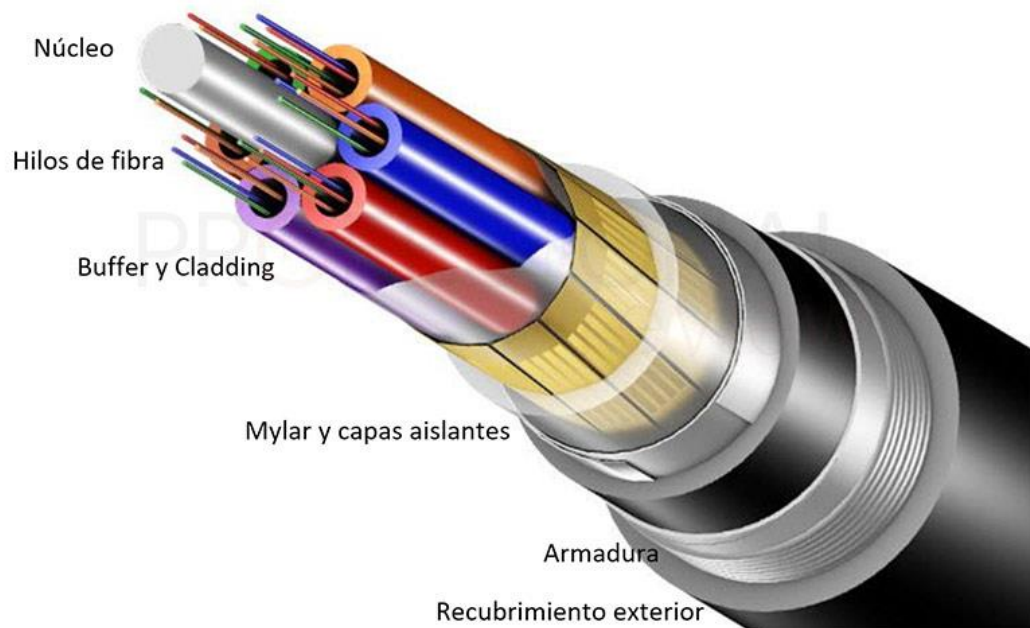


Comunicaciones Ópticas

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS



NOMBRES:

- Ashqui Balseca Michelle Ivette
- Coello Ibáñez Antony Josue
- Gavilanez Jimenez Marlon Abel
- Manobanda Jimenez Kevin Andres
- Valverde Sanchez Edwin David
- Vargas Zambrano Kleber Santiago

1. Introducción

1.1. Historia

1.2. Espectro Electromagnético

1.3. Elementos básicos constitutivos de un sistema de fibra óptica

1.4. Ventanas de operación

1.5. Ventajas y desventajas de la fibra óptica

1.6. Comparación con otros medios de transmisión

1.7. Aplicaciones generales de las fibras ópticas

1.7.1. Aplicaciones en CATV

1.7.2. Interconexión de redes corporativas

1.7.3. Aplicaciones industriales

1.8. Principio físico de la propagación

1.8.1. Índice de refracción

1.8.2. Ley de Snell

1.8.3. Ángulo crítico

1.8.4. Cono de aceptación

1.8.5. Apertura numérica (NA)

1.9. Parámetros de pérdidas en una fibra ópticas

1.9.1. Atenuación

1.9.2. Dispersión

1.10. Factor de calidad o mérito de la fibra óptica

1. INTRODUCCIÓN

Introducción

Un sistema de comunicación óptica es aquel que emplea haces de luz como medio para transmitir información. Debido a las dificultades y limitaciones de propagar ondas de luz a través de la atmósfera terrestre, provocadas por la absorción y atenuación de las señales de frecuencia luminosa debido al vapor de agua, el oxígeno y las partículas en el aire, estos sistemas hacen uso de fibras ópticas de vidrio o plástico para confinar y guiar dichas ondas de luz.

La capacidad de transmisión de información en un sistema de comunicación está directamente relacionada con su ancho de banda. Por ejemplo, un sistema de comunicación de radio VHF opera en una frecuencia portadora de 100 MHz con un ancho de banda de 10 MHz, lo que resulta en una tasa de utilización de ancho de banda del 10%. En contraste, un sistema de microondas puede disponer de 1 GHz de ancho de banda, lo que implica una capacidad mayor. En el caso de los sistemas de comunicación por fibra óptica, las frecuencias se sitúan entre 1×10^{14} y 4×10^{14} Hz, lo cual indicaría una banda de entre 10,000 y 40,000 GHz para una tasa de utilización del ancho de banda del 10%. [1]

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=jxn3w4Ja8p4>

1.1. Historia:

La historia de la comunicación a través de la fibra óptica es relativamente breve. En 1977, se implementó un sistema de prueba en Inglaterra, y en tan solo dos años, ya se recibían pedidos significativos de este material. Previo a esto, en 1959, como resultado de los avances en estudios de física enfocados en la óptica, se descubrió una nueva aplicación de la luz conocida como el rayo láser, el cual fue utilizado en las telecomunicaciones con el propósito de transmitir mensajes a velocidades sorprendentes y con una amplia cobertura. Sin embargo, esta utilización del láser estaba limitada debido a la falta de conductos y canales adecuados para transmitir las ondas electromagnéticas generadas por el haz de fotones provenientes de la fuente láser. Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos hacia la creación de un conducto o canal, conocido hoy en día como fibra óptica. En 1966, surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación. [2]

En poco más de diez años, la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas utilizadas como medio de transmisión de información. Este material innovador ha revolucionado los procesos de las telecomunicaciones en múltiples aspectos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y reducir en gran medida los ruidos e interferencias, hasta multiplicar las formas de envío y recepción de comunicaciones telefónicas. [2]

HISTORIA DE LA FIBRA ÓPTICA

Bell experimento con un aparato que llamó fotófono, era un dispositivo formado por espejos y detectores de selenio que transmitía ondas sonoras sobre un rayo de luz.

A.C. S. Van Hell de Holanda y Hopkins y Kapany de Inglaterra experimentaron con tx de luz a través de haces en fibra.

Se invento el láser.
(Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación).

Kapron, Keck y Maurer de Corning Glass Works en Corning, New York desarrollaron una fibra óptica con una pérdida menores a 20 dB/Km.

Inicios con SDH es posible transmitir a velocidades de Gbit/s y con atenuaciones de 0.2 dB/Km.

Las redes 100% ópticas incluyen transporte y conmutación a nivel de longitud de onda.

1880

1930

1951

1958

1960

1967

1970

1988

1990

1999

2000

J. L. Baird y C. W. Hansel de EE. UU., obtuvieron patentes para tx imágenes de televisión a través de cables de fibra óptica no recubierta.

Charles Twones, y Arthur Schalow presentaron un trabajo donde se describía como era posible usar emisión estimulada para amplificar las ondas luminosas (laser).

Kao y Bockman propusieron un medio de comunicaciones, usando cables de fibra revestida.

NEC Corporation realiza una tx a gran distancia, al enviar 10 Gbits/ con 80.1 Km de fibra óptica.

Se anuncia el mux capaz de transmitir 1.28 Tbps sobre una FO empleando tecnología WDM.

1.2. Espectro Electromagnético

Definición

“En el campo de la óptica es común hablar de Longitud de onda y no de frecuencia, la longitud de onda es la distancia que ocupa en el espacio un ciclo de una onda electromagnética, ésta depende de la frecuencia de la onda y de la velocidad de la luz. La relación matemática es:”

$$\lambda = c/f$$

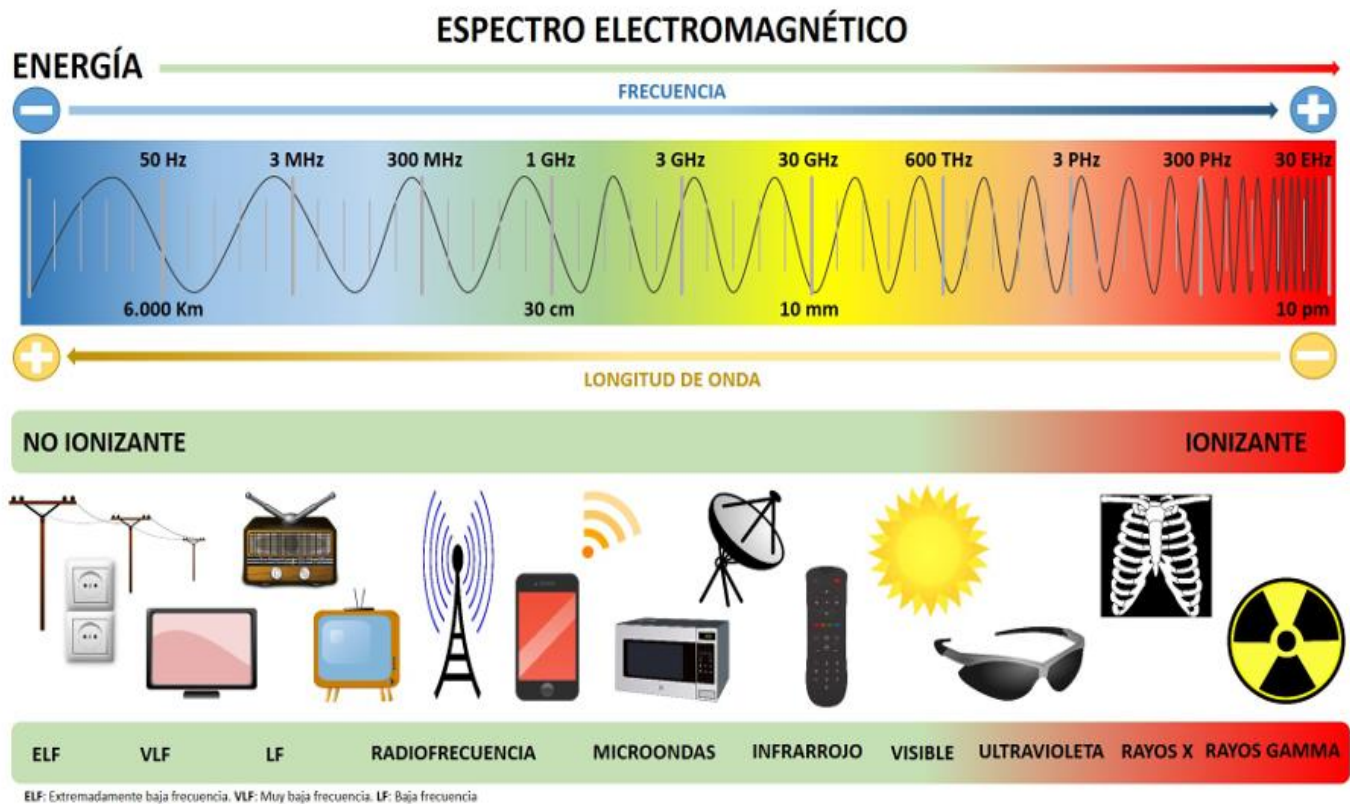
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

λ = longitud de onda.

c = velocidad de la luz (3000.000.000 metros por segundo).

f = Frecuencia Hertz.

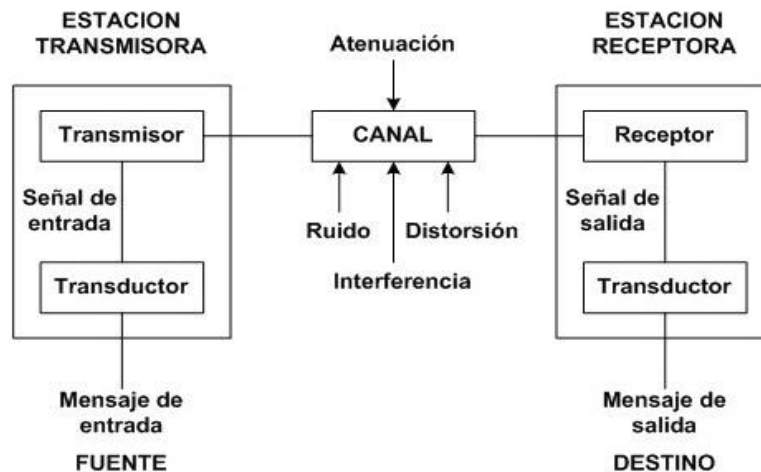


El espectro se puede dividir en tres bandas generales:

- 1. INFRARROJO:** Banda de longitudes de onda de luz demasiado grandes para que las vea el ojo humano.
- 2. VISIBLE:** Banda de longitudes de onda de luz a las responde el ojo humano.
- 3. ULTRAVIOLETA:** Bandas de longitud de onda de luz que son demasiado cortas para que las vea el ojo humano.

1.3. Elementos básicos constitutivos de un sistema de fibra óptica

Diagrama en bloques de un sistema de comunicaciones:



Características Principales

Los sistemas de fibra óptica están diseñados con fibras separadas para la Tx y la Rx.

El transmisor puede emplear o un diodo emisor de luz (LED=Ligth Emisor Diode) o un láser como elemento de salida

Los láseres presentan una mayor ganancia del sistema que los diodos LED debido a su mayor potencia de salida y a un mejor acoplamiento de la señal luminosa dentro de la fibra.

En aplicaciones donde la ganancia del sistema no es un factor importante, el ahorro en el costo puede ser un factor determinante en la elección de los diodos LED como transmisores.

El cable de fibra óptica se acopla al transmisor a través de un conector de precisión. La mayor parte de los sistemas por fibra óptica utilizan modulación digital.

El receptor consiste en un diodo PIN o un APD, que se acopla a la fibra óptica.

El diodo convierte los impulsos de luz en impulsos eléctricos, denominándoseles convertidor opto-eléctrico (O/E).

los convertidores O/E y E/O sean componentes indispensables en un repetidor óptico. El amplificador e igualador de la señal eléctrica son similares en los sistemas de transmisión convencionales.

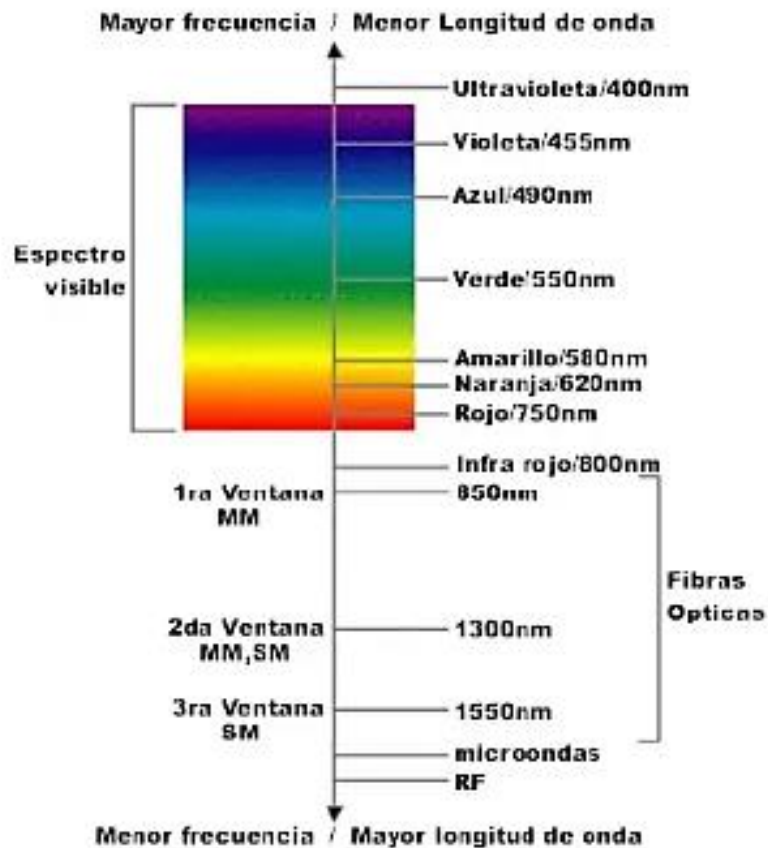
Los regeneradores son dispositivos electrónicos capaces de recoger la señal amplificarla y volver a transmitirla con diferente frecuencia o longitud de onda.

Los sistemas por fibra óptica aceptan a su entrada señales digitales normalizadas, pero cada fabricante desarrolla su propia velocidad de la señal de salida.

Los bits de protección contra errores y de los códigos de línea se insertan para mantener la sincronización y supervisar la probabilidad de errores BER, de tal forma que se determine el momento adecuado para utilizar el canal de reserva.

1.4. Ventanas de operación

La Ventana de Operación se refiere a la elección de la Longitud de Onda (λ) para la transmisión a través de fibras ópticas. Para este propósito, se utilizan longitudes de onda que se encuentran en la parte del espectro cercana al infrarrojo, ligeramente por encima del rango visible y, por lo tanto, no detectables a simple vista. Las longitudes de onda comunes para la transmisión óptica son 850 nm, 1310 nm y 1550 nm. [3]



	ventana	Longitud de onda operativa
Primera ventana	800 – 900 nm	850 nm
Segunda ventana	1250 – 1350 nm	1310 nm
Tercera ventana	1500 – 1600 nm	1550 nm

Tanto los láseres como los LEDs se utilizan para transmitir luz a través de la fibra óptica. Los láseres se usan generalmente para aplicaciones monomodo de 1310 o 1550 nm. Los LEDs se utilizan para aplicaciones multimodo de 850 o 1300nm. [3]

1.5. Ventajas y desventajas de la fibra óptica

VENTAJAS

- La fibra óptica posibilita una velocidad de navegación en Internet de dos millones de bits por segundo (bps).
- Proporciona acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día, sin congestiones.
- Video y sonido en tiempo real.
- Fácil de instalar.
- Es resistente al ruido y las interferencias, a diferencia de los cables telefónicos que pueden perder señal.
- Las fibras ópticas no sufren pérdidas de luz, lo que garantiza una transmisión segura y sin interrupciones.
- No hay señales eléctricas en las fibras, lo que elimina riesgos de descargas eléctricas u otros peligros, haciéndolas aptas para entornos explosivos.
- Tienen dimensiones más compactas que los medios de comunicación previos.
- El peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de los cables metálicos, capaz de llevar un gran número de señales.
- Los materiales necesarios para fabricar fibras ópticas son abundantes en la naturaleza.
- Compatibilidad con la tecnología digital.

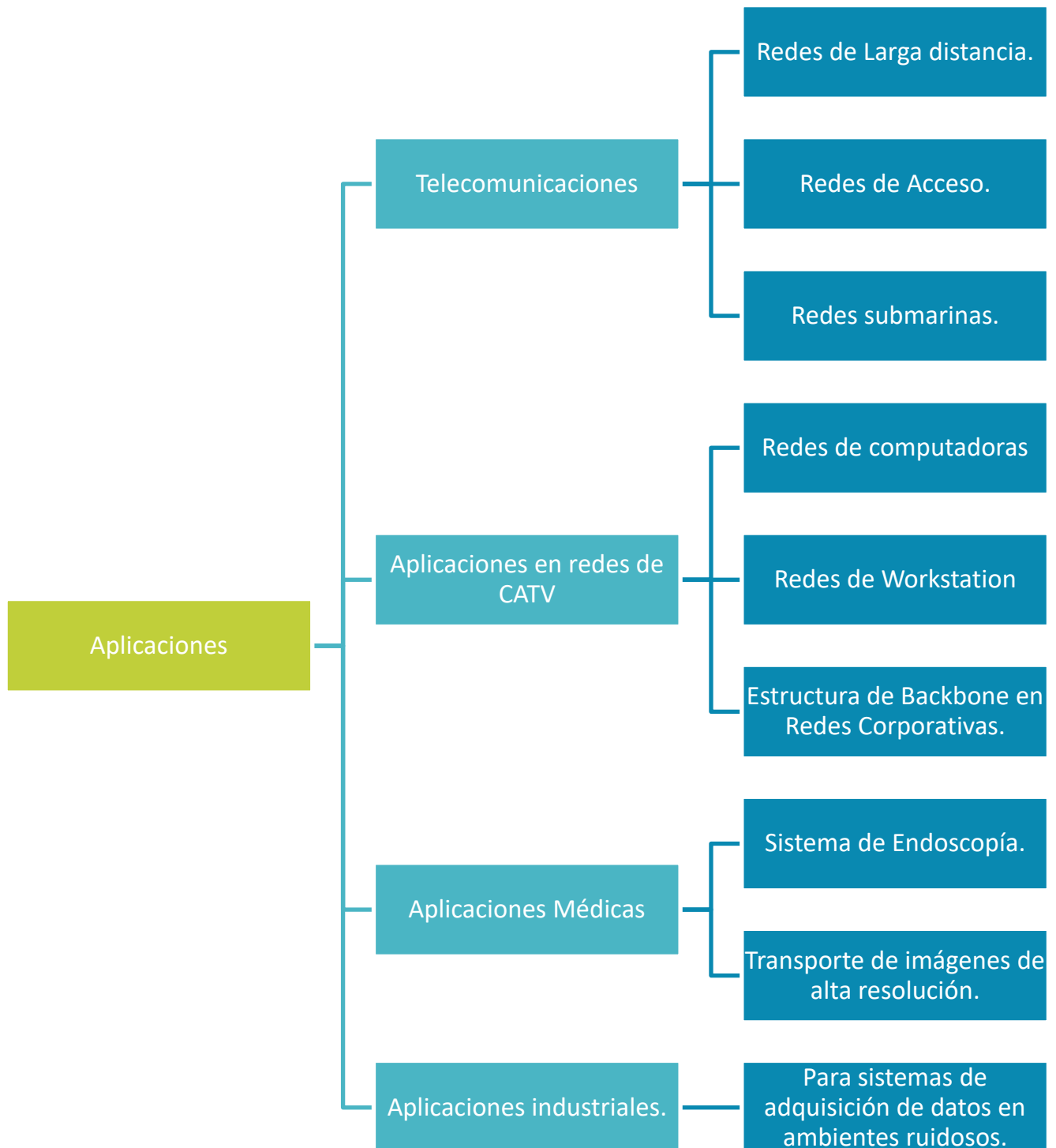
DESVENTAJAS

- Los sistemas de transmisión basados en fibras ópticas implican un mayor costo económico.
- Los conectores utilizados en cables de fibra óptica son más costosos en comparación con los usados en cables metálicos.
- El costo beneficio de los sistemas de fibra óptica puede ser favorable dependiendo de la distancia y el ancho de banda requeridos.
- La canalización de redes de larga distancia a través de fibras ópticas presenta ciertas complicaciones.
- Su manejo exige capacitación para el personal.
- Aunque las fibras ópticas tienen ventajas, todavía queda un largo camino antes de que reemplacen por completo al cobre.
- Son más sensibles a las curvaturas.
- La reparación de un cable de fibra óptica roto en el campo puede ser complicada.

1.6. Comparación con otros medios de transmisión

	Distancias repetidoras	Punto a punto	Costo instalación	Vida Útil	Efectos climáticos	Movilidad	Operación	Capacidad
<i>Radiodifusión</i>	repetidores locales	punto a multipunto	moderado	Larga	no mucho	posible	moderada	baja
<i>Satélite</i>	Solo uno (el satélite)	Ambos	Alto	limitada	si	muy amplia	alto	media
<i>Coaxial</i>	corta 2-10 km	punto a punto	alto	larga	larga no mucha humedad	nula	moderada	media
<i>Microondas</i>	media 25 a 50km	punto a punto	depende del terreno	larga	si lluvias	nula	moderada	media alta
<i>Fibras Ópticas</i>	hasta 600km	punto a punto	alto	larga	nulos	nula	moderada	alta muy alta

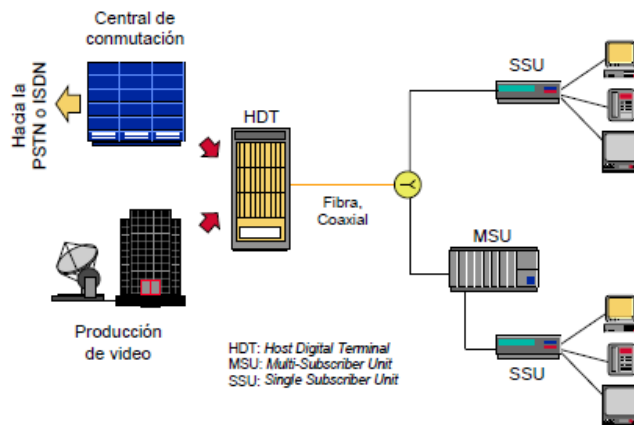
1.7. Aplicaciones generales de las fibras ópticas



Video: <https://www.youtube.com/watch?v=JrgFqr0eY4E>

1.7.1. Aplicaciones en CATV

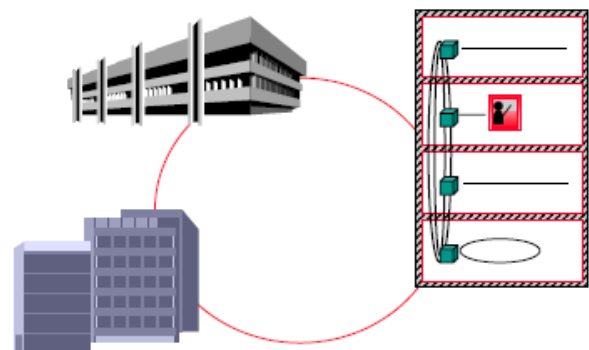
Red de CATV con FO.



1.7.2. Interconexión de redes corporativas

Red Corporativa con FO.

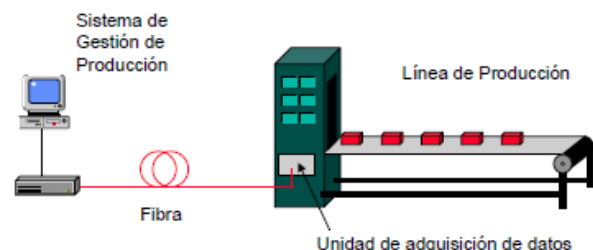
- La fibra permite que la red corporativa cubra un área mayor, este es el concepto de “BACKBONE” o columna vertebral.
- Además, es posible tener la FO hasta el usuario.



1.7.3. Aplicaciones industriales

Sistema de Gestión de Producción usando FO.

- El enlace óptico se emplea para llevar la información de la unidad de adquisición a la sala de control. Sea aprovecha aquí la inmunidad al ruido ofrecida por la fibra.



1.8. Principio físico de la propagación

La luz se mueve a la velocidad de la luz en el vacío, sin embargo, cuando se propaga por cualquier otro medio, la velocidad es menor.

Cuando la luz pasa de propagarse por un cierto medio a propagarse por otro determinado medio, su velocidad cambia, sufriendo además efectos de reflexión (la luz rebota en el cambio de medio, como la luz reflejada en los cristales).

Refracción, la luz, cambia el módulo de su velocidad, cambia de dirección de propagación, por eso vemos una cuchara como doblada cuando está en un vaso de agua.

Dependiendo de la velocidad con que se propague la luz en un medio o material, se le asigna un Índice de Refracción "n"

Los efectos de reflexión y refracción que se dan en la frontera entre dos medios dependen de sus Índices de Refracción.

La propagación se realiza cuando un rayo de luz ingresa al núcleo de la fibra óptica y dentro de él se producen sucesivas reflexiones en la superficie de separación núcleo revestimiento.

La condición más importante para que la fibra óptica pueda confinar la luz en el núcleo y guiarla es:
 $n_1 > n_2$

1.8.1. Índice de refracción:

“El índice refractivo es una medida que representa la relación entre la velocidad de propagación de un rayo de luz en el vacío y la velocidad de propagación de dicho rayo en un material particular. Desde una perspectiva matemática, el índice refractivo se expresa como:”

$$n = \frac{c}{v}$$

Donde:

c = velocidad de la luz en el espacio libre (300, 000,000 m/s).

v = velocidad de la luz en un material específico

Índices de refracción de varios materiales se indican en la siguiente tabla:

MATERIAL	Índice de refracción
Vacío	1
Aire	1,0003
Agua	1.33
Hielo	1.32
Diamante	2,42
Alcohol etílico	1.36
Cuarzo fundido	1.46
Vidrio óptico	1,5
Cuarzo (SiO ₂)	1,54
Silicio	3,4

1.8.1. Ley de Snell:

Cuando un rayo de luz pasa de un medio con un índice de refracción n_1 a otro medio con un índice de refracción n_2 , experimenta un cambio en su dirección. Este cambio está determinado por los ángulos de incidencia y refracción, representados por θ_1 y θ_2 , respectivamente, en relación con la normal de la superficie. La ley de Snell establece una relación matemática que relaciona estos elementos.

$$n_1 \sen \theta_1 = n_2 \sen \theta_2$$

en donde:

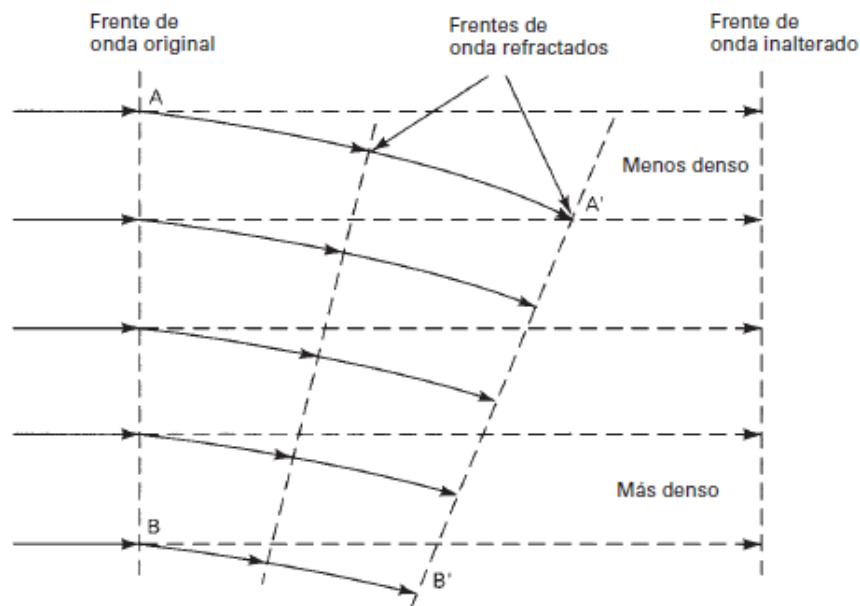
n_1 = índice de refracción del material 1

n_2 = índice de refracción del material 2

θ_1 = ángulo de incidencia (grados)

θ_2 = ángulo de refracción (grados)

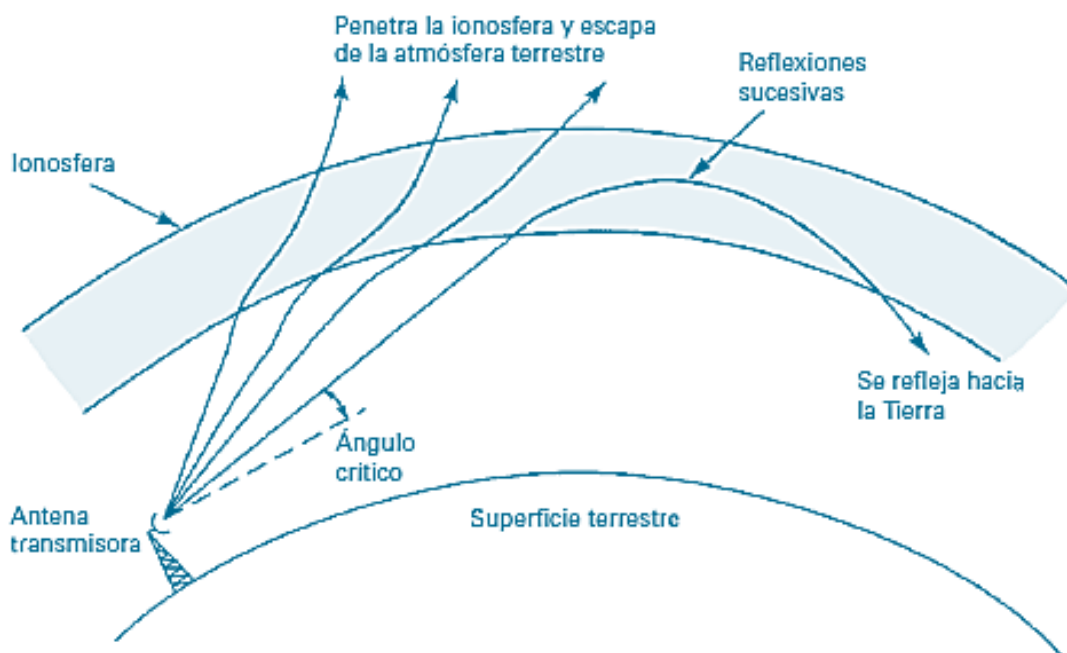
Refracción de un frente de onda en un medio con gradiente



1.8.3. Ángulo crítico:

Prácticamente, la ionosfera tiene un impacto insignificante en las frecuencias superiores a las UHF debido a que las ondas son extremadamente cortas. Las distancias entre los iones en la ionosfera son mucho mayores que las longitudes de onda de estas frecuencias, lo que permite que las ondas electromagnéticas atraviesen la ionosfera con pocos efectos notorios. Por lo tanto, existe un límite superior en las frecuencias que se propagan como ondas celestes. Esta frecuencia crítica (f_c) se define como la máxima frecuencia que puede propagarse directamente hacia arriba y ser reflejada por la ionosfera hacia la Tierra. La frecuencia crítica depende de la densidad de ionización, por lo que varía a lo largo del día y las estaciones. Si se reduce el ángulo de incidencia vertical, las frecuencias iguales o superiores a la frecuencia crítica pueden reflejarse hacia la superficie terrestre, ya que recorren una mayor distancia en la ionosfera y, por lo tanto, tienen más tiempo para refractarse. [1]

Así, la frecuencia crítica sólo se usa como punto de referencia para fines de comparación. Sin embargo, cada frecuencia tiene un ángulo vertical máximo al cual se puede propagar y seguir reflejándose por la ionosfera. Ese ángulo se llama ángulo crítico. El ángulo crítico, θ_c , se ilustra en la figura [1]:



Si el ángulo de refracción es menor que 90° , el rayo no podrá penetrar en el material con índice n_2 , sino que se observará una reflexión total donde el ángulo incidente será igual al reflejado.

Obtención del ángulo crítico:

Por ley de Snell tenemos: $n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$

Si θ_2 es 90° y el seno de 90° es 1, entonces: $n_2 = n_1 \sin \theta_1$

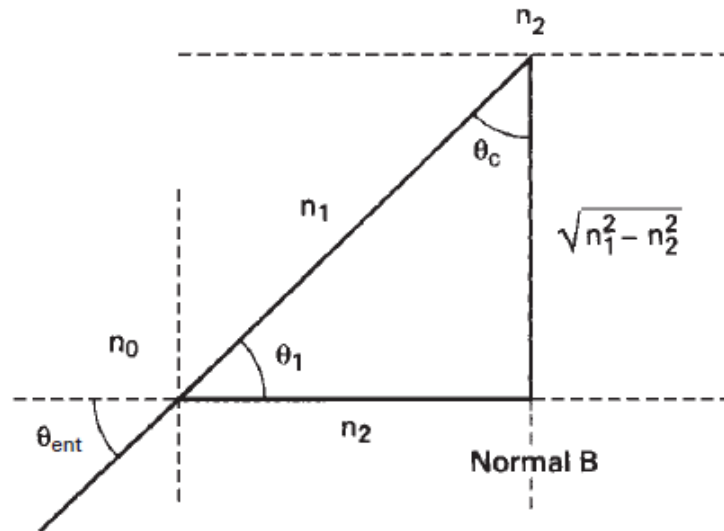
$\theta_1 = \theta_c = \text{ángulo crítico}$

$$\sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \theta_c$$

1.8.3. Cono de aceptación:

La fibra óptica posee la capacidad de captar los haces de luz que se emiten hacia ella desde la fuente. Esto se explica mediante las relaciones geométricas presentes en la ecuación:

$$\sin \theta_{ent} = \frac{n_1}{n_0} \cos \theta_c$$



Como se ha mencionado previamente, para que un rayo de luz se transmita a través de la fibra óptica, debe alcanzar la interfaz entre el núcleo y el revestimiento formando un ángulo mayor que el ángulo crítico. La gráfica proporcionada representa un análisis geométrico de cómo el haz de luz llega a la fibra y los ángulos que se generan en el proceso.

Aplicando la ley de Snell al ángulo de entrada se obtiene:

$$n_0 \sin \theta_{ent} = n_1 \sin \theta_1$$

Del gráfico se puede observar que $\theta_1 = 90^\circ - \theta_c$.

Al reemplazar en la primera ecuación: $n_0 \sin \theta_{ent} = n_1 \sin (90^\circ - \theta_c)$

Sabemos que: $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha * \cos \beta - \cos \alpha * \sin \beta$

$$\sin (90^\circ - \theta_c) = \sin 90 * \cos \theta_c - \cos 90 * \sin \theta_c$$

$$\sin (90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c$$

Reemplazando:

$$n_0 \sin \theta_{ent} = n_1 \cos \theta_c$$

Por lo que el ángulo de entrada será: $\sin \theta_{ent} = \frac{n_1}{n_0} \cos \theta_c$

Sabiendo que n_0 representa el índice del aire ya que generalmente los rayos ingresan desde el aire a la fibra; y despejando en ángulo de entrada:

$$\theta_{ent} = \sin^{-1}(\sqrt{n_1^2 - n_2^2})$$

1.8.5. Apertura numérica (NA)

El factor de mérito es una medida utilizada para cuantificar la amplitud del ángulo de aceptación. Describe la capacidad de la fibra óptica para capturar los rayos luminosos. Cuanto mayor sea este factor de mérito, mayor será la capacidad de la fibra para capturar las señales entrantes.

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

También podemos hallar el ángulo de aceptación a través de la apertura numérica:

$$\theta_{ent} = \sin^{-1}(NA).$$

Por lo general, las fibras ópticas con núcleos más grandes tienden a tener aberturas numéricas más grandes. Sin embargo, es importante destacar que teóricamente el diámetro del núcleo no está necesariamente vinculado de manera directamente proporcional a la abertura numérica. [4]

1.9 Parámetros de pérdidas en una fibra óptica

Las pérdidas en la fibra resultan en una reducción de la potencia de la luz, por lo tanto, reducen:

- ✓ El ancho de banda del sistema.
- ✓ La velocidad de transmisión de información
- ✓ Eficiencia, y capacidad total del sistema.

Las pérdidas de fibra predominantes son las siguientes:

1.9.1. Atenuación:

“En la que la potencia de la señal disminuye con la distancia, se mide en dB/Km (longitud de la fibra). La atenuación tiene varios efectos adversos sobre el funcionamiento.

La reducción del ancho de banda del sistema, la rapidez de transmisión de información y la capacidad general del sistema”. [4]

La fórmula normal con la que se expresa la pérdida total de potencia en un cable de fibra es:

$$A(dB) = 10 \log \frac{P_{sal}}{P_{ent}}$$

En donde:

- ✓ $A(dB)$ = Reducción total de potencia (atenuación)
- ✓ P_{sal} = Potencia de salida del cable (vatios)
- ✓ P_{ent} = Potencia de entrada al cable (vatios)

la potencia óptica, en decibelios, es:

$$P(dBm) = P_{ent}(dBm) - AL$$

En donde:

- ✓ P = valor medido de la potencia en dBm
- ✓ P_{ent} = Potencia de Transmisión en dBm
- ✓ A = Pérdidas de Potencia en el cable

La potencia óptica, en vatios:

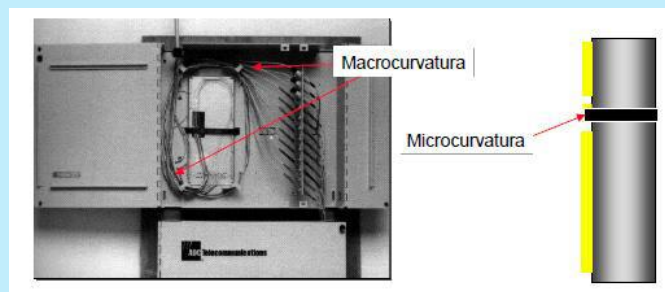
$$P(watts) = P_t * 10^{-\frac{AL}{10}}$$

En donde:

- ✓ P = valor medido de la potencia (vatios)
- ✓ P_t = potencia de transmisión (vatios)
- ✓ A = pérdidas de potencia en el cable (dB/km)
- ✓ L = longitud del cable (Km)

CURVATURAS

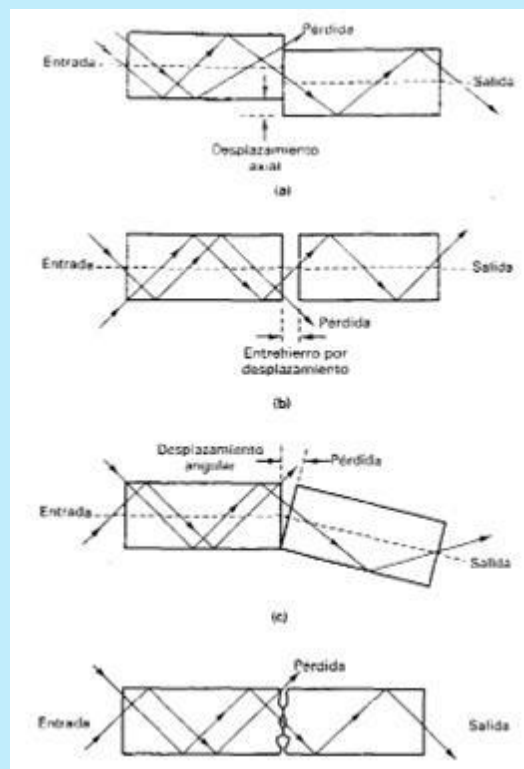
Al instalar el cable se debe tener sumo cuidado de observar las especificaciones mínimas para el radio de las macro curvaturas, así como tener cuidado con las micro curvaturas. [1]



PERDIDAS POR ACOPLAMIENTO

“En los cables de fibra pueden presentarse pérdidas por acoplamiento en cualquiera de los tres tipos siguientes de uniones ópticas:

- ✓ conexiones de fuente luminosa a fibra.
- ✓ conexiones de fibra a fibra y
- ✓ conexiones de fibra a foto detector.



1.9.2. Dispersión:

“La dispersión es la distorsión de la señal, resultante de los distintos modos (simple y multimodo), debido a los diferentes tiempos de desplazamiento de una señal a través de la fibra; no hay pérdida de potencia en la dispersión, pero se reduce la potencia pico de la señal. La dispersión se aplica tanto a señales analógicas como digitales; es normalmente especificada en nanosegundos por kilómetro.” [1]



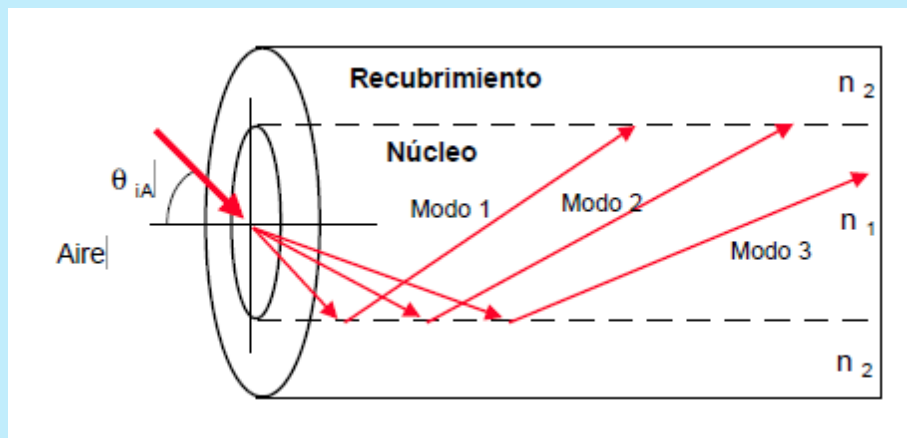
Dispersión en una fibra óptica

La dispersión de energía óptica se puede clasificar en dos categorías: la dispersión modal y la Dispersión espectral.

DISPERSIÓN MODAL (SM)

“Componente principal en las fibras multimodo, la dispersión modal o ensanchamiento del pulso se debe a la diferencia en los tiempos de propagación de rayos de luz que van por diferentes trayectorias en una fibra. Se puede reducir en forma considerable usando fibras de índice graduado y se puede eliminar casi con el uso de las fibras monomodo de índice escalonado.” [1]

Dispersión Modal en fibra óptica



Cálculo de la dispersión modal:

$$\Delta T_{ns} = \frac{NA^2}{2\eta_1 c} L$$

Donde:

NA = Apertura Numérica.

L = Longitud de la fibra (Km).

n1 = Índice de refracción núcleo.

c = Velocidad de la luz en el vacío (3000 000 00 m/s)

DISPERSIÓN CROMÁTICA

“Se debe a la dependencia del índice de refracción en función de la longitud de onda, si dos rayos tienen diferentes longitudes de onda son enviados simultáneamente sobre la misma trayectoria, estos arribaran ligeramente a diferentes tiempos; esto causa los mismos efectos de la dispersión modal, ensanchando el pulso óptico. [1]

En las fibras multimodo no importa mucho pues es mayor la dispersión modal; en las fibras monomodo si se debe de considerar, es por eso que en estas últimas se emplean preferentemente las fuentes LASER que tienen un ancho espectral mucho menor.” [1]

Cálculo de la dispersión cromática:

$$\Delta T(ns) = \Delta t(ns/Km) * L(Km)$$

Dónde:

✓ ΔT = El ensanchamiento total del pulso.

✓ Δt = constante de ensanchamiento del pulso (ns/km).

✓ L = Longitud total de la fibra (Km)

1.10. Factor de calidad o merito de la fibra óptica

La aplicación de la Fibra Óptica depende del factor de Mérito, que es igual al producto del Ancho de banda de la fibra por la longitud del cable de la fibra. El factor de mérito determina la calidad de la Fibra Óptica según su aplicación.

$$F = AB_{FO} \times L_{FO} \text{ [MHz x Km]}$$

El ancho de banda se obtiene de acuerdo con la dispersión total de la fibra. El ancho de banda se calcula con la siguiente ecuación:

$$AB = 0.187 / STOTAL$$

$$S = \sqrt{Sc^2 + Sm^2}$$

Dónde:

✓ S = Dispersión Total

✓ Sc = Dispersión Cromática

✓ Sm = Dispersión Modal

a. Para fibra óptica de alta calidad (grandes factores de mérito, F).

$$F = AB_{FO} \times L_{FO} \text{ [MHz x Km]}$$

- ✓ Fibra Óptica monomodo $F > 10000$ [MHz x Km].
- ✓ Enlaces Submarinos, interurbanos trabajan con 4500 Mbps.
- ✓ $2^a = 5$ a 10 um $\lambda = 1300 \text{ a } 1650 \text{ nm}$.

b. Fibra Óptica con $200 < F < 1200$ [MHz x Km] de mediana calidad.

- ✓ En Telefonía Urbana (centrales).
- ✓ Transmisión de TV digital.
- ✓ Redes Multiservicio 1300 ó 1550 nm.
- ✓ WAN.

c. Fibra Óptica con $15 < F < 20$ [MHz x Km].

- ✓ Fibra Óptica MMSI (revestimiento de vidrio).
- ✓ Redes LAN.
- ✓ Transmisión de datos en campus, edificios, entre ellos.

d. Fibra Óptica con $5 < F < 10$ [MHz x Km].

- ✓ Fibra Óptica MMSI (revestimiento de plástico).
- ✓ Redes WAN.
- ✓ Enlaces punto a punto (cortas distancias).
- ✓ Aplicaciones militares (alta fiabilidad).

Bibliografía

- [1] W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electronicas, Mexico: Pearson Education, 2003.
- [2] C. Gregory, «slideplayer.» 22 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/3439183/>.
- [3] J. HuamFlo, «Scribd,» 16 Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/356110076/Ventanas-de-Operacion>.
- [4] J. P. Pallo Noroña, «CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS,» UTA, Ambato, 2021.
- [5] J. M. y. A. L. C. Vega, Sistemas de Telecomunicacion, Cantabria: Universidad de Cantabria, 2007.