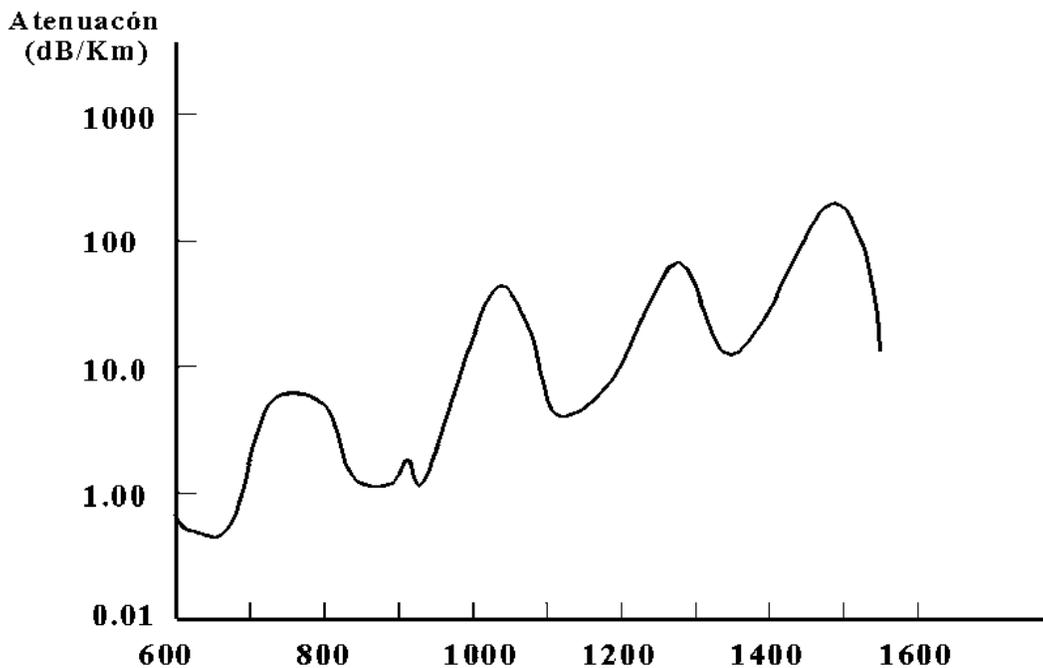


Fig._2.29. Absorción por los hidróxidos en el silicio.

2.5.3 Pérdidas por dispersión lineal

Estas pérdidas causan que una cantidad de la potencia óptica, que será transmitida en una fibra óptica en modo de propagación, cambie a otro modo, provocando la atenuación de la luz transmitida. Existen 2 tipos de dispersión lineal: Dispersión Rayleigh y Mie.

- Dispersión Rayleigh:
Es el mecanismo de pérdida intrínseca dominante en la ventana de absorción baja entre el ultravioleta y la parte baja de la infrarroja. Esta dispersión se debe a las heterogeneidades de naturaleza casual que se presentan en pequeña escala comparada con la longitud de onda de la luz, lo cual se producen por cambios en el índice de refracción y variaciones en la composición del núcleo. En la fig._2.30, se presenta la señal de la atenuación causada por ésta dispersión.

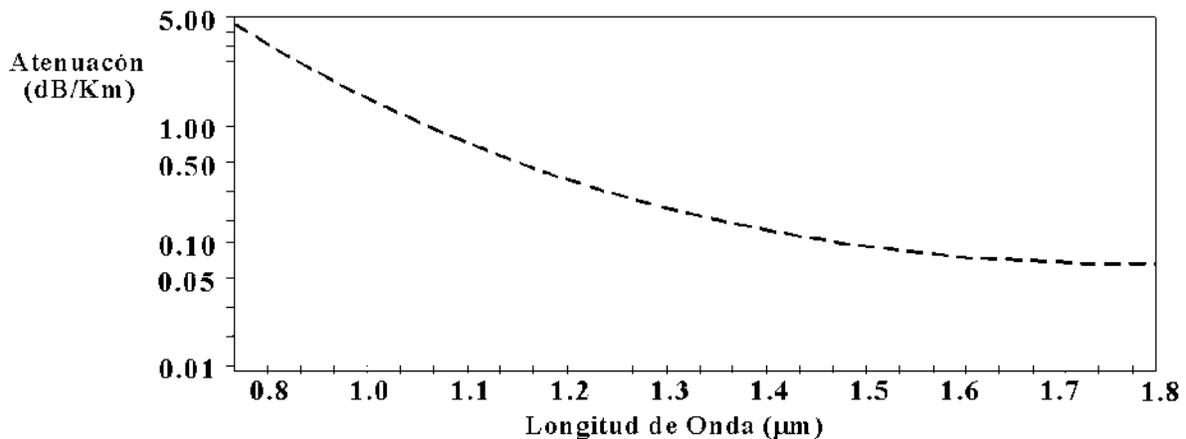


Fig._2.30. Atenuación en la señal debida a la dispersión Rayleigh.

- Dispersión Mie:
Esta dispersión ocurre en no-homogeneidades, la cual son comparables en tamaño a la longitud de onda guiada. Esto se debe a una estructura cilíndrica no perfecta, originando irregularidades en el núcleo y revestimiento, con sus correspondientes pérdidas. Ésta dispersión puede ocasionar pérdidas significativas, dependiendo del material de la fibra, diseño y fabricación; sin embargo las heterogeneidades pueden ser reducidas, removiendo las imperfecciones, incrementando la guía de onda de la fibra mediante el aumento de la diferencia del índice refractivo

relativo, esto hace posible reducir la dispersión Mie a niveles insignificantes.

2.5.4 Pérdidas por curvatura de la fibra

Cuando la fibra se somete a una curvatura, se origina una atenuación adicional por el hecho de que la interfase núcleo-revestimiento deja de ser geoméricamente uniforme, la luz se refleja en algunos puntos con ángulos diferentes de los que se calcularon al inicio, esto que hace que ya no se cumpla la reflexión interna y como consecuencia se produzca una fuga de modos hacia el revestimiento. Como se muestra en la fig._2.31.

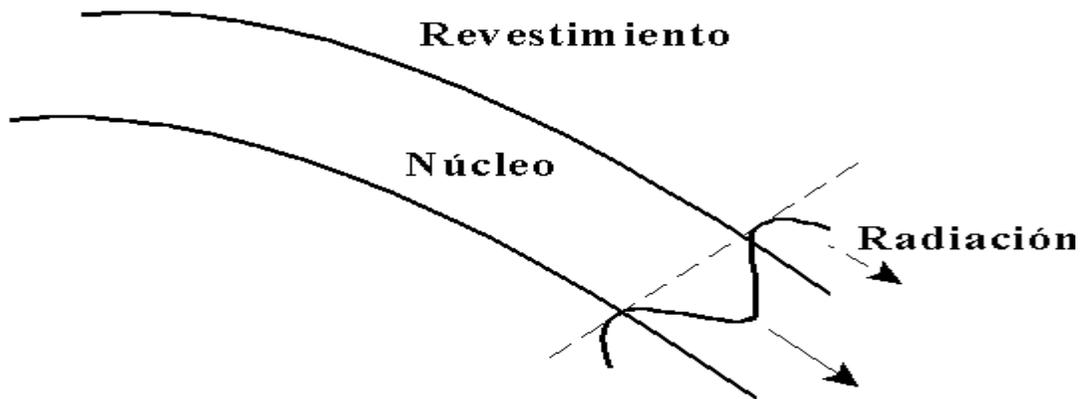


Fig._2.31. Pérdidas por curvatura de fibra.

La fuga de modos en el revestimiento intenta viajar más rápido que los modos de la onda guiada, pero como esto no es posible la energía asociada con ésta parte del modo es perdida a través de la radiación.

Estas pérdidas se pueden reducir si, si se diseñan fibras con una diferencia de índice de refracción relativa alta o si se opera a la más baja longitud de onda posible. La atenuación que se tiene por la curvatura de la fibra varía exponencialmente con el radio de curvatura.

2.5.5 Dispersión en una fibra óptica

La dispersión de la fibra óptica causa distorsión para la transmisión analógica o digital a lo largo de la fibra óptica. El mecanismo de dispersión dentro de la fibra óptica causa ensanchamiento de los pulsos de luz transmitida, como se muestra en la fig._2.32, en donde se observa a cada pulso ensanchado.

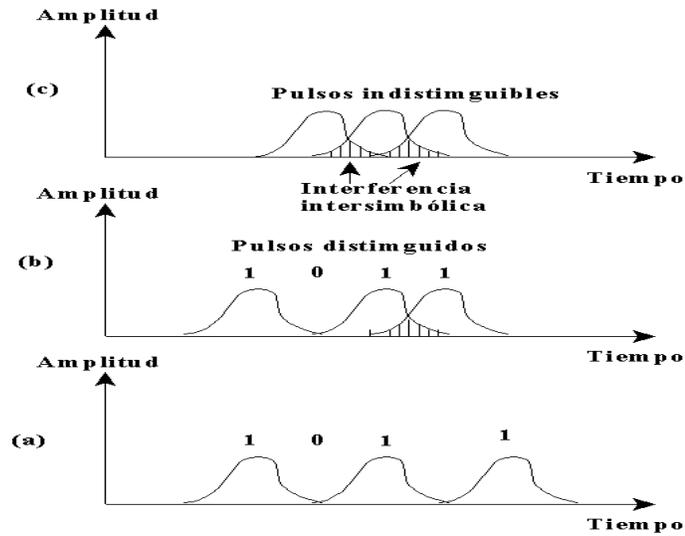


Fig._2.32. *Dispersión en una fibra óptica. (a) Señal de entrada; (b) Señal de salida a una distancia L_1 ; (c) Señal de salida a una distancia L_2 , $L_2 > L_1$.*

El efecto de la dispersión en diferentes tipos de fibra, como se muestra en la fig._2.33. La cual exhibe la más grande dispersión.

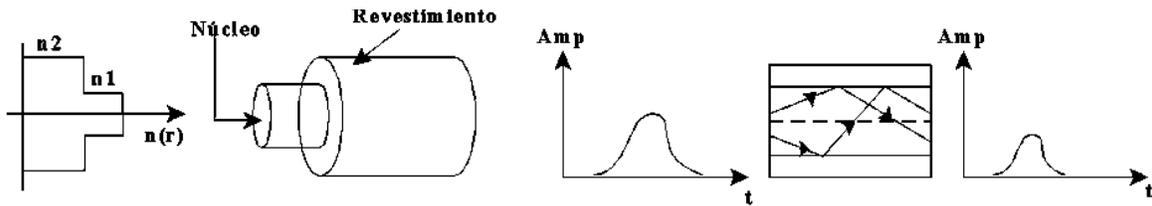


Fig._2.33. *Fibra de índice de paso multimodo.*

La fig._2.34. Muestra la fibra de índice graduado multimodo teniendo ésta una considerable mejora en la señal de salida.

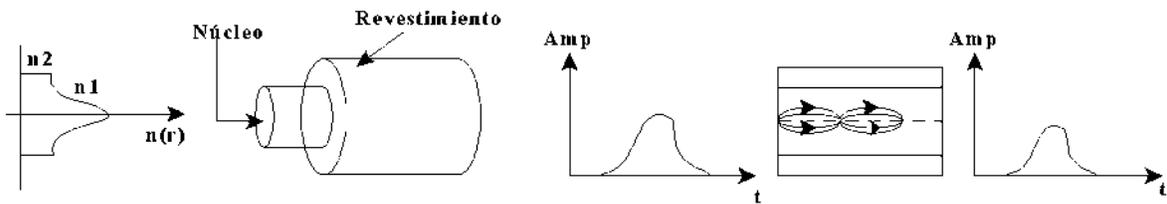


Fig._2.34. *Fibra de índice graduado multimodo.*

En las fibras multimodo de índice de paso el ancho de banda es limitado a unas decenas de MHz.

Una fibra monomodo tiene un mínimo ensanchamiento y, por lo tanto es capaz de tener más grande la longitud de onda de transmisión, la cual llega a rangos de GHz, como se muestra en la fig._2.35.

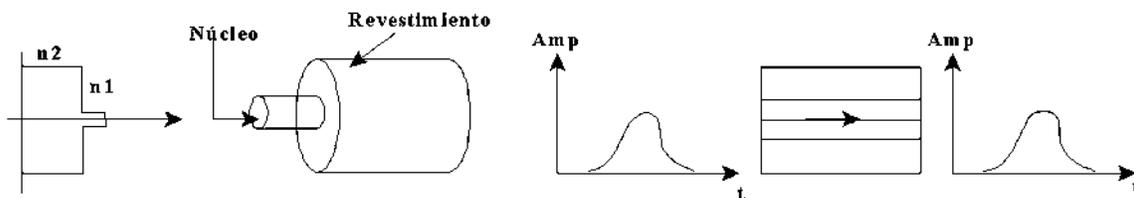


Fig._2.35. Fibra de índice de paso monomodo.

La cantidad de pulso ensanchado depende de la distancia que viaja el pulso en la fibra. Por lo tanto, para un enlace de fibra óptica dado, la restricción en el uso de una longitud de onda es determinada por la distancia entre repetidores regenerativos.

2.5.6 Dispersión intramodal

Este tipo de dispersión puede ocurrir en todos los tipos de fibras ópticas y resulta del amplio espectro finito de la fuente óptica, existen dos tipos de dispersión:

- Dispersión del material.
Es cuando finaliza cada modo de propagación y al no ser nula la anchura espectral de la fibra óptica cada modo propaga todas las líneas espectrales correspondientes a las longitudes de onda del emisor y a cada longitud de onda le corresponde una velocidad de propagación diferente, por lo que se tendrá una velocidad distinta para cada longitud de onda transmitida. Esta dispersión afecta tanto a las fibras multimodo como a las monomodo.
- Dispersión en el guíaondas.
Dispersión debida sólo a los parámetros ópticos y geométricos que tienen relevancia sólo en las fibras monomodo, ya que en las multimodo la dispersión es pequeña. En las fibras monomodo la dispersión le corresponde un índice de refracción diferente a cada longitud de onda, el ángulo que forma la trayectoria asociada a ella será

distinto y también los caminos recorridos por esas componentes espectrales.

2.5.7 Dispersión intermodal

Fenómeno que indica que cuando dos rayos de la misma longitud de onda que inciden simultáneamente con direcciones distintas, llegarán en instantes diferentes al extremo receptor. Afecta las relaciones entre modos y en un parámetro característico de las fibras multimodo.

2.5.8 Dispersión modal

Aplicando una fuente luminosa a una señal digital (“1” y “0”) ésta conmutará entre encendido y apagado. Al ser reproducida la señal debe tener las mismas características de duración de los tiempos de “1” y “0” y la misma secuencia de transiciones, por lo que debe ser igual a la señal eléctrica transmitida.

Si en un instante dado, la fuente luminosa se encuentra emitiendo a la entrada de una señal eléctrica “1”, todos los rayos de luz de las frecuencias de las ondas luminosas se estarán emitiendo simultáneamente. Suponiendo que todos los rayos se propagan por el tubo, como lo muestra la fig._2.36.

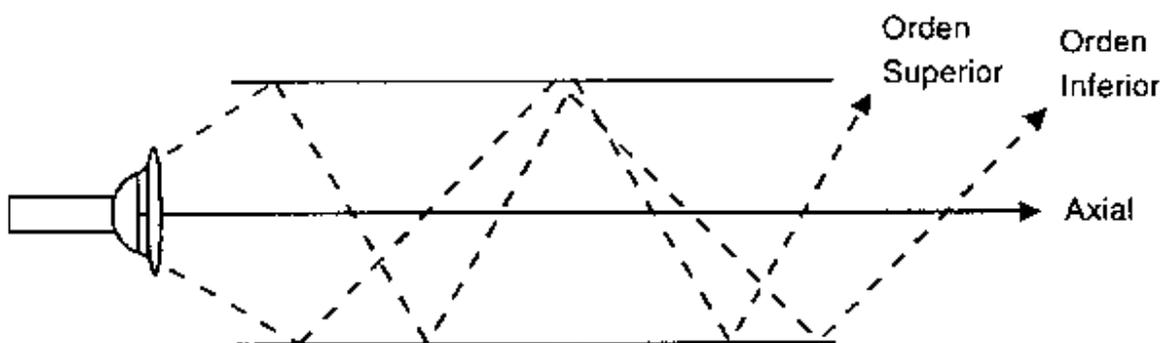


Fig._2.36. Transmisión de una fuente luminosa con lente insertada[5].

Entonces los rayos de luz que llegan primero al final del tubo son los que se propagan en el modo fundamental y consecuentemente viajan por el camino más corto: a través del eje axial del tubo. Si en el extremo del tubo se acopla un detector óptico, el detector percibe la presencia de éstos rayos y genera una señal eléctrica en su salida (“1”).

Un instante de tiempo después los otros rayos luminosos que se han propagado reflejándose a través del tubo llegarán al detector y serán percibidos por éste.

Pero la señal eléctrica del detector ya está presente ("1") debido a los primeros rayos que se propagaron por el eje axial, entonces no ocurre ningún cambio en la salida eléctrica del detector.

Si la señal aplicada a la fuente luminosa pasa de "1" a "0", todos los rayos de todas las frecuencias de las ondas luminosas se extinguirán en el mismo instante de tiempo. La reacción más rápida, a esta extinción, llegará al extremo final como una pérdida de luz mediante los rayos que se propagan por el eje axial (modo fundamental), son los rayos que recorren menos distancia. Pero como en el detector aún llegarán rayos luminosos de los modos más lentos, la salida del detector no cambiará inmediatamente. Después de un cierto tiempo, después de que los rayos luminosos m de propagación con un orden más alto) atraviesen el tubo, al detector no le llegará energía luminosa, por lo que no proporcionará señal eléctrica ("0").

Este ensanchamiento es una forma de distorsión y se denomina dispersión modal en los sistemas de transmisión de ondas luminosas. Esta dispersión es debida por la multiplicidad de caminos de transmisión o de modos en el interior del tubo. La dispersión modal es función del número de modos de propagación en el interior del tubo y de la longitud del tubo [5].

2.5.9 Interferencia intersimbólica

La distorsión de pulsos, que se evidencian como un pulso de mayor período que el original, puede considerarse como el pulso ha extendido un período de tiempo muy corto. Esto es cierto en el caso de velocidades de transmisión muy bajas. Una leve extensión del período cuando tenemos luz, con relación al período cuando no tenemos luz es insignificante. Pero en los sistemas de transmisión ópticos, la luz es pulsada a unas velocidades muy altas. En un sistema operando a 90 Mb/s. Por ejemplo, el período del pulso en que tenemos luz es solo de 6 a 10 ns, y esto que 90 Mb/s no es una velocidad muy alta hoy en día. La distorsión del pulso introducida puede consecuentemente ser un porcentaje significativo del período del pulso en tales aplicaciones. En las

transmisiones de alta velocidad, más bits (pulsos) se transmiten por unidad de tiempo. Los pulsos tienden a ensancharse, como se ha indicado en el apartado de dispersión modal, y un pulso individual empieza a entrometerse en el espacio destinado a la "no presencia de pulso". Esto complica el proceso de determinar, en unos determinados instantes, si un pulso está presente o no. La intrusión de un pulso en el período de tiempo adyacente se llama interferencia intersimbólica, y se puede observar en la fig._2.37. Dicha distorsión puede provocar errores en los datos transmitidos.

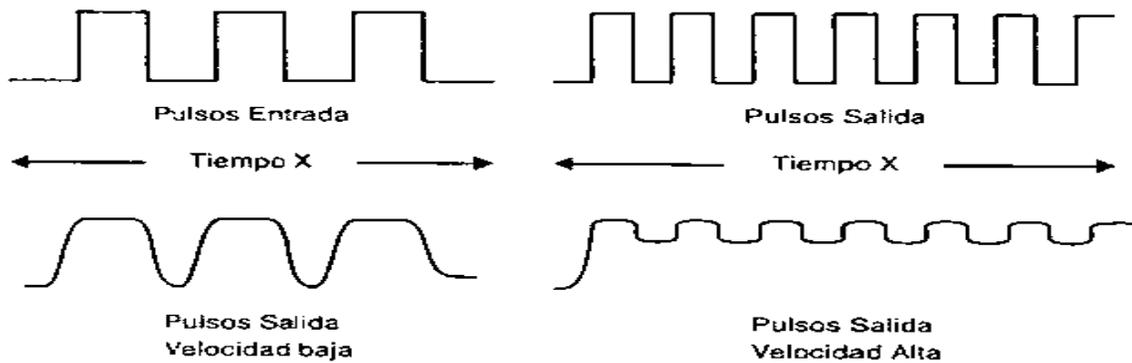


Fig._2.37. Interferencia intersimbólica [5].

CAPITULO 3

SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE UN VEHÍCULO

3.1 Introducción

El sistema de iluminación de cualquier vehículo que circule por vía pública es fundamental ya que nos permite ver y ser vistos, aunque no nos demos cuenta es un sistema de seguridad, no sólo un conjunto de luces que nos permiten conducir el vehículo. Los vehículos han ido evolucionando con el paso del tiempo y a la par con la tecnología disponible.

La incorporación de las luces de posición diurnas se puede considerar como la última iteración, así como la introducción de lámparas de menor consumo, por ejemplo los leds.

Éste capítulo se desarrolla en 5 secciones, la sección 3.2 trata sobre la historia del sistema de iluminación de los vehículos tradicionales. La sección 3.3 contiene los tipos de lámparas y emisores de luz que existen en la actualidad. La sección 3.4 contiene el diseño de faros, reflectores y proyectores. La sección 3.5 contiene el sistema de iluminación trasera de un auto.

3.2 Historia

En el año de 1662 se introdujo el primer carruaje de tracción animal, el cual éste compartió la iluminación con los primeros automóviles, el primer automóvil fue fabricado en la Parisiense (Habana), en el año de 1898.

Las necesidades y velocidades que se alcanzaban en ése año eran prácticamente iguales yendo a caballo que en los coches más rápidos, por lo tanto una simple vela, un candil de petróleo, aceite o cualquier cosa que ardiese era suficiente para intuir a dónde se dirigía; conforme el tiempo pasaba y conseguían mayores velocidades en los automóviles se fueron dando cuenta que la iluminación de una vela o un candil era insuficiente para ver a más altas velocidades, por lo que en 1900 Frederick Baldwin descubrió que cuanto más exotérmica es una reacción más energía produce, si parte de ella es una luz, la cual se puede aprovechar para iluminar. La reacción del C_2 o carburo de calcio con el H_2O genera un gas inflamable mucho más energético que la parafina, la madera o el aceite, los cuales éstos necesitan evaporarse para poder arder. Y fue así que aparecieron las lámparas de carburo que lo que quemaban era un gas que se almacenaba en forma de dos reactivos, un sólido y un líquido, por lo que no era necesario guardarlo a presión. Además la mezcla de los dos reactivos se hacía por gravedad, dejando caer gotas de agua sobre un Carburo de Calcio que se vendía en las droguerías en forma de sólido.

Con la reacción del carburo de calcio descubierta en 1836, su uso comercial empezó en 1895 y 5 años más tarde fue adoptada por la industria automotriz por Louis Bleriot. Sus faros de carburo tenían una autonomía de 4 horas, momento en el que se tenían que abrir para retirar el residuo que quedaba en el depósito, limpiar el cristal de hollín y rellenar el depósito de agua [8].

3.2.1 La luz incandescente

Quienes tuvieron las primeras tentativas de generar luz mediante electricidad fueron Volta y después Humphry Davy, pero tuvo que ser Edison quien hiciese la tecnología que se necesitaba para llevar a cabo éstas tentativas

faltando así 30 años para que los primeros automóviles adapten esta tecnología.

Aparecieron las bombillas de luz lo cual no son tan diferentes a una vela, ambas son luces incandescentes, sólo que la vela tiene energía de activación nada más al principio, en una bombilla se mantiene esa energía durante todo el tiempo.

Haciendo cambios en el sistema incluyendo watts se solucionó el problema que limitaba la iluminación de los candiles y velas; la potencia luminosa, la durabilidad y el mantenimiento. La potencia eléctrica es el producto del amperaje de una batería que ronda entre los 60 a 80 amperes por hora y el voltaje, pero cuando ese amperaje y voltaje pasan por el filamento de las bombillas lo que va a generar la luz es la capacidad del filamento a oponerse al paso de todos esos electrones que salen de la batería; la resistencia eléctrica.

La resistencia de un filamento depende de la resistividad del material, siendo éste un cable de cobre o uno de aluminio casi no se van a calentar debido a que son muy buenos conductores, pero nunca producirán luz con la energía de una batería de un coche, en este caso se utiliza un metal llamado tungsteno, el cual éste es proporcional a su longitud e inversamente a su grosor, por lo que los filamentos se enrollan para poder meter más longitud y ser más finos, su resistencia crece con la temperatura por lo que entre más se calienta más resistencia producirá hasta llegar a la temperatura que necesitan para estabilizarse [8].

3.3 Tipos de lámparas o emisores de luz

Existen 4 tipos de lámparas (bombillas), las que hoy en día se montan en los automóviles y no son precisamente modernas, las cuales son lámparas incandescentes, halógenas, xenón y leds.

3.3.1 Incandescentes

En este tipo de lámparas se hace pasar una corriente eléctrica por un filamento metálico lo que hoy en día es wolframio lo que actúa como resistencia el cual

se pone rojo y desprende luz y calor. El filamento está encerrado en una ampolla de vidrio dentro de la que se ha hecho el vacío o se ha rellenado con gas noble, por ejemplo kriptón, éste tipo de iluminación es el más ineficiente o del que menos se consume ya que son las que menos duran y las que pueden llegar a desaparecer en poco tiempo, éste tipo de luz lo muestra la fig._3.1.



Fig._3. 1. Luces incandescentes.

3.3.2 Halógenas

El halógeno es un grupo de elementos químicos entre los que están el Bromo y el Yodo, estos tipos de elementos tienen la particularidad de combinarse con el tungsteno, el cual evapora el filamento con la temperatura se vuelve a depositar, lo que hace que incluyendo pequeñas cantidades de halógeno dentro de la bombilla se puede aumentar la durabilidad del filamento, aumenta la iluminación y la vuelve más blanca, como se alcanzan temperaturas más altas la bombilla ya no es de vidrio de arena de sílice (vidrio convencional) sino de vidrio de arena de cuarzo por lo que al colocarla no se debe tocar con los dedos desnudos la ampolla de la bombilla halógena, ya que el pH ligeramente ácido de la piel por la grasa y el sudor que puede desprender daña este tipo de vidrio.

Este fue el primer gran cambio en los faros de automóviles permitiendo tener más luz hace aproximadamente 30 a 35 años, la fig._3.2, muestra la luz producida con el halógeno.



Fig._3. 2. Luces halógenas.

La distancia que abarca la iluminación halógena de un auto es descrito en la fig._3.3.

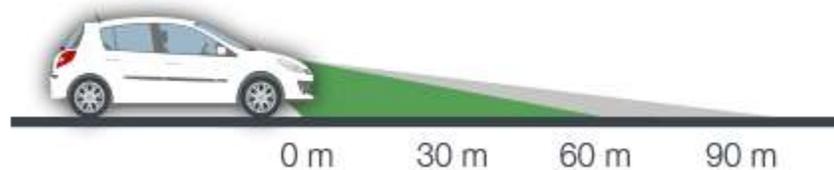


Fig._3. 3. Distancia de las luces halógenas.

3.3.3 Xenón

Las lámparas de xenón o lámparas de descarga de gas de alta intensidad (HID, High Intensity Discharge), dentro de una ampolla de vidrio de cuarzo no se tiene un filamento, sino dos electrodos de tungsteno muy próximos, pero no en contacto. La ampolla está rellena de vapor de mercurio, sales metálicas y gas xenón. Al llegar corriente a uno de los electrodos, esta ‘salta’ hasta el otro produciéndose un arco eléctrico que desprende gran cantidad de luz muy blanca (ligeramente azulada).

Se necesita un impulso de alta tensión para el encendido, durante el funcionamiento consumen menos que las lámparas halógenas, en luz de cruce sólo 35 W frente a 55 W en la halógena.

Con éste tipo de luz la vista se cansa menos ya que la iluminación del automóvil es más homogénea y más blanca, pero el costo es mayor, ya que tienen más duración de horas, al principio sólo se empleaban en las luces de cruce (cortas) pero hoy en día ya existen en las luces de carretera (largas).

En la fig._3.4 se muestra una lámpara de xenón de un auto.



Fig._3. 4. Luces Xenon.

El alcance de la luz de xenón de un auto se muestra en la fig._3.5.

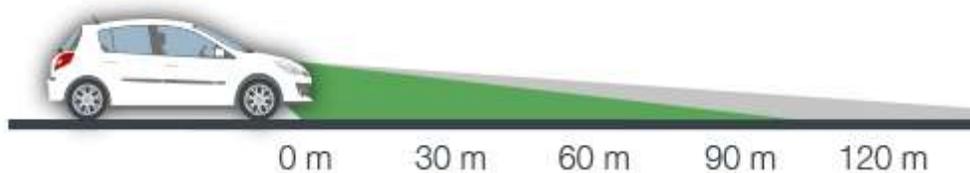


Fig._3. 5. Distancia de las luces xenon.

3.3.4 Led's

Los diodos emisores de luz consisten básicamente en un material semiconductor encapsulado en una diminuta lente de plástico. Al hacer pasar corriente eléctrica a baja tensión a través del led, este emite luz. Cada vez se ven más automóviles con faros o pilotos de leds hoy en día, en las luces de

posición trasera, luces de freno o luces indicadoras de dirección (intermitentes).

En faros de altas prestaciones se están empleando leds en la luz de cruce. El inconveniente de los faros de leds es que son más caros, pero teniendo éstos una vida mucho mayor [9].

En la fig._3.6 se ilustran luces leds de un auto y su distancia de alcance es mostrado en la fig._3.7.



Fig._3. 6. Luces leds.

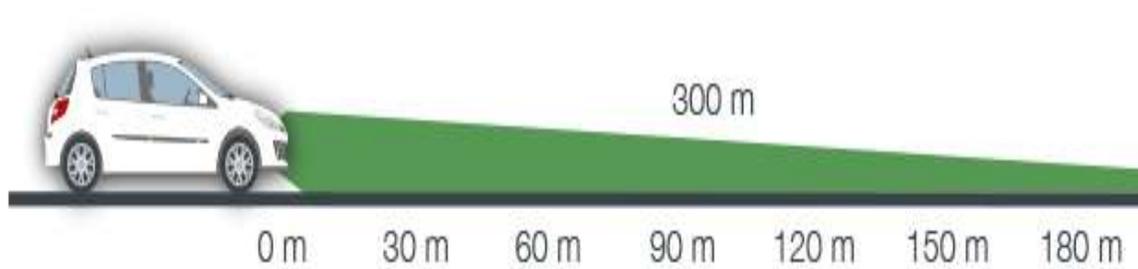


Fig._3. 7. Distancia de las luces leds.

3.4 Diseño de faros, reflectores y proyectores

Años atrás los faros eran translúcidos, el cristal de dispersión de éste no permitía ver el interior, ya que el cristal estaba moldeado interiormente formando prismas horizontales que se encargaban de distribuir la luz.

Hoy en día se han cambiado a cristales de dispersión transparentes de policarbonato lo cual son sensibles a la radiación UV, por lo que se deterioran si les da demasiado el sol. Para controlar la distribución del haz de luz generado por la lámpara, se confía en el diseño geométrico del reflector, ya sea parabólico, elíptico o en una lente elipsoidal.

3.4.1 Faros antiniebla y lavafaros

1. Faros antiniebla.

Se caracterizan por generar un haz de luz más corto y ancho, que se orienta hacia el suelo intentando minimizar la dispersión de la luz que se produce al atravesar nubes de polvo, arena, humo y niebla, fig._3.8.

2. Los lavafaros:

Fueron otra estrategia para tener más luz cuando las cosas se ponían más complicadas como el atravesar la niebla resultaba difícil seguían buscando la solución a ese problema.



Fig._3. 8. Faros antiniebla.

3.4.2 Luz adicional en giros

Consisten en encender una luz adicional a la luz de cruce, en el lado hacia el que se está girando el volante, que ilumina hacia el lateral. Tiene un captador de giro en la dirección que acciona la luz a partir de un determinado ángulo de giro del volante. Hay una bombilla más, ya sea en el faro principal, o en el faro antiniebla, esta luz suele funcionar solo a velocidades bajas, 40 0 50 km/h aproximadamente, lo que permite eliminar zonas en penumbra en los giros cerrados con un ángulo de 65° y hasta 30 m de alcance [9].

3.4.3 Encendido automático de las luces

Hoy en día el avance en la tecnología ha permitido integrar en los automóviles más recientes un sensor de luminosidad normalmente en la parte alta del parabrisas, detrás del espejo retrovisor. Por lo general, este sensor es un fotodiodo que es excitado por la luz y genera cierta corriente eléctrica.

Cuando hay menos luz la corriente disminuye o cesa, entonces es cuando un pequeño microprocesador enciende las luces de cruce y cuando vuelve haber luz las apaga.

3.4.4 Faros orientables

Hay luces adicionales para los giros, pero sirven de poco cuando se está en carretera a velocidades medias o altas, ya que son luces de poca potencia y alcance, así que se tenía que buscar la solución para iluminar mejor en las curvas, ya que el haz de luz se proyecta en línea recta hacia el exterior de la curva, dejando poco iluminado el interior de la misma.

Por lo que la idea fue hacer girar el faro o por lo menos una parte de él, lo habitual es que la unidad de la luz de cruce, normalmente de tipo proyector con una lente elipsoidal detrás de la que está la lámpara, sea lo que gire

gracias a un pequeño motor eléctrico que gira un determinado número de grados según lo que se esté girando el volante.

El resultado es que el haz de luz del faro se oriente hacia la curva y gire con el coche, pero normalmente los faros giran entre 10 y 15 grados, con lo que se ganan unos 20 o 30 m de iluminación, fig._3.9.



Fig._3. 9. Faros orientados en curva.

3.4.5 Faros adaptables automáticos

El sistema de iluminación más sencillo comenzó con la regulación de la altura de la luz de cruce en los faros de xenón. Como este tipo de faros puede deslumbrar más a los conductores con los que los automovilistas se pueden llegar a cruzar, se impuso un sistema automático, el cual corrige la altura instantáneamente para mantener la altura óptima, mediante sensores en la suspensión del eje trasero y delantero, el microprocesador puede saber qué ángulo de cabeceo tiene el coche. Al acelerar o al cargar mucho peso en el maletero, éste es positivo y el haz de la luz se sube, al frenar el ángulo se vuelve negativo y el haz de luz se baja.

Así que nuevamente unos motores eléctricos corrigen ligeramente hacia abajo, o ligeramente hacia arriba el faro, para mantener la altura del haz de luz.

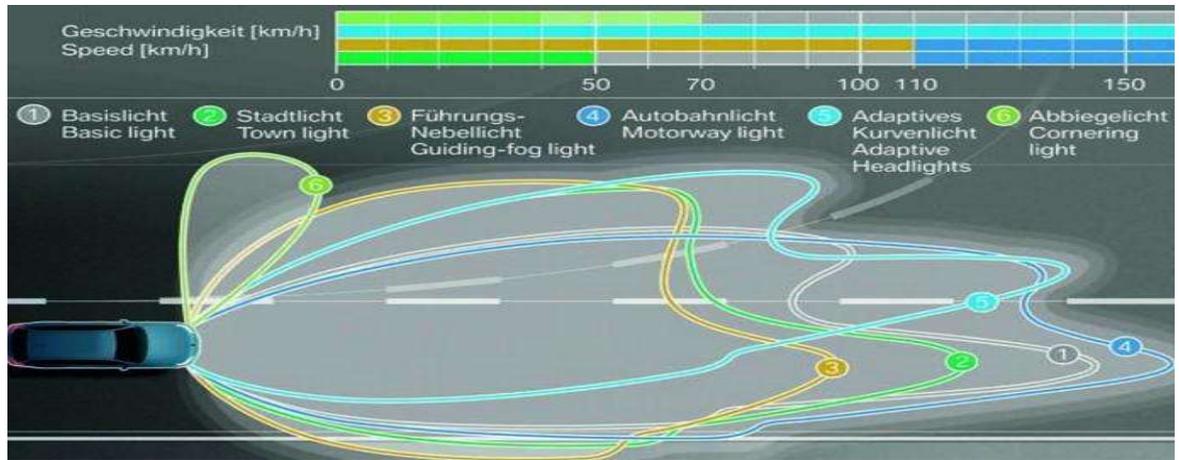


Fig._3. 10. Faros adaptables automáticos.

Otro sistema que se está implementando es el de luz de carretera largas automáticas, sabiendo la velocidad a la que circula el coche normalmente se ajusta a velocidades por encima de los 70 km/h, por lo que nuevamente un sensor de luminosidad permite saber al microprocesador si viene un vehículo en sentido contrario o si se acaba de adelantar detecta la luz de sus faros y opta por quitar las luces largas automáticamente para no deslumbrarse.

3.5 Sistema de iluminación trasera de un auto

La visibilidad por la noche hacia atrás de un vehículo es muy importante ya que son las que le indican a los conductores de los autos trasera qué acción llevará a cabo, éste sistema de iluminación cuenta con luces intermitentes, luces de frenado, marcha atrás y de emergencia [12].

La iluminación trasera de un auto se muestra en la fig._3.11.

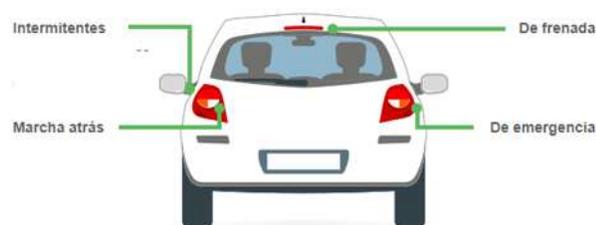


Fig._3. 11. Sistema de iluminación trasera de un auto.

3.5.1 Luces de posición trasera

A las luces de posición trasera sólo se les permite emitir luz roja, y deben conectarse a la vez que las delanteras, éstas pueden estar combinadas con las luces de freno o por separado, cuando se encuentran combinadas las lámparas producen una luz más brillante de color rojo para las luces de freno y una luz más suave para las luces de posición, éstas dos funciones pueden realizarse por separado o con bombillas de doble intensidad, fig._3.12.



Fig._3. 12. Iluminación de posición trasera de un auto.

3.5.2 Luces intermitentes

Indica al conductor de atrás los movimientos que se van a realizar en la vía, ya sea éste un giro antes de que éste se realice.

3.5.3 Luces de frenado

Cuando el conductor de un vehículo aplica frenos, en la parte trasera del vehículo se conectan unos pilotos que emiten una luz roja brillante, es obligatorio su montaje simétricamente, cuenta con una tercera luz de freno, la cual ésta proporciona información a los conductores con mayor anterioridad que justo al siguiente, ya que este bloquea la visión a los demás de las luces de freno principales, también ayuda a distinguir los mensajes de las luces de freno y los intermitentes, ya que son idénticas al igual que puede ser una señal redundante de freno en caso de que las principales fallen.

La iluminación de frenado trasera en la fig._3.13.



Fig._3. 13. Iluminación de frenado trasera de un auto.

3.5.4 Luces de marcha atrás

Cuando se aplica la marcha atrás se advierte a los conductores o a quiénes se encuentren cerca del vehículo de que éste va a circular al revés de su sentido normal y aumentar la visibilidad del conductor, los vehículos deben estar equipados con pilotos que emitan luz blanca, fig._3.14.



Fig._3. 14. Iluminación de marcha atrás.

3.5.5 Luces de emergencia

Mediante un interruptor se activan las cuatro intermitentes e indica una situación de emergencia, circulación densa o algún tipo de daño que impida circular de forma normal al vehículo, un vehículo muy lento, la presencia de tráfico inmóvil en una vía de alta velocidad, cuando hay extrema niebla o simplemente cuando su vehículo se convierte en peligro para el tráfico [10].

CAPITULO 4

IMPLEMENTACIÓN DE ILUMINACIÓN TRASERA DE UN AUTOMÓVIL CON FIBRA ÓPTICA

4.1 Introducción

En éste capítulo se realiza el procedimiento e instalación de las fibras ópticas adaptadas a una calavera trasera y delantera de un automóvil, en el cual se sustituye la iluminación original con fibras ópticas.

4.2 Tipos de fibras ópticas comerciales

Las fibras ópticas comerciales más usuales son:

- Multimodo FDDI Standard con un diámetro de núcleo de $62.5\mu\text{m}$, y el diámetro de la fibra de vidrio es de $125\mu\text{m}$, sobre la fibra aparece una cubierta acrílica protectora de $250\mu\text{m}$.
 - Es muy utilizada en redes de área local para especificaciones FDDI, FOIRL y Token-Ring. Las distancias locales de aplicación rondan entre 1 y 4 km.

- Multimodo con un diámetro de núcleo de $50\mu\text{m}$ y diámetro de la fibra de vidrio de $125\mu\text{m}$.
 - Tiene alta performance, con menor atenuación y mayor ancho de banda que la anterior, utilizada para distribución de vídeo y distancias moderadas, con un costo menor que la de $62.5/125\mu\text{m}$.
- Multimodo con un diámetro de núcleo de $100\mu\text{m}$ y diámetro de la fibra de vidrio de $140\mu\text{m}$.
 - Tiene bajo performance, con mayor atenuación y menor ancho de banda, se utiliza para capturar más luz de fuentes lumínicas de bajo costo, se usan mayormente en dispositivos de automatización industrial, su costo es del doble de la $62.5/125\mu\text{m}$ [14].

4.2.1 Fibras ópticas para Comunicaciones

Una de las fibras ópticas comerciales para comunicaciones es la fibra multimodo de índice gradual cuyo nombre comercial es infiniCor SXi, del fabricante Corning, la cual está diseñada para soportar transmisiones en 850 nm de 10Gb/S en enlaces en 150m y tasa de 1GB/S y enlaces de 750m .

El perfil de su índice de refracción y la curva de atenuación con la longitud de onda se muestran en la fig._4.1 y 4.2.

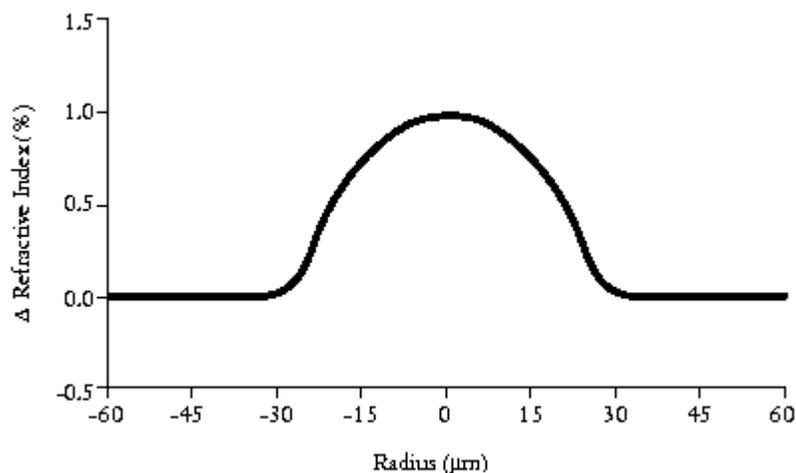


Fig._4. 1. Perfil de índice de refracción.

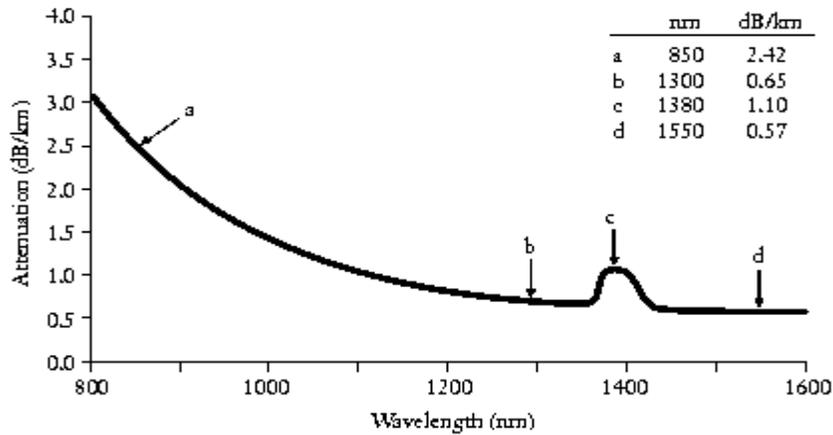


Fig._4. 2. Espectro de atenuación.

Características:

- Longitud de onda con dispersión nula entre 1300nm y 1320nm.
- Diámetro del núcleo de $50.0 \pm 3.0 \mu\text{m}$.
- Diámetro del revestimiento $125.0 \pm 2.0 \mu\text{m}$.
- No circulación del núcleo de $< 5\%$
- No circularidad del revestimiento $< 2\%$
- Apertura numérica (NA) de 0.2 ± 0.015
- Índice de refracción de grupo efectivo N_{eff} : 1.481 a 850nm y 1.476 a 1300nm.
- Dispersión cromática:

Zero dispersión de longitud de onda (Wavelength(λ_0)): $1300\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1320\text{nm}$.

Zero dispersión slope(S_0): $\leq 0.101\text{ps}/(\text{nm}^2) * (\text{km})$.

Dispersión $=D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \text{ps}/(\text{nm} * \text{km})$, para $750\text{nm} \leq \lambda \leq 1450\text{nm}$, $\lambda =$ longitud de onda(wavelength).

- Fibra monomodo SMF-28 (estándar Single fiber), del fabricante Corning (1310nm, 1550nm), con un diámetro de núcleo de $8.7 \mu\text{m}$ y un diámetro de revestimiento $125 \mu\text{m}$, apertura numérica 0.14.
 - Dispersión cromática:
 - Zero dispersión de longitud de onda (Wavelength(λ_0)): $1302\text{nm} \leq \lambda_0 \leq 1322\text{nm}$.
 - Zero dispersión slope(S_0): $\leq 0.092\text{ps}/(\text{nm}^2) * (\text{km})$.

Dispersión = $D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] ps/(nm * km)$, para $1200nm \leq \lambda \leq 1600nm$, λ = longitud de onda(wavelength) [13].

- Es la fibra óptica de mejor performance.
- Es utilizada en grandes distancias para telefonía y televisión por cable.
- En redes de área local o metropolitana es utilizada cuando se desea recorrer grandes distancias sin elementos repetidores.

En las fig._4.3 y 4.4, se muestra el perfil de su índice de refracción y la curva de atenuación con la longitud de onda.

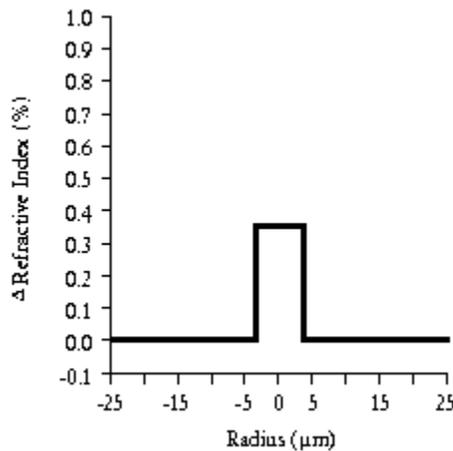


Fig._4. 3. Perfil de índice de refracción.

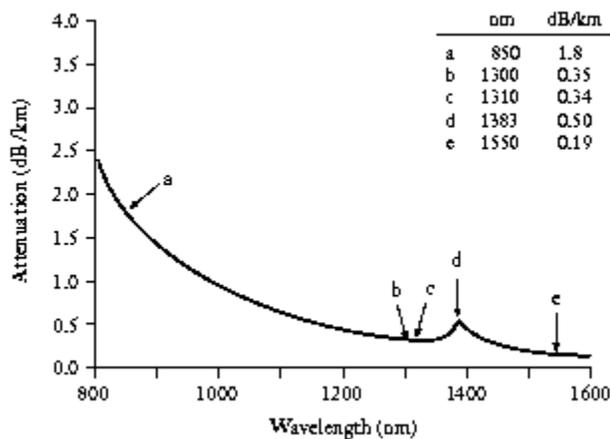


Fig._4. 4. Curva de atenuación y longitud de onda.

4.2.2 Fibras ópticas para iluminación

Para llevar a cabo éste prototipo de iluminación se utilizaron dos tipos de fibras ópticas, fibra óptica puntual y fibra óptica lateral, éstas tienen las siguientes características:

Fibra óptica puntual:

Se utiliza la PMMA POF(Polymethyl Methacrylate, Plastic Optica Fiber), color transparente , el rango de longitud de onda es de 390-760nm, con una apertura numérica (NA) de 0.5, una reducción de luz de 250 dB/km y una temperatura de almacenamiento de 20°C-50°C.

Fibra óptica lateral:

También es un PMMA PSOF-5(Núcleo sólido brillante fibra óptica), tiene un diámetro interior de 3mm y exterior de 5mm, color transparente, una temperatura de almacenamiento de -50 100°C, apertura numérica de 0.5, [17].

Ambas fibras son tipo mono-modo ya que sólo tienen dispersión directa reteniendo la fidelidad de cada pulso de luz y presentando menor atenuación por lo que se puede transmitir más información en menos tiempo.

4.3 Prototipo de iluminación trasera

4.3.1 Tipos de calaveras

La palabra calavera se refiere al conjunto de micas de las luces auxiliares de un auto que incluyen las luces nocturnas auxiliares (rojas atrás y amarillas adelante), luces direccionales (rojas o amarillas), luces de reversa (blancas), luces de frenos (rojas) y luces intermitentes (rojas o amarillas), para diferenciarlas de las luces laterales, ubicadas al costado de los vehículos cuando éstas se encuentran separadas de las calaveras y que son generalmente amarillas en la parte anterior y rojas en la posterior.

Algunos tipos de calaveras traseras de un auto son:

- Halógenas, éstas calaveras tienen la ventaja de ser baratas ya que su sistema de iluminación consiste en una bombilla que se puede extraer y reemplazar fácilmente si se daña, pero tiene la desventaja de que únicamente ilumina a distancias cortas, si se viaja de noche puede ser peligroso, ya que no tiene una alta intensidad, éste tipo de iluminación se muestra en la Fig._4.5 y 4.6.



Fig._4. 5. Luces halógenas en calavera de un auto mazda.



Fig._4. 6. Luces halógenas en calavera de un auto ford.

- Incandescentes, este tipo de iluminación también es muy barato, las luces halógenas son la competencia ya que ambas son de bajo costo, pero la desventaja de éste sistema es que son poco eficientes ya que el 90% de la electricidad que consume se transforma en calor y el 10% en luz, por lo que también sólo alcanza a iluminar a cortas distancias, se muestra en la Fig. 4.7 y 4.8.



Fig. 4. 7. Luces incandescentes en calavera de un auto Kia.



Fig. 4. 8. Luces incandescentes en calavera de un auto Kia.

- Xenón, este sistema de iluminación alumbra el doble de la halógena, alcanza distancias más largas, pero la desventaja de éste sistema es que es muy complejo ya que está formado por un tubo lleno de gas y sólo una persona especializada puede arreglarlo en caso de que éste se descomponga, éste tipo de luces se muestra en la Fig. 4.9 y 4.10.



Fig._4. 9. Luces xenón en calavera de un jetta clásico.



Fig._4. 10. Luces xenón en calavera de un jetta A5.

- Led's, este sistema de iluminación hasta hoy en día es el mejor, lo más nuevo en el mercado y por lo tanto el más costoso, ya que está conformado por un conjunto de diodos led's de alta intensidad en serie y por lo tanto alcanza distancias muy largas, pero una de las desventajas es que consumen mucha energía y alcanzan altas temperaturas tomando en cuenta que se está hablando de electrónica, en la Fig._4.11 y 4.12, se muestra su alta luminosidad.



Fig._4. 11. Luces led's en calavera de un auto jetta Mk6.



Fig._4. 12. Luces led's en calavera de un auto Tsuru.

4.3.2 Prototipo de calavera

Para el prototipo del montaje de iluminación se utilizó una calavera de la marca Nissan pick up D-21, iluminada con luces incandescentes, las cuales serán sustituidas por fibras ópticas, la fibra óptica está alimentada con diodos led's de alta intensidad, para que la iluminación sea intensa.

En la Fig._4.13,4.14 y 4.15, se muestra el diseño, donde se remplazarán las bombillas con fibra óptica.



Fig._4. 13. Calavera marca Nissan.



Fig._4. 14. Calavera marca Nissan con luces incandescentes por medio de bombillas.

En la Fig._4.15 se muestra la calavera del prototipo iluminada para ver la diferencia entre el montaje de fibra óptica que se le aplicará.

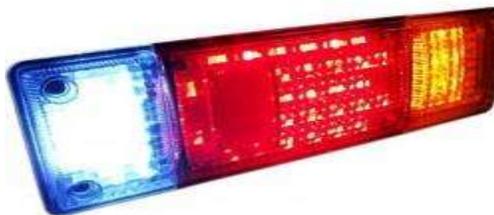


Fig._4. 15. Calavera marca Nissan con luces leds.

4.3.3 Fuente de luz

La fuente principal de luz que se conecta en la fibra son leds de alta intensidad.

Como se sabe los leds son componentes electrónicos que permiten el paso de la corriente ya que se comporta como un interruptor cerrado que polarizado directamente emite luz, en sentido contrario no dejan pasar la corriente comportándose éste como un interruptor abierto.

Características de un diodo led normal:

Los diodos leds trabajan a tensiones de 2v, con una corriente entre 5 y 10 mA cuando se trata de una intensidad media y 20mA con una intensidad máxima.

Un diodo led por dentro se muestra en la Fig._4.16, así como las partes que lo conforman.

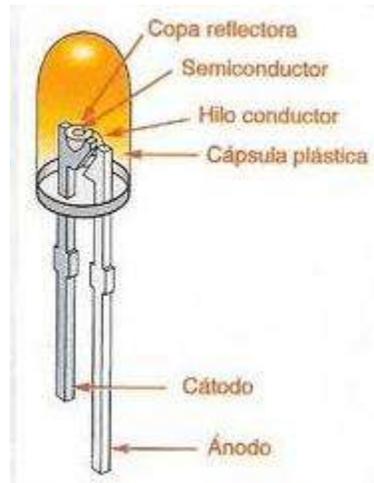


Fig._4. 16. Partes que conforman un diodo led por dentro.



Fig._4. 17. Símbolo del diodo led.[15]

4.3.4 Leds aplicados a los faros de un automóvil

Eligen éste tipo de leds para los faros de un auto ya que el tiempo que transcurre cuando el led empieza a encenderse y comienza a emitir luz al 100% de su capacidad es muy bajo, prácticamente inapreciable, éste tiempo es mínimo si se compara con la inercia lumínica de los faros halógenos o los de xenón. Los leds cuentan con la característica de consumir muy poca energía en relación con la cantidad de luz emitida.

Para la iluminación de un coche se necesita una fuente de luz muy potente. Pero los leds presentan algunos problemas como los siguientes:

- Uno de los problemas que presentan los leds es que a pesar de ser muy eficientes, emiten poca cantidad de luz, por lo que para automoción se utilizan grupos de leds de alta potencia evitando los más grandes ya que requieren un sistema adicional de refrigeración por disipadores.
- Otro de los problemas de los leds es que no existen nada más leds experimentales que emiten luz blanca, como se desea en la automoción, se utilizan leds con elementos fosforescentes amarillos que convierten la luz ultravioleta o azul en luz blanca, esto hace que los leds tengan algún matiz perceptible en colores azulados, aunque la luz es predominantemente blanca.

Los faros de leds llevan integrado un sistema de gestión electrónica lo cual es el encargado de controlar las funciones y alimentación del faro.



Fig._4. 18. Led que equipa el faro de un automóvil.

4.3.5 Led de alta intensidad

Este tipo de leds son alimentados directamente por una energía eléctrica, dependiendo de su capacidad de operación, puede ser alta o baja, los leds de alta potencia más utilizados son 1W, aunque actualmente existen de 3W, 5, 10, 20 y 30W. las principales características de un led de alta potencia de 1 W, son las siguientes:

- Semiconductor de flujo luminoso con terminales exteriores para alimentación del cátodo (+) y ánodo (-) .
- Encapsulado de silicón que cubre el semiconductor emisor.
- Vida promedio de 50,000 hrs.
- Corriente de operación de 350mA.
- Voltaje de operación de 3 a 5 V de corriente directa.
- Mantenimiento del flujo luminoso del 75%
- Bajas pérdidas por disipación de calor.
- Temperatura de operación de 35 a 60 °C
- Angulo de apertura de 120°
- Encapsulado transparente.

Su imagen se presenta en la fig._4.19.



Fig._4. 19. Led de alta intensidad, 1W.

4.4 Circuito Eléctrico para la alimentación de las fibras

Se utilizó el circuito de la Fig._4.20., para alimentar la fibra óptica con un voltaje de 10 V de CD, cada led trabaja con 1.3V a 350mA, se utiliza un push button que funciona para aplicar el frenado y dos resistencias de 330Ω para proteger al conjunto de led's.

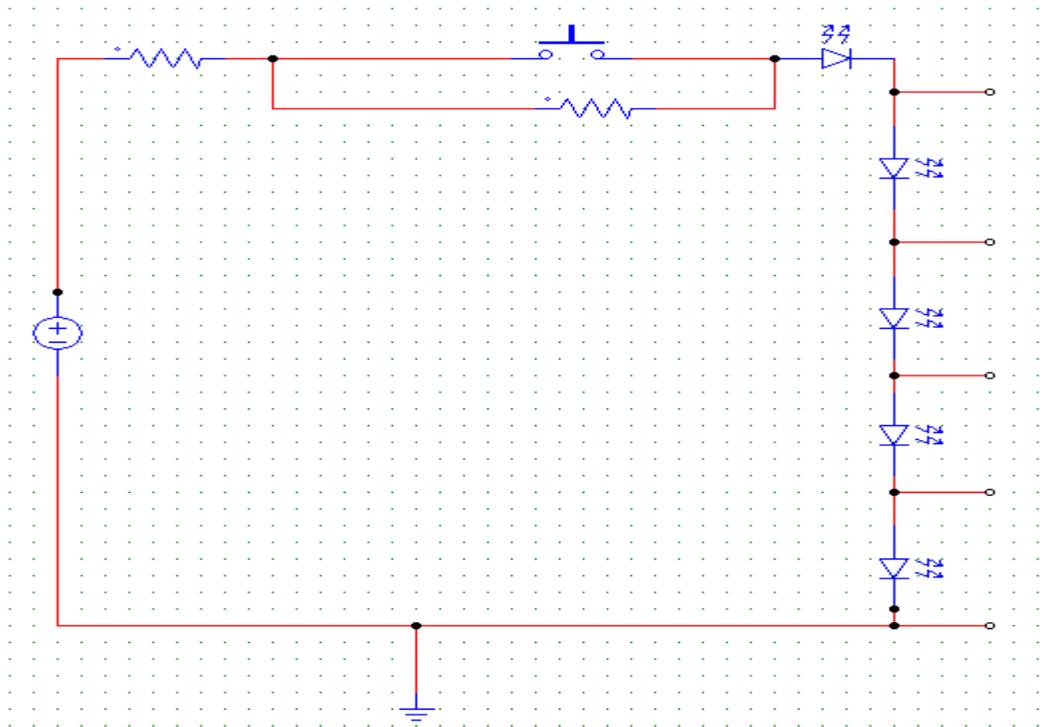


Fig._4.20. Circuito eléctrico utilizado como fuente de luz para la fibra óptica.

4.4.1 Montaje de fibras

En la fig._4.21 se muestra el montaje de las fibras en la calavera, se está utilizando la fibra óptica puntual para obtener el resultado deseado, ya que se está buscando una alta iluminación por medio de fibra óptica, utilizando pocos led's y poca energía.



Fig._4.21. Montaje de fibras en la calavera trasera de un auto.

4.4.2 Prueba de iluminación

En la Fig._4.22 y 4.23 se muestra la prueba de iluminación de la calavera con fibra óptica, en la Fig._4.22 se muestra sin aplicar freno, en la Fig._4.23 se aplica freno, se utilizan únicamente 3 led's en la fibra puntual y dos led's en donde se aplica la fibra lateral.

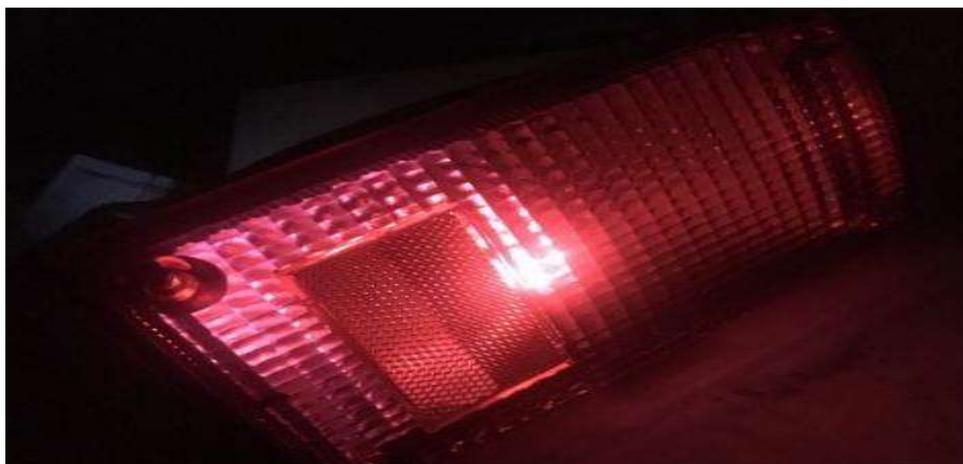


Fig._4.22. Iluminación sin aplicar freno.



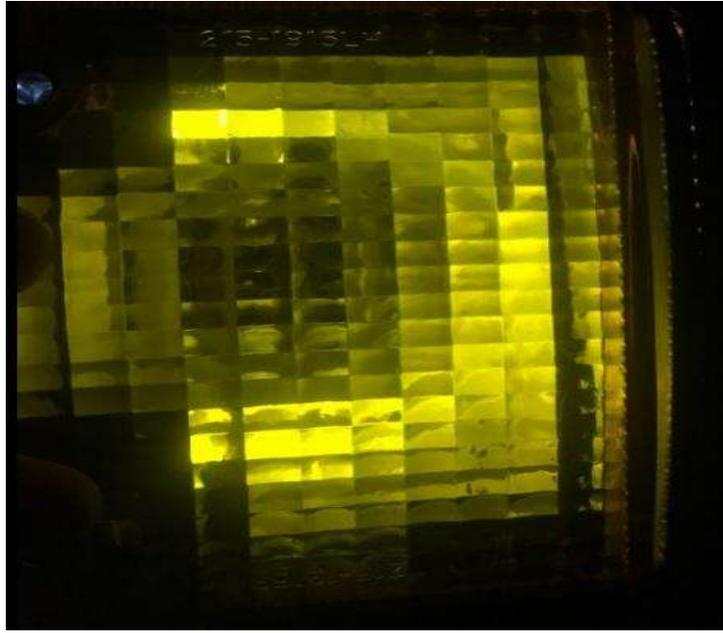
Fig._4.23. Iluminación aplicando freno.

En la Fig._4.24., se utiliza únicamente un led de punta a punta para ahorrar energía y por lo tanto también sea de bajo costo.



Fig._4.24. Iluminación

En la fig._4.25. Se están utilizando led's de color para ver cuál es la mejora en la iluminación, por lo que también son de más bajo costo que los led's de alta intensidad y también son los que se utilizan como intermitentes .



Fig_4.25. Intermitentes

CAPITULO 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones a las que se ha llegado en este prototipo de sistema de iluminación para autos.

En primer lugar, comentar que se busca innovar en la tecnología. Como anteriormente ya se ha comentado, hasta hoy en día, se tienen sistemas de iluminación de alto costo y utilizan mucha energía. Con éste proyecto se busca que el sistema sea de bajo costo, así como también se tienen otras ventajas:

1. Permiten gran ahorro de energía, al utilizar un sistema de iluminación por medio de fibras ópticas. No es necesario utilizar un conjunto de 25 led's para obtener una alta intensidad en luminosidad, basta utilizar de 5 a 8 led's, en este caso se están utilizando 5 led's.
2. La instalación es muy fácil, completamente segura y rápida.
3. Es libre de corriente, no conduce rayos ultravioletas, ni infrarrojos, lo que resulta ser una iluminación más sana tanto para la vista como para el cuerpo humano.

La principal desventaja de éste sistema de iluminación es que si no se utiliza el material adecuado para conducir la luz hacia la fibra óptica se tendrá una gran pérdida de iluminación.

Para elegir la cantidad de leds que se utilizaron en éste prototipo se hicieron varias pruebas y en base a éste criterio se eligió.

5.2 Recomendaciones

Para llevar a cabo este prototipo, se requiere principalmente adaptarle las fibras ópticas adecuadas al sistema con led's de alta intensidad para utilizar pocos y buscar el medio de propagación adecuado para que no se tengan pérdidas de luz y no haya contacto físico directo, de tal manera que el cable de la fibra óptica tome la luz y la conduzca hasta el lugar deseado sin transportar calor, ni gases.

Para el circuito que se implementa donde se conectan los led's se recomienda hacer una pequeña caja donde se pueda guardar y por medio de pequeños agujeros se saque el cableado donde se conectará la fibra óptica.

Bibliografía

- [1]. Notas, Dr Gilberto González Ávalos, 2014.
- [2]. [https://www.google.com.mx/cable auto soportado](https://www.google.com.mx/cable%20auto%20soportado).
- [3]. <https://www.google.com.mx/cables submarino>.
- [4]. [https://www.google.com.mx/cable OPGW de fibras ópticas](https://www.google.com.mx/cable%20OPGW%20de%20fibras%20%C3%B3pticas).
- [5]. fundamentos de fibra óptica: Blog de fibra óptica y redes del CIFP tartanga, Santiago Fernández del IES.
- [6]. [www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/fibras ópticas](http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/fibras%C3%B3pticas), electrónica opteca.
- [7]. propiedades de la luz: <http://www.aitanatp.com/nivel6/luz/propied.htm>.
- [8]. https://www.ecured.cu/Transporte_con_tracci%C3%B3n_animal.
- [9]. <https://www.xataka.com/automovil/sistemas-de-iluminacion-avanzados-en-coches>.
- [10]. https://es.wikipedia.org/wiki/Iluminaci%C3%B3n_automotriz.
- [11]. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=830>.
- [12]. <https://www.race.es/motor/tecnologia/conoce-los-diferentes-tipos-de-iluminacion>.
- [13]. http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_1_2.htm.
- [14]. <https://www.google.com.mx/fibras+opticas+comerciales+para+comunicacion>
[es&source](https://www.google.com.mx/fibras+opticas+comerciales+para+comunicacion&source).
- [15]. <http://www.areatecnologia.com/electronica/como-es-un-led.html>.
- [16]. <https://www.motorpasion.com/tecnologia/faros-de-led-que-son-y-como-funcionan>.
- [17]. PMMA POF. Microchem.com/pdf/PMMA_Data_sheet.pdf.