

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA**



DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA OPTICA

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES**

PRESENTA:

MARTHA ALICIA ESCOBEDO RAMIREZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO R. VILLARREAL J.

CD. UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 1997

T
TK5103
.59
E8
1997
C.



1080096917

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA



DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA OPTICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
ING. EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA:

MARTHA ALICIA ESCOBEDO RAMIREZ

ASESOR: ING. LEOPOLDO R. VILLARREAL J.

CD. UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 1997

T
TK5103
.59
E8
1997



Agradecimientos...

A Dios:

Mi agradecimiento a él que me ha guiado por
la luz de su camino para llegar
hasta donde he sabido llegar
y
porque me ha permitido ver y sentir
la luz de este gran día:
mi realización en una de las etapas
más importantes en mi vida profesional.

Diseño de una Red de *Fibra Optica*.

Agradecimientos...

A mis Padres y Hermanos:

**Mi eterno agradecimiento por todos sus sacrificios,
esfuerzos y bendiciones
para que yo llegara a ser una profesionista.**

Papito y Mamita:

¡Muchas Gracias...!

**con todo mi cariño y respeto
por la comprensión y sobre todo por la confianza
que me brindaron.**

**Gracias por ésta hermosa herencia
que me han legado.**

Agradecimientos...

A mis maestros:

Que secundaron maravillosamente la labor
de mis padres en el campo de la
enseñanza ayudándome a llegar a mi meta,
aportando sus conocimientos
y experiencia,
pero sobre todo su Amistad.

Diseño de una Red de *Fibra Óptica*.

Agradecimientos...

A mis amigos:

Con mucho cariño a todos mis amigos
por todos los momentos felices y
también todos los momentos de angustia
que juntos pasamos.

Heber, Manuela, Gonzalo, Leonel
siempre los recordaré.

CONTENIDO

- I **Introducción**
- II **Teoria de la operación de la *fibra óptica***
- III **Parametros de la *fibra óptica***
- IV ***Fibra óptica* multimodo y monomodo**
- V **Fabricación de la *fibra óptica***
- VI **Cables de *fibra óptica***
- VII **Conectores de *fibra óptica***
- VIII **Métodos de empalme de *fibras ópticas***
- IX **Consideraciones preliminares de diseño de redes de *fibra óptica* en Lan's.**

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, resulta evidente que al lado de la industria del crecimiento (educación, investigación y desarrollo científico y tecnológico), las telecomunicaciones se han constituido en la piedra angular de la economía y de las relaciones internacionales.

No se trata de una evolución lineal del viejo concepto de comunicaciones, y tampoco de las nociones aisladas de televisión, radio y telefonía, vá mucho más allá, se trata de un salto cualitativo que funde en un solo proceso los avances de punta de la electrónica, las comunicaciones, la computación y la informática.

Las redes de telecomunicaciones constituyen una herramienta estratégica esencial en la competitividad de las empresas.

Las comunicaciones de datos y voz están uniendo a las naciones del planeta, simplificando el movimiento de capitales y recursos.

Partiendo de la base de que en los últimos años el sector productivo con mayor crecimiento y desarrollo ha sido la industria de las telecomunicaciones, hace que el subsector de aplicación de la *Fibra óptica* hoy en día represente la forma de vida de muchos nosotros.

Los sistemas de comunicaciones basados en el uso de *fibras ópticas* han revolucionado el concepto tradicional de las telecomunicaciones, debido a que es posible transmitir señales luminosas en lugar de señales eléctricas con una gran capacidad de transporte de información.

En la actualidad se construyen redes de telecomunicaciones con aplicaciones de voz, datos y video utilizando *fibras ópticas*.

Los sistemas de comunicación basados en cables de *fibras ópticas* ofrecen diversas ventajas sobre otras basadas en cables de cobre:

- A. Alta capacidad de Transmisión.
- B. Dimensiones más pequeñas.
- C. Menor peso y tiempo de instalación.
- D. Baja atenuación.
- E. Grandes distancias entre repetidores.
- F. Bajo costo (Precio beneficio).
- G. Inmunidad a campos electromagnéticos.

Diseño de una Red de *Fibra Optica*.

Por todo lo anterior y aunado a la apertura comercial y el desarrollo tecnológico que traen a nuestro país nuevas ofertas de negocios para los consorcios empresariales ya establecidos y sabiendo que una empresa con buenas telecomunicaciones será siempre una empresa próspera se ha desarrollado el siguiente trabajo de investigación y diseño de una red privada de telecomunicaciones basando su principio de operación en una red de *fibra óptica*.

II. TEORÍA DE LA OPERACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

A. PROPAGACIÓN DE LA LUZ.

Antes de abordar de lleno el estudio de la *Fibra óptica* es necesario entender las leyes de la reflexión y refracción de la luz.

Supongamos que tenemos un haz de luz incidiendo sobre una región que separa dos medios homogéneos con diferentes índices de refracción absolutos (n), tal y como se muestra en la figura II-1.

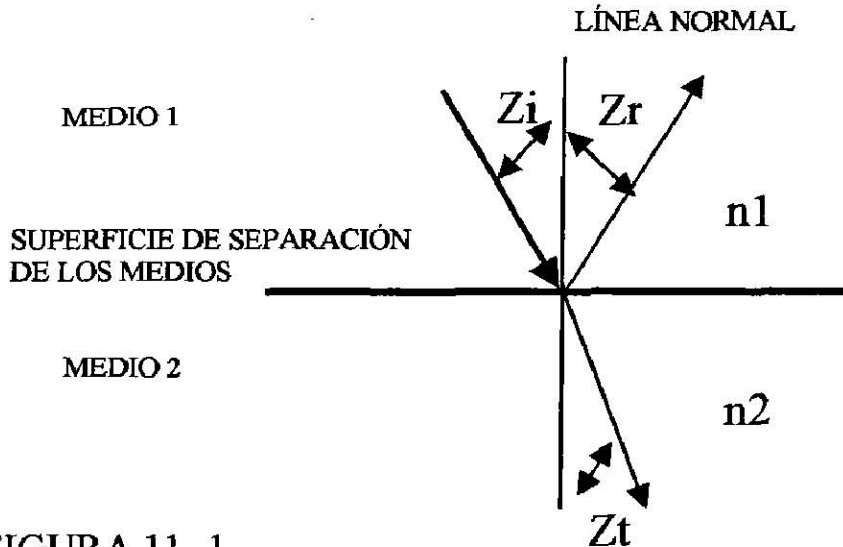


FIGURA 11- 1

Índice de refracción absoluto de un medio = velocidad de la luz en el vacío / velocidad de la luz en el medio.

- La Ley de la reflexión enuncia que $Z_i = Z_r$.
- La Ley de Snell establece lo siguiente:

$$n_i \text{ SEN } Z_i = n_r \text{ SEN } Z_r$$

y

$$n_i \text{ SEN } Z_i = n_t \text{ SEN } Z_t$$

Pero como $Z_i = Z_r$ entonces $n_i = n_r$ (lo cual es lógico ya que se trata de la misma región), por lo que llamemos a $n_t = n_2$

También obtenemos que $\text{SEN } Z_i / \text{SEN } Z_t = n_2/n_1$

Tenemos 4 situaciones:

1. $n_2/n_1=1$ toda la luz se refracta o transmite (los dos medios son iguales). Ver fig. II-2.
2. $n_2/n_1>1$ entonces $n_2>n_1$ y $Z_i>Z_t$, la cantidad de luz que se refracta es mayor a la que se refleja. Ver fig. II-3.
3. $n_2/n_1<1$ por lo que $n_2<n_1$ y $Z_i<Z_t$, la cantidad de luz que se refleja es mayor que la que se refracta. Ver fig. II-3.
4. $n_2/n_1<1$ por lo que $n_2<n_1$ pero $Z_t=90^\circ$, aquí ocurre el fenómeno de reflexión total interna y el Z_i que corresponde se denomina ángulo crítico Z_c .

$$\text{SEN } Z_c / \text{SEN } 90^\circ = n_2/n_1 \quad (\text{SEN } 90^\circ=1), \text{ entonces } Z_c = \text{SEN}^{-1}(n_2/n_1)$$

Es importante hacer notar que el haz de luz refractado no existe, lo cual quiere decir que toda la potencia óptica se refleja. Ver fig. II-5.

ESTE FENOMENO DE REFLEXION TOTAL INTERNA ES DONDE DESCANSA EL PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TRANSMISIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA.

Diseño de una Red de Fibra Optica.

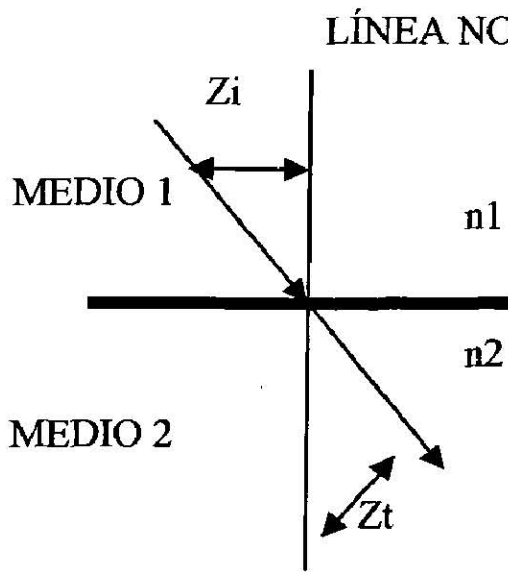


figura 11-2
 $n_1 = n_2$

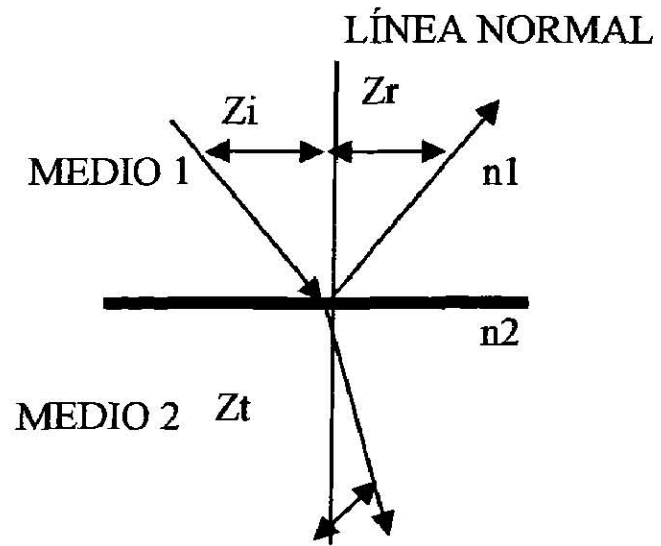


figura 11-3
 $n_1 < n_2$

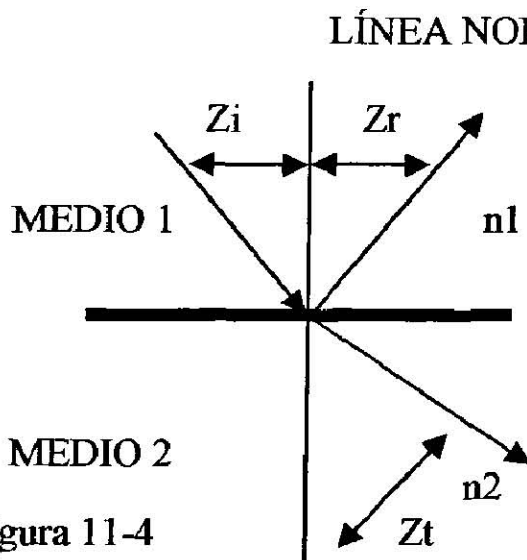


figura 11-4
 $n_1 > n_2$

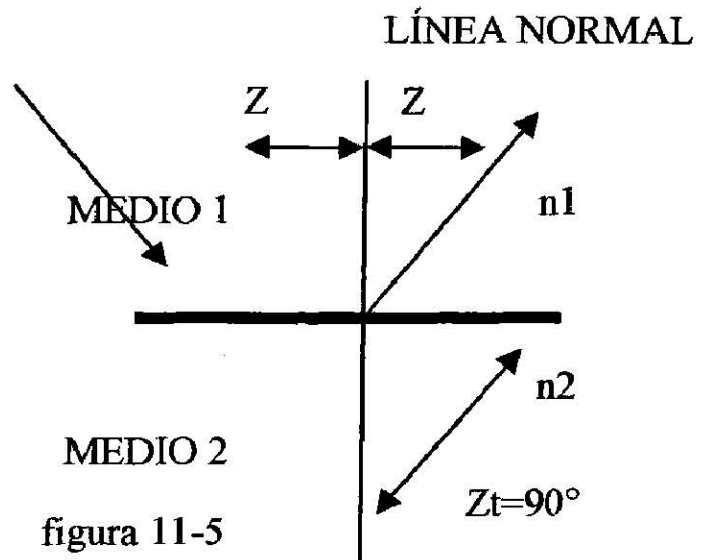


figura 11-5
 $n_1 > n_2, Z_i = Z_c$

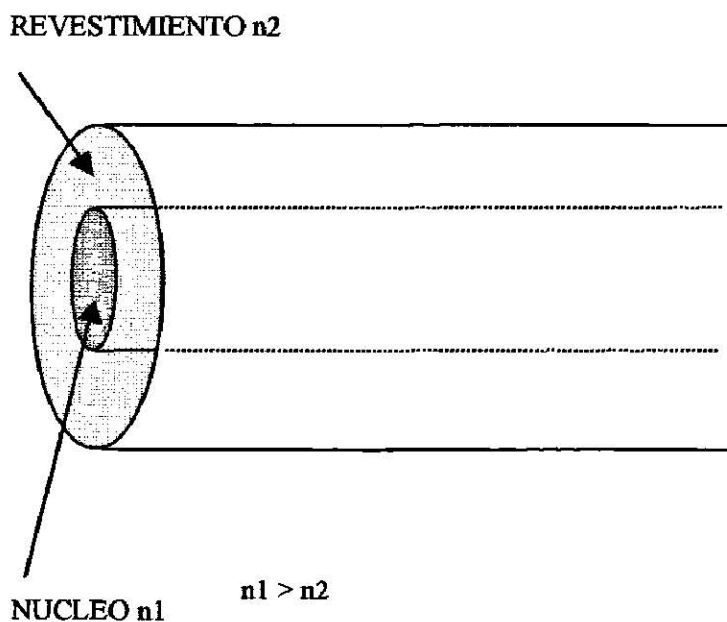
En conclusión Las leyes básicas de la reflexión y refracción de la luz son:

1. Los rayos incidente, reflejado y refractado están en el mismo plano.
2. En ángulo de incidencia es igual al ángulo reflejado ($Z_i = Z_r$).
3. $n_i \text{ Sen } Z_i = n_t \text{ SEN } Z_t$

B. TRANSMISIÓN DE LA LUZ EN LA FIBRA ÓPTICA.

La transmisión de la luz a lo largo de un *Fibra óptica* se basa en la reflexión total interna.

La *fibras ópticas* tienen una forma cilíndrica, un núcleo y un revestimiento de vidrio, el núcleo es por donde se transmite la luz y el revestimiento tiene como función principal reflejar la luz hacia el núcleo.



1. TIPO DE FIBRAS ÓPTICAS

Las *fibras ópticas* pueden ser de dos tipos: multimodo y monomodo en función de la forma de propagación.

MODOS DE PROPAGACION

Los modos de propagación se deben entender como los caminos que sigue la luz dentro del núcleo de una *Fibra óptica* y se determinan de acuerdo a las frecuencias con las que se transmiten las ondas electromagnéticas (luz) a través de la misma. También afectan el diámetro del núcleo y la variación del índice de refracción.

En las fibras multimodo se transmiten una cantidad "n" de modos de propagación y en las ópticas monomodo uno solo.

a. FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO

Las *fibras ópticas* multimodo pueden clasificarse en *fibras ópticas* de índice escalonado y de índice gradual.

a.1 FIBRAS ÓPTICAS DE ÍNDICE ESCALONADO.

En las *fibras ópticas* de índice escalonado el núcleo tiene un índice de refracción constante, en este caso ocurre el fenómeno llamado de dispersión modal.

En una *fibra óptica* de índice escalonado el índice de refracción del revestimiento (n_2) es ligeramente menor que el del núcleo (n_1).

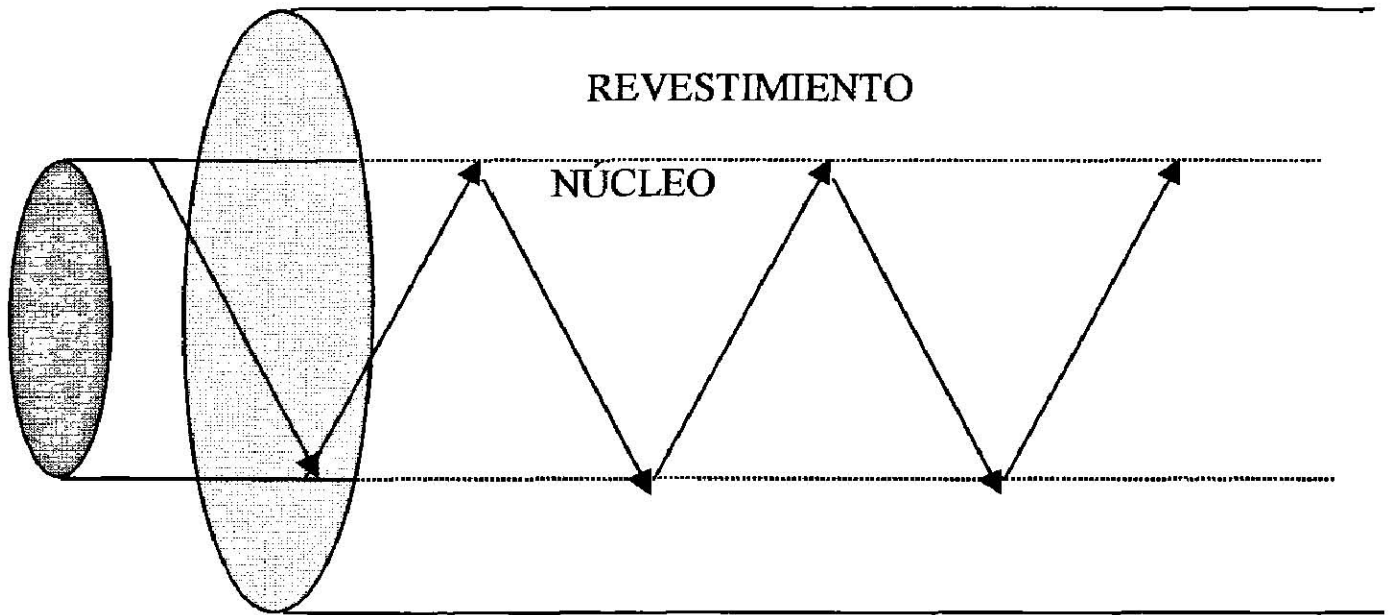
En la *fibra óptica* de índice escalonado se presentan dos tipos de rayos: meridionales y oblicuos.

a.1.1 RAYOS MERIDIONALES: Son aquellos que inciden en el núcleo y se reflejan internamente propagándose en un plano, el ángulo de reflexión debe ser igual o mayor al ángulo crítico Z_c . La diferencia entre los índices de refracción debe ser lo menos posible (normalmente entre 0.007 y 0.02).

Lo anterior es que de acuerdo a la ecuación del ángulo crítico

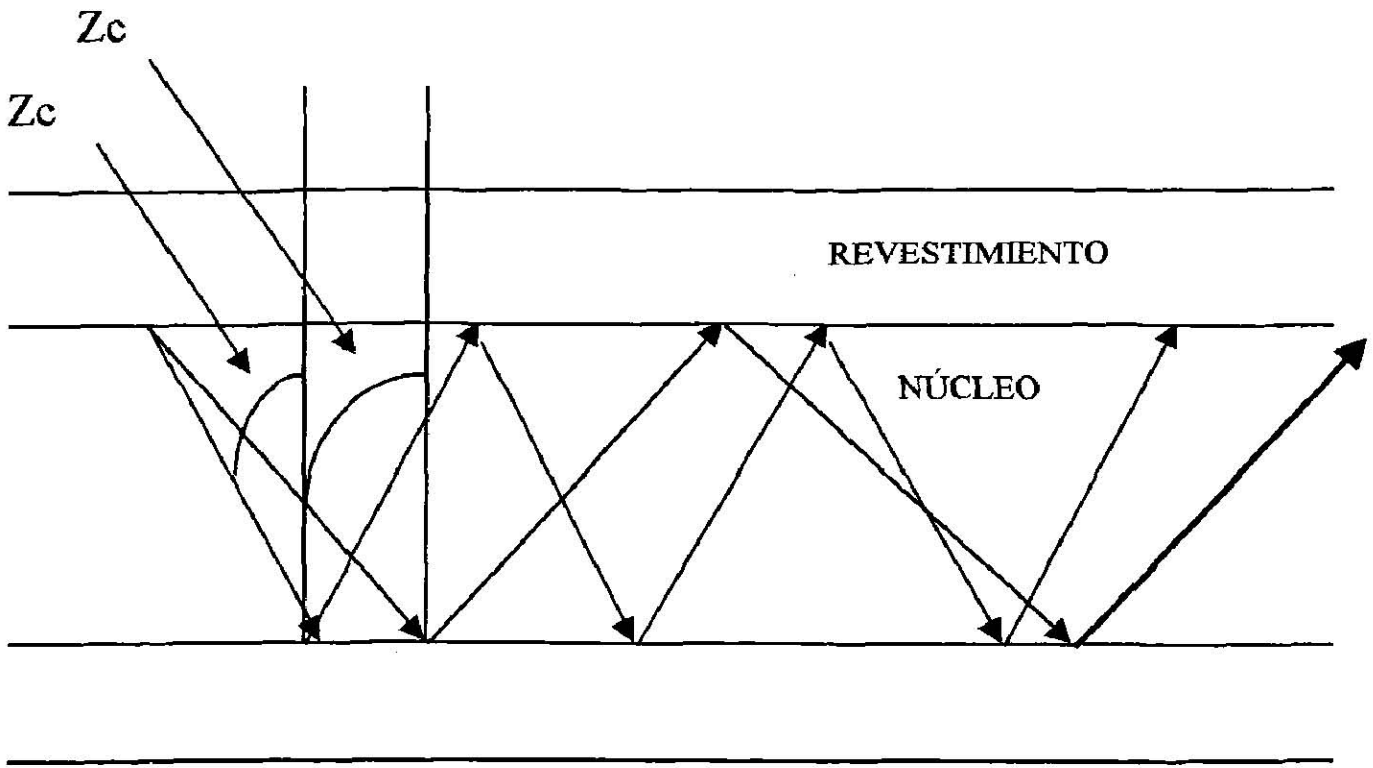
$$Z_c = \text{SEN}^{-1}(n_2/n_1) \text{ y } n_1 > n_2 \quad \text{tenemos que } 0^\circ \leq Z_c \leq 90^\circ$$

Pero nos conviene obtener valores muy grandes de Z_c reduciendo la diferencia entre n_1 y n_2 para que de esta forma la luz viaje por el eje de la *Fibra óptica* y se refleje las menos veces posibles, evitando así pérdidas por absorción, difusión o dispersión.

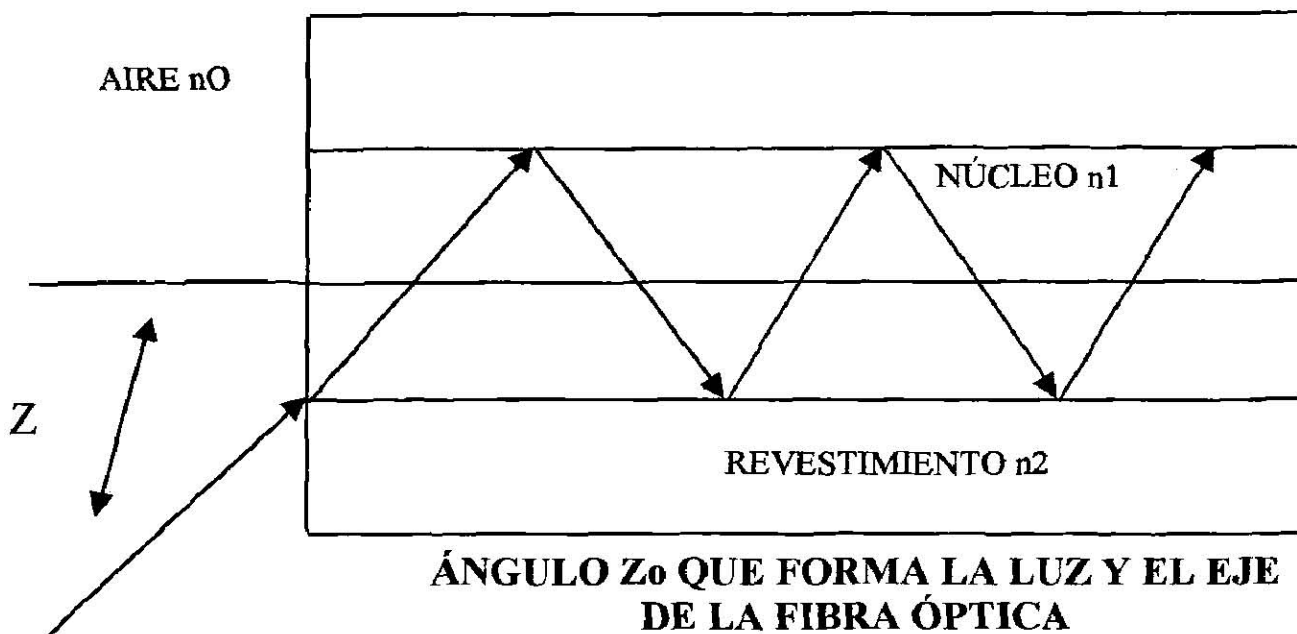


RAYOS MERIDIONALES

Diseño de una Red de Fibra Óptica.



**RECORRIDO DE UN RAYO DE LUZ CON DIFERENTE
ÁNGULO DE INCIDENCIA CRÍTICA Z_c**

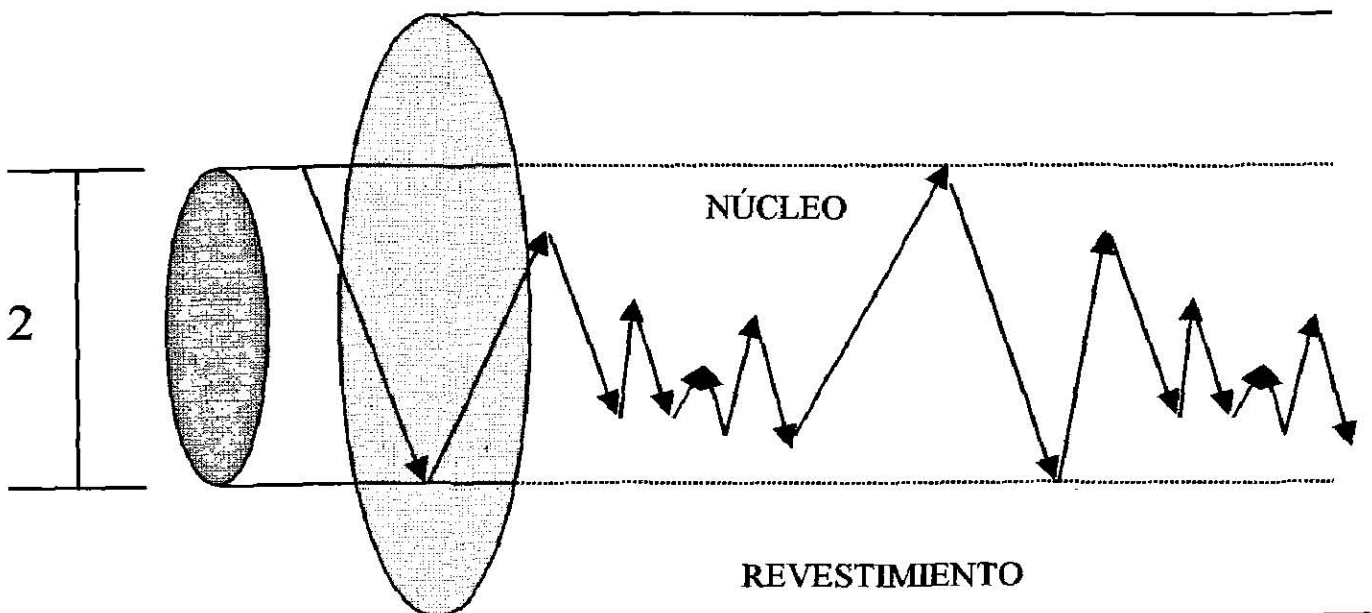


La ecuación que define el ángulo de entrada de la luz al núcleo de la *fibra óptica* esta dada por

$$Z_0 \leq \text{SEN}^{-1} \{ [(n_1^2 - n_2^2)]^{1/2} / n_0 \}$$

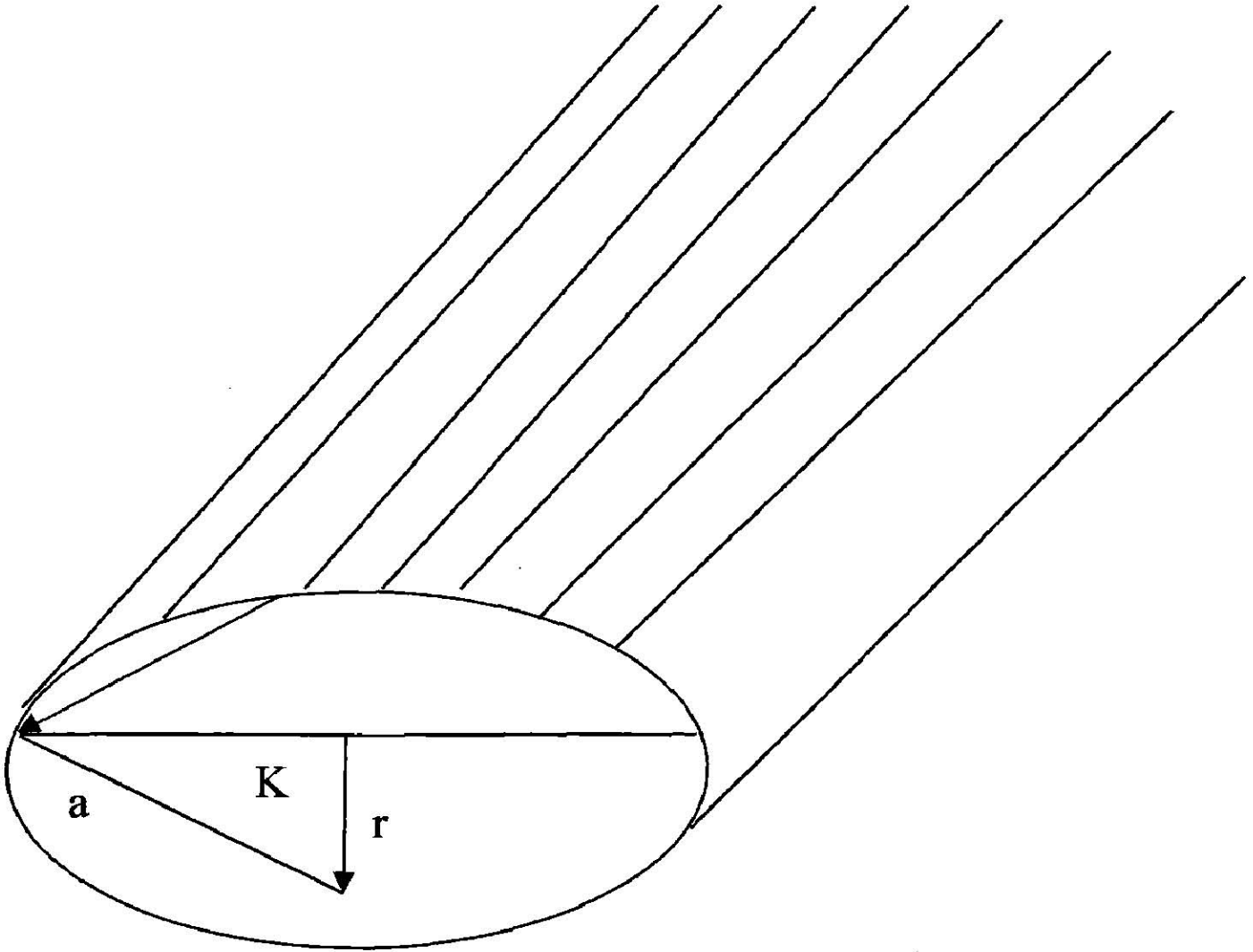
Al mínimo ángulo Z_0 se le denomina ángulo de aceptación de la *Fibra óptica*, si el ángulo Z_0 se excede del ángulo de aceptación no ocurrirá la reflexión total interna provocando que la luz se introduzca al revestimiento.

a.1.2 RAYOS OBLICUOS: Son aquellos que siguen una trayectoria helicoidal a través del núcleo de la *Fibra óptica*, los cuales se reflejan internamente pero no entran a través del eje ni son paralelos a el.



a ES EL RADIO DEL NÚCLEO DE LA F.O.

RAYOS OBLICUOS



PERFIL DE UN RAYO OBLICUO

El ángulo crítico de los rayos oblicuos esta dado por:

$$Z_c = \text{SEN}^{-1} \left\{ \frac{1}{[n_1^2 (n_1^2 - n_2^2) (1 - (r_0/a)^2)]^{1/2}} \right\}$$

$$K = a / r_0$$

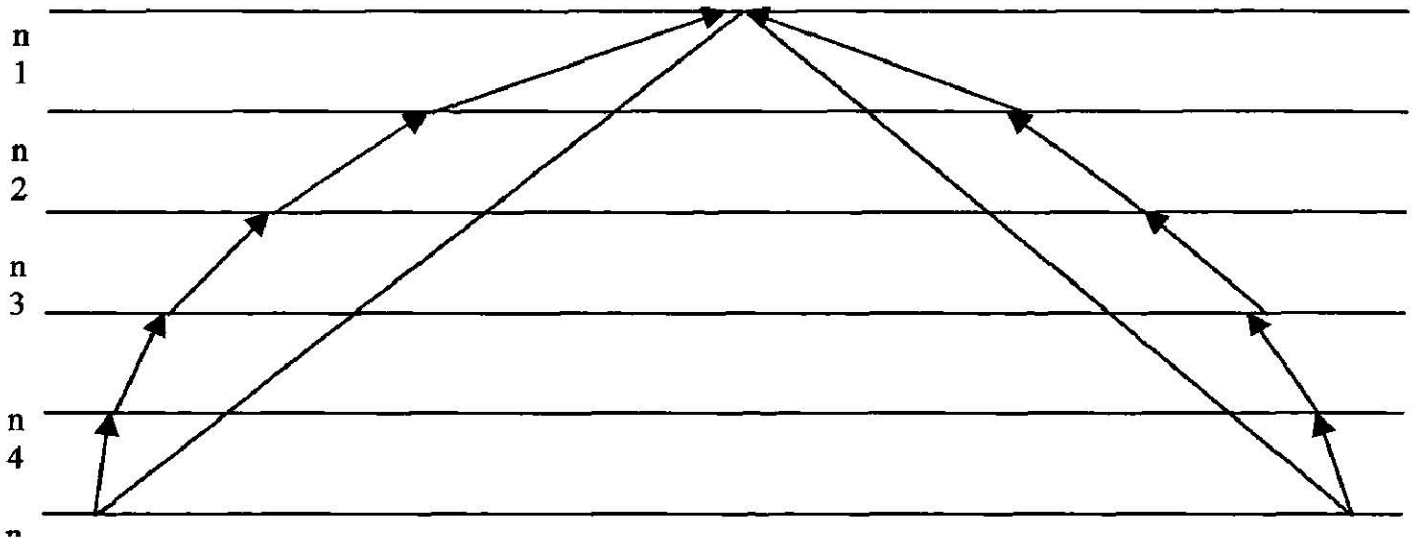
Y el ángulo Z_0 de entrada de la luz a la *Fibra óptica* esta dado por:

$$Z_0 \leq \text{SEN}^{-1} \{ [n_1^2 - n_2^2]^{1/2} / n_0 \text{ Cos } K \}$$

$$Z_0 \text{ máximo} = 90^\circ$$

2 FIBRAS ÓPTICAS DE ÍNDICE GRADÚAL.

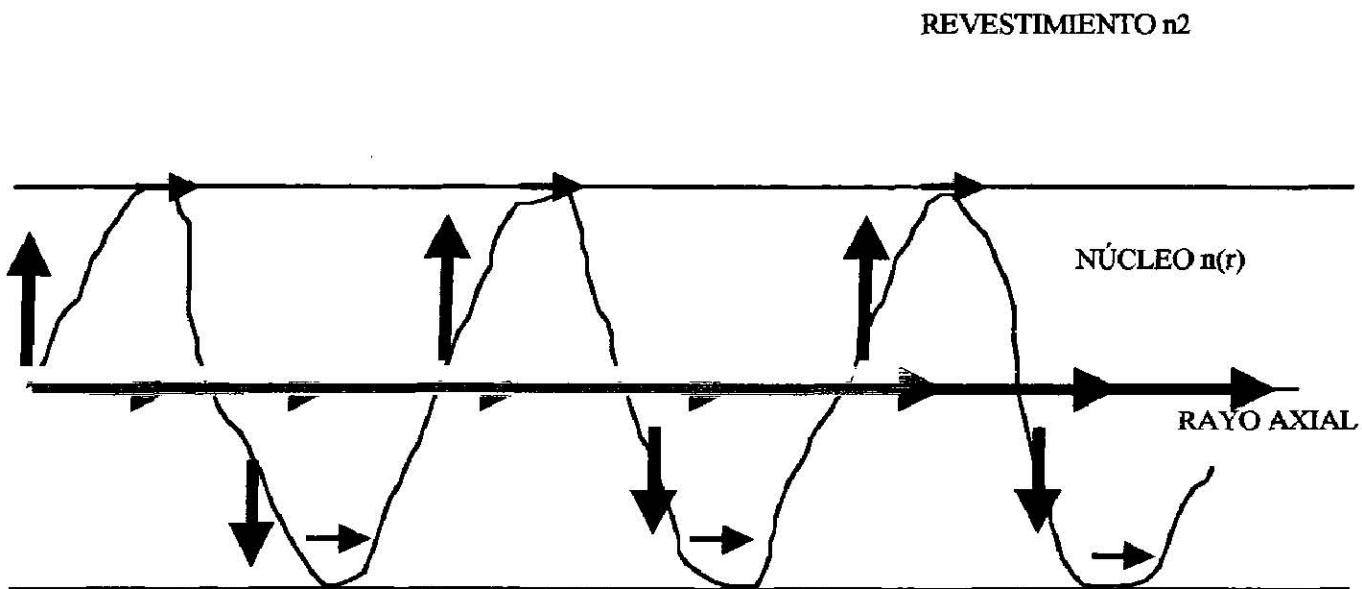
En las *fibras ópticas* de índice gradual el índice de refracción del núcleo no es constante, sino que va decreciendo en forma gradual del centro del núcleo al revestimiento, debido a lo anterior los rayos de luz se van flexionando. En este tipo de fibras la atenuación es menor con respecto a las fibras de índice escalonado donde el cambio del índice de refracción es mas brusco.



**REPRESENTACIÓN DE LA TRAYECTORIA DE UN HAZ DE LUZ
EN UNA F.O DE ÍNDICE Y DE ÍNDICE ESCALONADO.**

Diseño de una Red de *Fibra Óptica*.

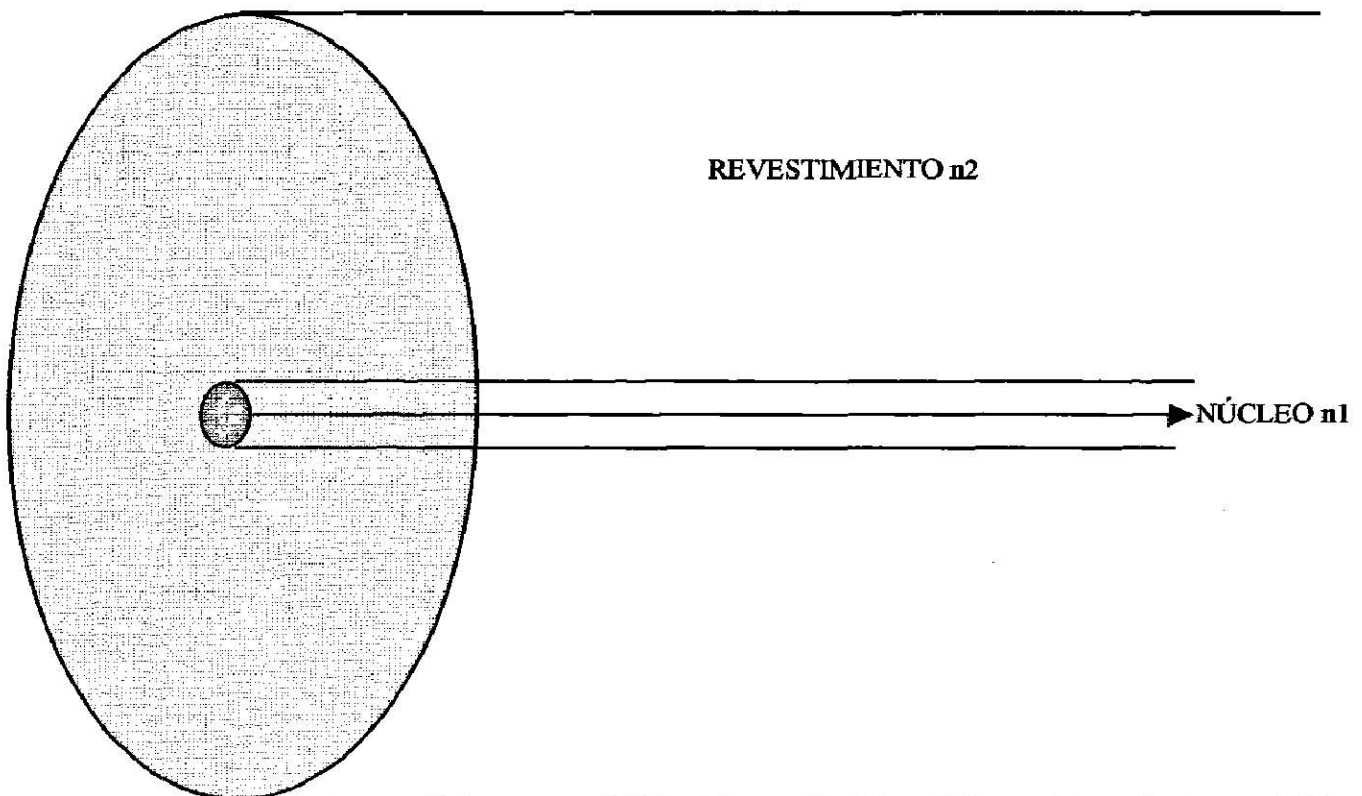
En este tipo de *fibras ópticas* existe un retardo entre los rayos que entran paralelos al eje de la fibra y de los que se introducen con un cierto ángulo debido a la diferencia de la distancia recorrida, sin embargo esto se puede corregir logrando un adecuado decremento del índice de refracción de tal manera que incrementan su velocidad y finalmente coinciden ambos rayos en el eje del núcleo.



b. FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO.

Las *fibras ópticas* monomodo tienen un índice de refracción en el núcleo constante y solo se presenta un modo de propagación o sea que solo se tiene una trayectoria para que la luz viaje a lo largo del núcleo por lo que no se tiene dispersión modal, normalmente la dimensión del núcleo es mucho menor a la del revestimiento en comparación a la multimodo.

TIPO DE FIBRA	DIÁMETRO DEL NÚCLEO	DIÁMETRO REVESTIMIENTO
MONOMODO	8.3 μm	125 μm
MULTIMODO	62.3 μm	125 μm



REPRESENTACIÓN DE LA TRAYECTORIA DE UN HAZ DE LUZ EN UNA FIBRA OPTICA MONOMODO.

III. PARAMETROS DE LA *FIBRA ÓPTICA*

Dentro del estudio de la *Fibra óptica* es importante hacer notar los siguientes parámetros de la misma:

- A. APERTURA NUMÉRICA
- B. ATENUACIÓN
- C. DISPERSIÓN
- D. ANCHO DE BANDA

A. APERTURA NUMÉRICA.

La apertura numérica es un parámetro que define el ángulo de aceptación de la luz en la *Fibra óptica* o explicada de otra manera es la facilidad con que la luz puede entrar en el núcleo de la *Fibra óptica*.

Es de suma importancia considerar la apertura numérica ya que es un factor decisivo al momento de considerar pérdidas.

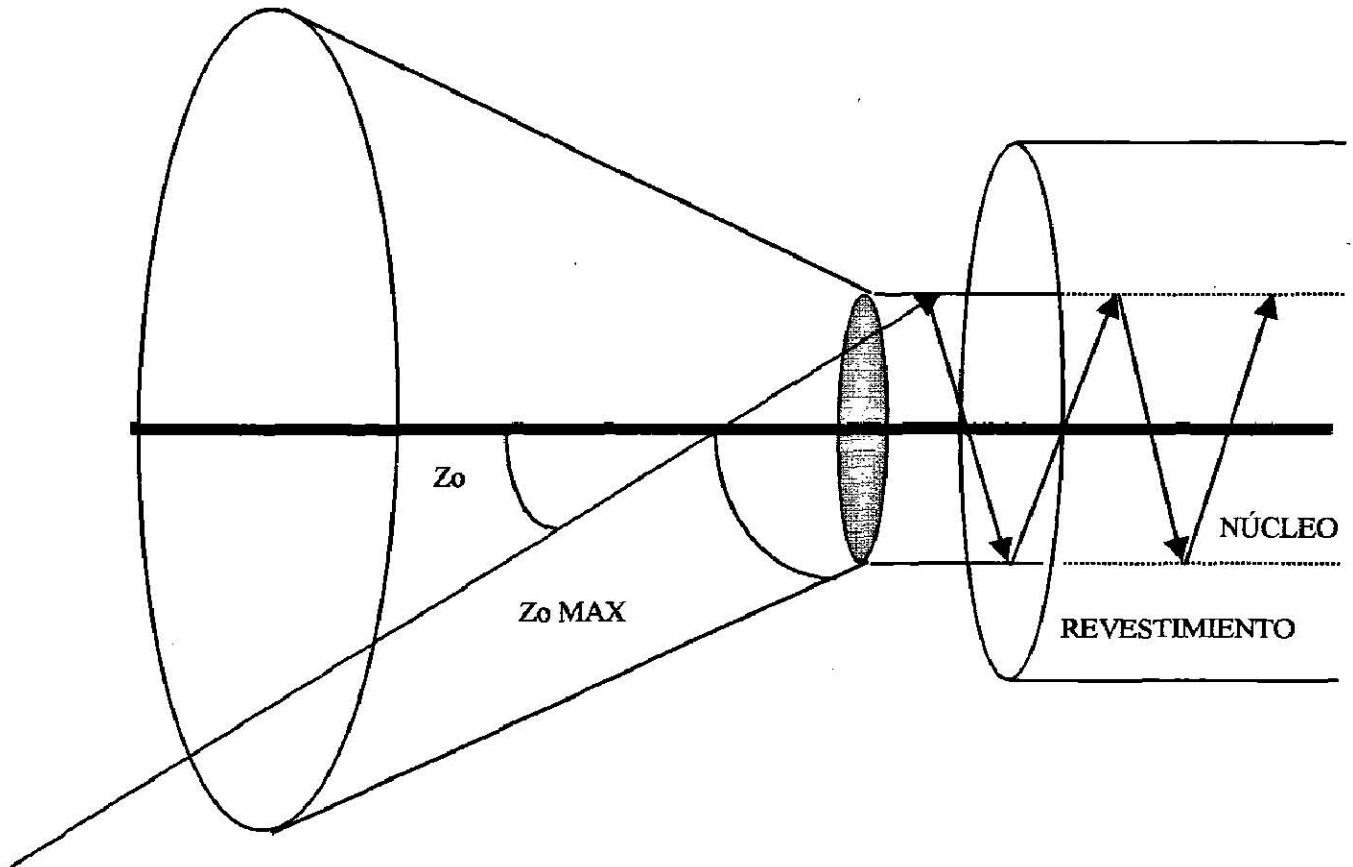
Mientras más grande sea la apertura numérica se lograrán mejores acoplamientos, pérdidas mas bajas en los empalmes y conexiones así como también una transferencia de potencia óptica mas alta.

Como vimos anteriormente el ángulo de entrada de la luz $Z_o \text{ max}$, se le conoce como máximo ángulo de aceptación y que si se excede este valor no se producirá la reflexión total interna ya que toda la luz se refractara en el revestimiento.

Definiremos la apertura numérica por medio de la siguiente ecuación:

$$N.A = \text{SEN } Z_o \text{ max}$$

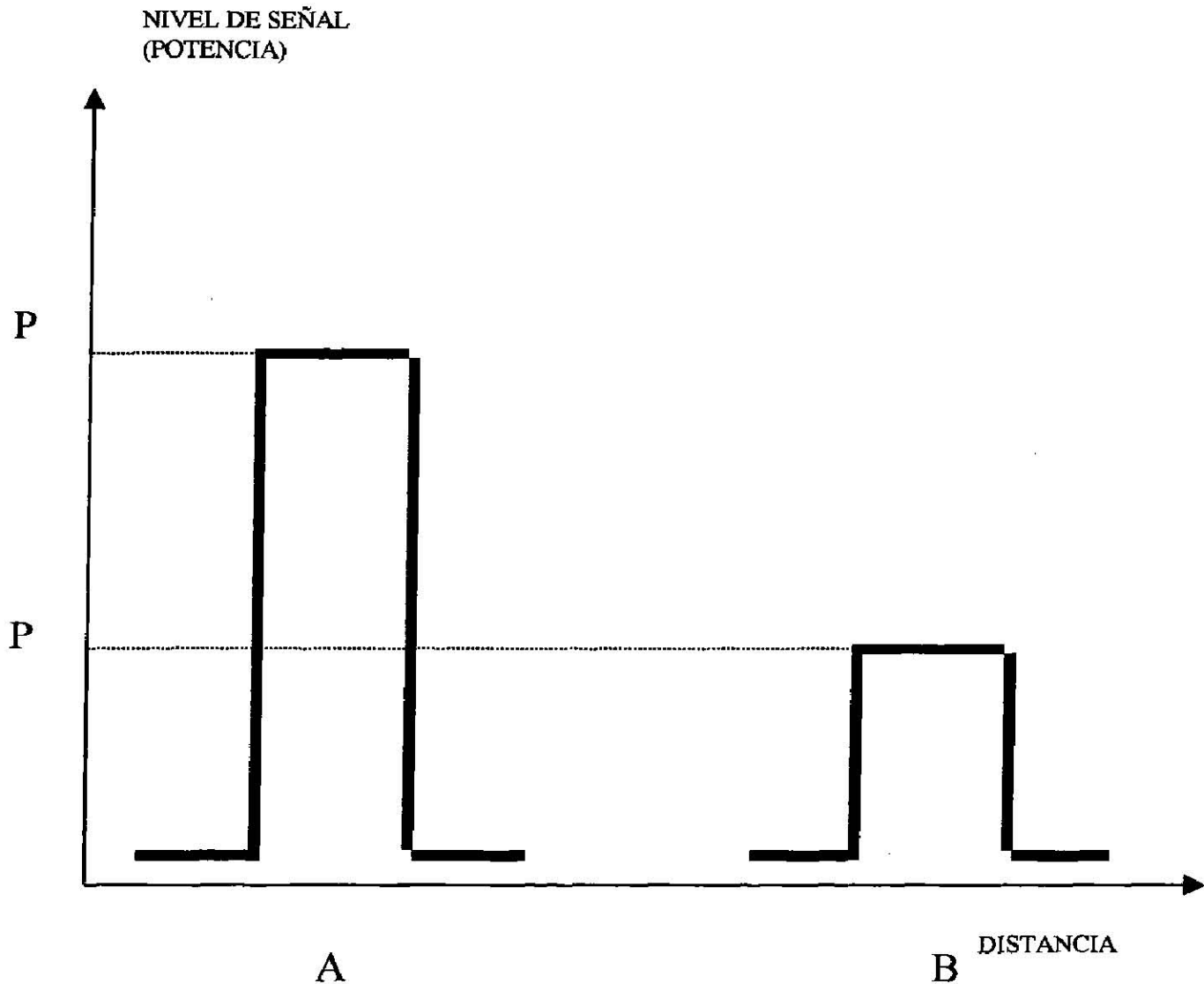
Los valores de N.A. varían de 0.2 a 1 o de otra manera Z_o varía de 11.54° a 90° respectivamente.

Diseño de una Red de *Fibra Óptica*.**ESQUEMA DE UNA ÓPTICA MOSTRANDO EL CONO DE ACEPTACIÓN**

El cono de aceptación es aquel que se genera a partir del ángulo máximo de aceptación en donde todos los rayos de luz que no entran al mismo no se transmitirán.

B. ATENUACION

La atenuación se define de una manera general como la disminución en el nivel de señal transmitida de un punto inicial (A) a un punto final (B), pero sin cambiar la forma de la misma.



La atenuación en la *Fibra óptica* se mide en decibeles (dB)

$$\text{Atenuación dB} = 100 \text{ LOG (potencia recibida / potencia transmitida)}$$

Ejemplo:

POTENCIA TRANSMITIDA	ATENUACIÓN	POTENCIA RECIBIDA
1	0.00 dB	1
1	-0.46 dB	0.90
1	-0.97 dB	0.80
1	-1.55 dB	0.70
1	-3.01 dB	0.50
1	-85.23 dB	0.30
1	-10.00 dB	0.10
1	-20.00 dB	0.01

El valor de la atenuación depende de la longitud de onda de la luz inyectada por el transmisor óptico.

Se tienen dos tipos generales de atenuación en las *fibras ópticas*.

1. ATENUACIÓN INTRÍNSECA
2. ATENUACIÓN EXTRÍNSECA

1. ATENUACIÓN INTRÍNSECA

La atenuación intrínseca se refiere a las pérdidas debidas a características inherentes de los materiales con que se fabrica las *fibras ópticas*, se tienen tres tipos:

1.1. ATENUACIÓN INTRÍNSECA POR ABSORCIÓN

Se debe a las impurezas naturales en el vidrio que absorben energía óptica. Ya que en los vidrios transparentes que se pueden considerar perfectos en estado normal, presentan fuertes bandas de absorción óptica en el ultravioleta y en el infrarrojo ocasionando efectos significativos en la región de los 600 a 1500 nm de la longitud de onda de transmisión.

1.2. ATENUACIÓN INTRÍNSECA POR DISPERSIÓN

Este tipo de atenuación se presenta cuando los rayos de luz que están viajando en el núcleo de la *Fibra óptica*, interactúan con el vidrio a nivel atómico y son dispersados en nuevas direcciones y quizá sean perdidos a través del revestimiento.

Se tiene también un caso especial llamado atenuación de dispersión por aberración y se debe a las variaciones en la distribución radial del índice de refracción, en el caso de las *fibras ópticas* de índice gradual no se puede ser detectado debido a que las posibles

imperfecciones se confunden con el material, pero en las *fibras ópticas* de índice escalonado si se puede detectar así como en las *fibras ópticas* monomodo.

1.3. ATENUACIÓN INTRÍNSECA POR INHOMOGENEIDADES EN EL VIDRIO.

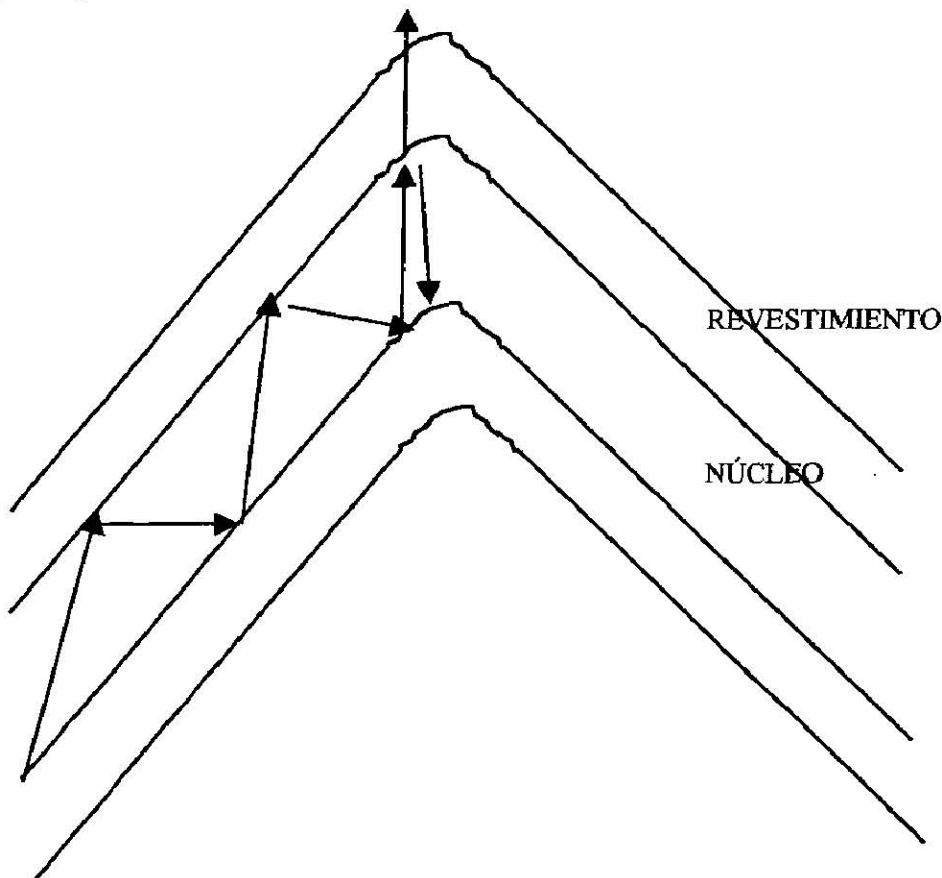
Este tipo de atenuación se debe a variaciones en el índice de refracción menores al tamaño de la longitud de onda de propagación y se ocasiona por fluctuaciones térmicas en el material así como también por fluctuaciones en la concentración de óxidos en el vidrio.

2. ATENUACIÓN EXTRÍNSECA

La atenuación extrínseca se provoca por pérdidas debidas a causas externas y se tienen 3 tipos:

2.1. ATENUACIÓN EXTRÍNSECA POR MACROCURVATURAS.

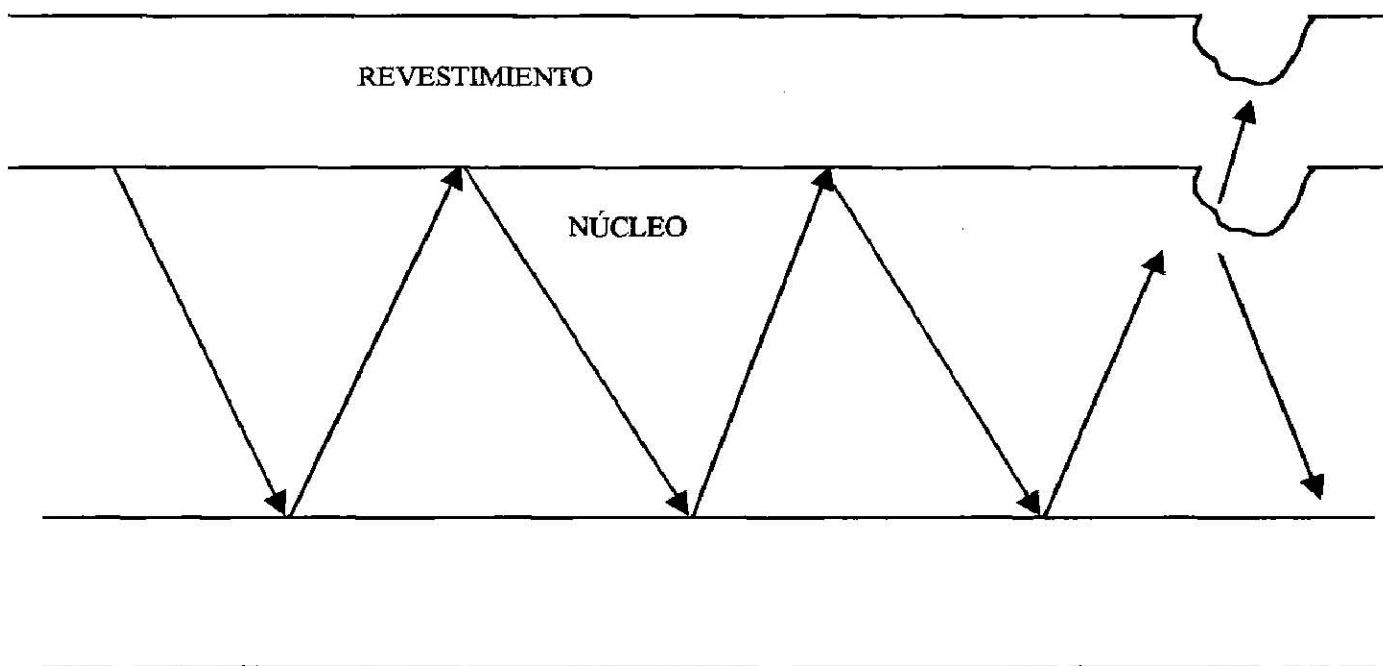
En este caso la atenuación es debida a pérdidas cuando se tiene un ángulo severo en la *Fibra óptica* y la luz se refracta hacia el revestimiento.



2.2. ATENUACIÓN EXTRÍNSECA POR MICROCURVATURAS.

Cuando se tienen microcurvaturas en el núcleo se ocasionan pérdidas de la luz hacia el revestimiento.

En algunas ocasiones se pueden deber a gotas de agua que al congelarse aumentan su volumen o bien a impactos externos sobre el cable de *Fibra óptica*.



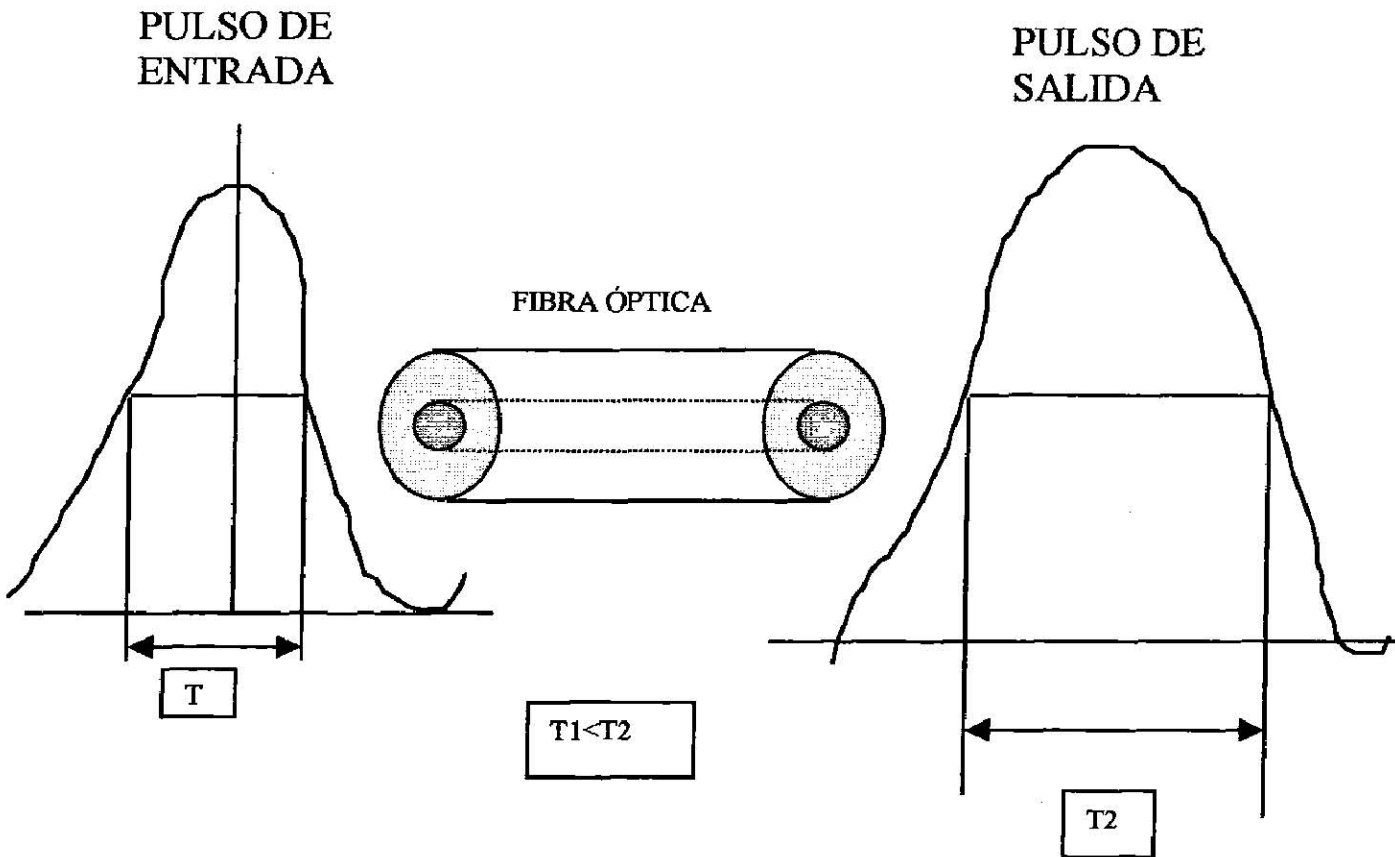
2.3. ATENUACIÓN EXTRÍNSECA POR ABSORCIÓN DE IMPUREZAS

La absorción de impurezas se ocasiona por impurezas que se van introduciendo en el vidrio, tales como iones metálicos (hierro, cobalto y cromo) pero también por iones OH (Hidróxido) del agua.

C. DISPERSIÓN

La dispersión es un fenómeno que afecta la transmisión de la luz de una *Fibra óptica* y es debido a las diferentes velocidades con que viajan las longitudes de onda, y se puede reducir utilizando una fuente de luz monocromática como es el diodo láser.

La dispersión en las *fibras ópticas* causa limitaciones en el ancho de banda y esta determinada por tres razones: dispersión modal, dispersión del material y dispersión de la guía de onda, las cuales interactúan determinando la dispersión total.



REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL EFECTO DE LA DISPERSIÓN EN UN PULSO DE LUZ AL VIAJAR A TRAVES DE UNA FIBRA ÓPTICA.

1. DISPERSION MODAL.

La dispersión modal es causada por el número de modos que se transmiten dentro de la *Fibra óptica* y a la diferencia de velocidades entre ellos, y no es afectada por el ancho de banda espectral de la fuente de luz.

2. DISPERSIÓN DEL MATERIAL.

Como la mayoría de las *fibras ópticas* están hechas de vidrio y este es un material altamente dispersivo que cambia su índice de refracción en función de la longitud de onda, provocando diferentes velocidades de propagación en el material.

3. DISPERSIÓN DE LA GUÍA DE ONDA (DISPERSIÓN INTERMODAL).

Este tipo de dispersión se debe al ancho espectral de la fuente, pues aun cuando permanezca constante el índice de refracción existe un efecto de dispersión del tipo cromático.

Para las *fibras ópticas* multimodo la dispersión del material es siempre mayor que la de la guía de onda que prácticamente resulta despreciable.

D. ANCHO DE BANDA

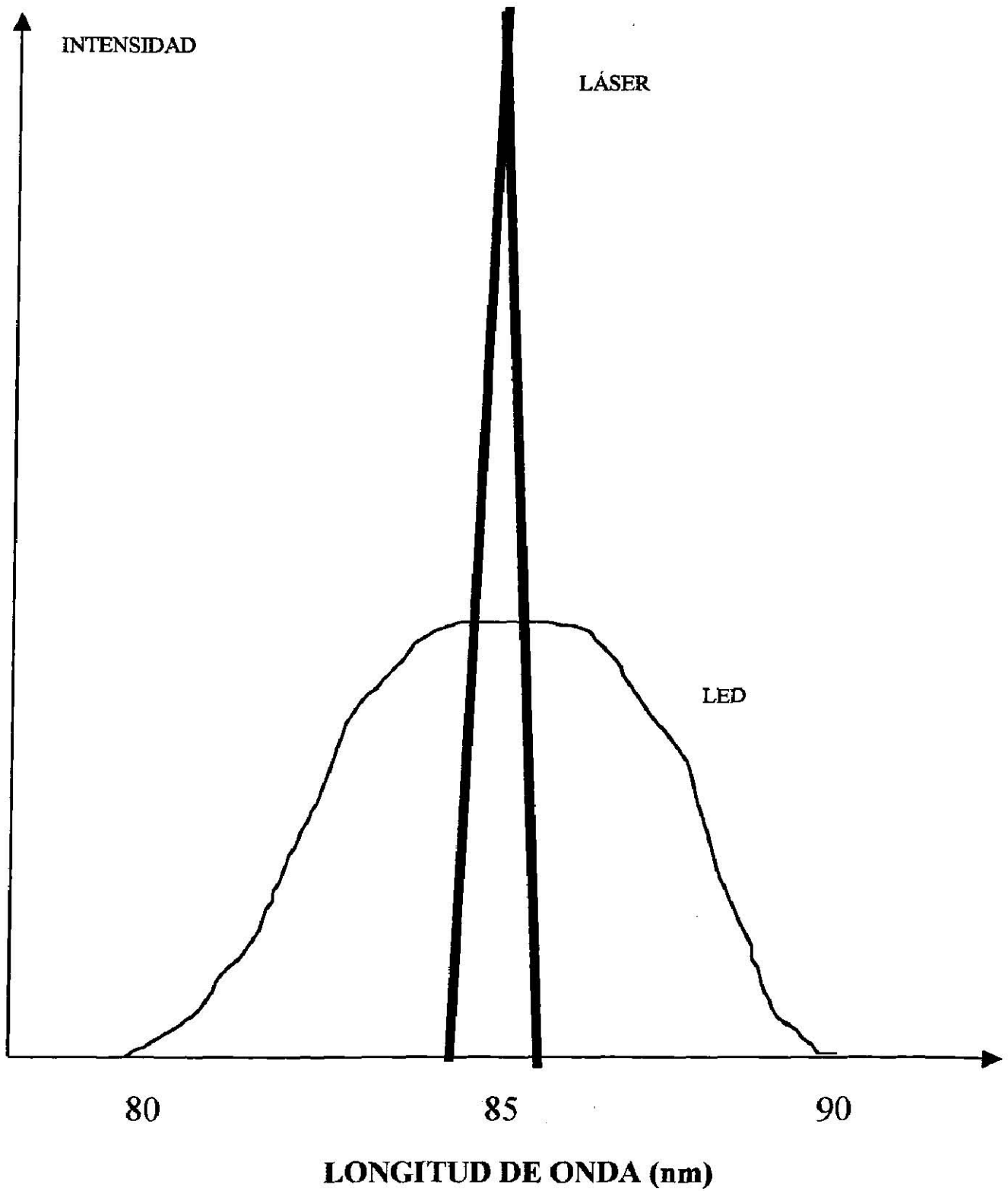
1. DEFINICIÓN DEL ANCHO DE BANDA

Ancho de banda es el método por el cual la capacidad de transmisión de un sistema de comunicaciones es especificado o en otros términos el ancho de banda óptico del sistema es la máxima velocidad de transmisión necesaria para operar el sistema sin tener pulsos empalmados de tal manera que usen un excesivo "Bit Error Rate" (VER), normalmente el ancho de banda especificado para una *Fibra óptica* debe ser mayor o igual al ancho de banda del sistema.

El ancho de banda del sistema no depende solamente del ancho de banda de la *Fibra óptica*, sino también de las características del transmisor, específicamente del ancho de banda espectral y el centro de la longitud de onda.

En aplicaciones de campus en los cuales se requieren longitudes de unos pocos kilómetros son comúnmente utilizados transmisores basados en tecnología tipo led y *Fibra óptica* multimodo.

Bajo estas cortas distancias de enlace (hasta 2 Km.), una *Fibra óptica* cumpliendo con las especificaciones EIA/TIA-568, con un ancho de banda mínimo modal de 160 MHz-Km a 850 nm puede soportar hasta 20 Mbps. Esta misma fibra con un ancho de banda mínimo modal de 500 MHz-Km a 1300 nm puede transmitir hasta 100 Mbps. En ambos casos utilizando un led como fuente de transmisión óptica.



PERFIL ESPECTRAL COMPARATIVO DE UN LÁSER Y UN LED

2. RELACIÓN DE ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.

Ancho de banda y velocidad de transmisión causan muchas confusiones para diseñadores de sistemas y usuarios finales.

El desempeño de los sistemas normalmente se refieren en términos de velocidad de transmisión (Bits por segundo) y el desempeño de la *Fibra óptica* multimodo es especificado en MHz o MHz por Kilómetro (MHz-Km), la conversión entre bits, bytes y bauds y MHz es muy importante para el diseño de sistemas.

El bit es la unidad fundamental de información en un sistema digital y es simplemente un "1" lógico o un "0" lógico, un byte es una palabra digital normalmente compuesta por 8 bits.

Un baud es el número de cambios de estado de una señal en un segundo, también se denomina razón del baud y se miden en bauds por segundo y puede corresponder a la razón de bits por segundo en algunos casos, dependiendo del formato usado para la codificación de los datos binarios.

Tres populares tipos de codificación usados actualmente son:

- NON RETURN TO ZERO (NRZ)
- RETURN TO ZERO (RZ)
- MANCHESTER

IV. **FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO Y MONOMODO**

Existen dos grandes clasificaciones de *fibras ópticas*.

- A. FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO**
- B. FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO**

A. **FIBRAS ÓPTICAS MULTIMODO**

Las *fibras ópticas* multimodo son muy usadas para aplicaciones de campus y distribución en edificios, donde los enlaces son cortos (menos de 2 Km.) y existen muchos conectores. La gran apertura numérica de la *Fibra óptica* multimodo permite el uso de transmisores tipo led relativamente baratos, los cuales para distancias relativamente cortas son mas eficientes.

B. **FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO**

Las *fibras ópticas* monomodo son generalmente utilizados para aplicaciones de larga distancia o aplicaciones que requieren de un ancho de banda extremadamente alto, normalmente utilizan transmisores tipo láser.

Las *fibras ópticas* monomodo son visualmente en apariencia física y composición similares a las *fibras ópticas* multimodo, sin embargo tienen características que difieren en orden de magnitud.

1. DISTANCIA.

FIBRA OPTICA MULTIMODO

Enlaces menores a 2 Km. Para aplicaciones de Ethernet y Token Ring y FDDI cumpliendo con los estándares EIA/TIA 586 y IEEE.802.

FIBRA OPTICA MONOMODO

Enlaces de interconexión de centrales telefónicas hasta de 80 Km.

2. CAPACIDAD

FIBRA OPTICA MULTIMODO

Velocidades de hasta 200 Mbps para enlaces de 2 Km. O menores, para distancias de 100 metros o menos. El ancho de banda es virtualmente limitado.

FIBRA OPTICA MONOMODO

Los equipos comerciales actuales permiten transmisiones de hasta 2 Gbps usando *Fibra óptica* monomodo, pero se ha probado que soporta 20 GHz, por lo que solo limita su ancho de banda virtualmente infinito las características de los transmisores.

3. TIPO DE SISTEMA

FIBRA OPTICA MULTIMODO

Sistemas de voz, datos y vídeo en redes de área local.

FIBRA OPTICA MONOMODO

Aplicaciones de transporte de larga distancia en telefonía debido a su alto ancho de banda y baja atenuación, también se utiliza en sistemas de redes de área metropolitana con requerimientos del alto ancho de banda y enlaces grandes tales como FDDI-MONOMODO, SONET y sistema de interconexión de centros de distribución de televisión por cable.

3. COSTO.

FIBRA OPTICA MULTIMODO

Los sistemas multimodos son típicamente más baratos que los monomodo, por el uso de fuentes ópticas en tecnología de led.

FIBRA OPTICA MONOMODO

Los sistemas monomodos son más caros que los multimodo, desafortunadamente debido a los altos costos de los equipos de transmisión monomodo y esto se acentúa más en las aplicaciones de enlaces cortos.

5. DIMENSIONES DE LA *FIBRA OPTICA*

FIBRA OPTICA MULTIMODO

Hay tres tipos de dimensiones de *Fibra óptica* multimodo: 62.5/125 μm (núcleo/revestimiento), 50/125 μm y 100/140 μm . La industria soporta la estandarización de la *Fibra óptica* de 62.5/125 μm en los Estados Unidos de Norteamérica, también es sugerida por algunos comités internacionales, tal es el caso del estándar EIA/TIA 568 que la especifica.

Por otro lado la *Fibra óptica* 62.5/125 μm presenta la mejor combinación de atenuación, ancho de banda y conectividad para aplicaciones presentes y futuras.

FIBRA OPTICA MONOMODO

Las *fibras ópticas* monomodo tienen diámetros de núcleos típicamente entre 8 y 9 μm y diámetro de revestimiento de 125 μm , debido a lo anterior la apertura numérica es muy pequeña por lo que se deben usar transmisores con láser para concentrar más potencia en una pequeña área.

6. LONGITUD DE ONDA DE OPERACION

FIBRA OPTICA MULTIMODO

Las *fibras ópticas* multimodo son diseñadas para operar a 850 nm o 1300 nm o a ambas longitudes de onda.

La atenuación es menor a 1300 que a 850 nm.

El ancho de banda es mayor a 850 que a 1300 nm.

Es importante señalar que al seleccionar una *Fibra óptica* tenga dos ventanas de operación (850 y 1300 nm) ya que en una aplicación Ethernet (10 Mbps) se requiere una longitud de onda de 850 nm y para FDDI de 100 Mbps se necesita una longitud de onda de 1300 nm.

Es conveniente indicar que el estándar EIA/TIA 568 especifica *fibras ópticas* de doble ventana (850 y 1300 nm) y de 62.5/125 μm .

FIBRA OPTICA MONOMODO

Las *fibras ópticas* monomodo son diseñadas usualmente para operar en una longitud de onda de 1310 nm pero también es aceptada la longitud de onda de 1550 nm en aplicaciones de telefonía, debido a la atenuación y dispersión que la *Fibra óptica* monomodo presenta a 1550 nm.

V. FABRICACIÓN DE LA *FIBRA ÓPTICA*

Las *fibras ópticas* utilizadas en aplicaciones de comunicaciones deben fabricarse utilizando materiales específicos, métodos de fabricación especiales así como el proceso de estirado y acabado final de la fibra.

A. MATERIALES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS *FIBRAS ÓPTICAS*.

Los materiales utilizados para la fabricación de las *fibras ópticas* deben tener características mecánicas y ópticas específicas.

- Que puedan fabricarse fibras largas, delgadas y flexibles.
- Que tengan la capacidad de ser transparentes a una longitud de onda específica para que puedan transmitir eficientemente la luz.
- Que los materiales sean compatibles entre si, pero con mínima diferencia entre sus índices de reflexión.

Los materiales que cumplen de mejor manera estos requisitos son el vidrio y el plástico.

1. *FIBRAS ÓPTICAS* DE VIDRIO.

El vidrio que se utiliza en la fabricación de las *fibras ópticas* tiene que ser ópticamente transparente como en el caso del cuarzo, para lograr materiales basados en el cuarzo con índices de refracción ligeramente diferentes, se dopa el cuarzo (SiO_2) con otros materiales como el flúor. Algunos dopantes incrementan el índice de refracción (GeO_2 y P_2O_5), mientras otros lo decrementan (Flúor y B_2O_3).

En la estructura de la *Fibra óptica* el revestimiento debe tener un índice de refracción menor al del núcleo.

NÚCLEO	REVESTIMIENTO
GeO_2 - SiO_2	SiO_2
P_2O_5 - SiO_2	SiO_2
SiO_2	B_2O_3 - SiO_2
GeO_2 - B_2O_3 - SiO_2	B_2O_3 - SiO_2

El cuarzo puro es conocido también como vidrio puro, vidrio de cuarzo o vidrio fundido y tiene las siguientes propiedades.

- Resistencia a las altas temperaturas (1000 °C).
- Resistencia a la ruptura por choque térmico.
- Baja expansión térmica .
- Durabilidad térmica.
- Alta transparencia óptica en la región visible y en el infra-rojo.

2. FIBRAS ÓPTICAS CON NÚCLEO DE VIDRIO Y REVESTIMIENTO PLÁSTICO.

Este tipo de *fibras ópticas* tienen altas pérdidas y bajo costo y se utilizan en enlaces cortos.

El núcleo es de cuarzo y el revestimiento de un material polímero (plástico), son llamadas también "*Fibras Ópticas PCS*" (Plastic Clad Silicia).

3. FIBRAS ÓPTICAS PLÁSTICAS

Las *fibras ópticas* plásticas utilizan plástico tanto en el núcleo como en el revestimiento.

Las *fibras ópticas* plásticas tienen las siguientes características:

- El ancho de banda es muy bajo.
- O para aplicaciones de Ethernet a 10 Mbps a 100 metros máximo.
- Muy flexibles.
- Alta durabilidad.
- Usadas en aplicaciones médicas , automotrices señalización, vídeo de displays e industriales.
- Alta resistencia a los impactos transversales.
- No requiere de cuidados especiales en su instalación.

B. MÉTODOS DE FABRICACIÓN.

Las *fibras ópticas* se fabrican bajo dos técnicas:

- Proceso de deposición de vapores.
- Método de fusión directa.

1. PROCESO DE DEPOSICIÓN DE VAPORES.

Este proceso consiste en obtener vapores de óxidos de metales que al ser calentados pro medio de un quemador de hidróxido suspendido y mediante calor se aglomera consolidándose la capa de polvo depositada (sinterizado) y posteriormente se eliminan los huecos que el material tiene, para de esta manera realizar el colapsado.

Este proceso se lleva a cabo mediante cinco métodos:

- Método de deposición modificada de vapores químicos (M.C.V.D.).
- Método de deposición externa de vapores químicos (O.C.V.D.).
- Método de deposición axial de vapores químicos por plasma.
- Método de deposición de vapores químicos por calentamiento por medio de microondas.

2. MÉTODO DE FUSIÓN DIRECTA.

Este método es también llamado de doble crisol y aquí las varillas de vidrio que forman el núcleo y el revestimiento se elaboran por separado. Primero se realiza la mezcla de polvos de vidrios purificados los cuales son fundidos en un crisol y agitados para formar una mezcla homogénea. Posteriormente se forma una varilla de alimentación a partir de una varilla semilla que se incorpora por inmersión al vidrio fundido para posteriormente retirarla lentamente a través de un anillo enfriador. Una vez que el vidrio sale de la varilla semilla se solidifica para tomar una forma cilíndrica de 5 a 10 mm de diámetro y algunos metros de longitud.

Las varillas son alimentadas en dos crisoles concéntricos calentados simultáneamente un crisol contiene el núcleo y el otro el revestimiento.

Es importante hacer notar que durante el proceso se tiene un alto riesgo de contaminantes debido a los crisoles y al horno.

Se tienen algunas ventajas y desventajas con respecto a la primera técnica:

DESVANTAJAS:

- Se obtienen fibras con alta dispersión.
- La resistencia y durabilidad mecánica es menor que la otra técnica.
- Las pérdidas aumentan debido a la baja pureza de la fibra.

VENTAJAS:

- Es un proceso continuo y más económico.
- Se obtienen altas aperturas numéricas para longitudes de onda bajas.

C. ESTIRADO Y ACABADO FINAL DE LA *FIBRA ÓPTICA*.

Las preformas obtenidas por medio del proceso de deposición de vapores se limpian y se pulen, posteriormente son sometidas a una temperatura de 2,200 °C en un horno. Aquí es donde se funden las preformas y se estiran, convirtiéndose en las fibras definitivas.

Posteriormente se pasa al recubrimiento primario para darle protección mecánica axial y evitar la contaminación de la *Fibra óptica*.

La cubierta primaria puede ser fabricada de acrilatos epoxicos o polímero de silicio.

La velocidad de aplicación de la cubierta primaria o recubrimiento en varias capas, siempre monitoreando el diámetro de la *Fibra óptica*.

Finalmente pasa a un carrete para su almacenaje.

VI. CABLES DE *FIBRAS ÓPTICAS*.

En aplicaciones prácticas las *fibras ópticas* deben estar protegidas contra esfuerzos mecánicos y ambientales que puedan afectar las características de transmisión de la misma, por esta razón es necesario construir estructuras especiales de cable.

A. GENERALIDADES

1. CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE CABLE A SELECCIONAR.

El tipo de cable de *Fibra óptica* a seleccionar debe cumplir las siguientes características:

- Flexibilidad
- Identificación de fibras.
- Peso.
- Torsión.
- Vibración.
- Límite de Tensión.
- Facilidad de pelado.
- Facilidad de cortado.
- Facilidad de alineación del cable y la *Fibra óptica*.
- Resistencia química.
- Resistencia al fuego.
- Resistencia a la penetración de agua.

2. CONDICIONES AMBIENTALES CONSIDERADAS PARA LOS CABLES DE *FIBRA ÓPTICA*.

Las condiciones ambientales que deben ser consideradas para la selección del tipo de cable de *Fibra óptica* son:

- Temperatura
- Viento.
- Daño por sal.
- Lluvia.
- Nieve y hielo.
- Humedad.
- Descargas atmosféricas.
- Terremotos.
- Luz solar (rayos ultravioleta).
- Daño por roedores.

B. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

El vidrio es considerado mecánicamente débil, sin embargo cuando se presenta en forma de fibras su resistencia longitudinal a la ruptura esta muy cerca de la del acero.

El vidrio puede elongarse hasta 1%, mientras el cobre puede llegar al 20% de elongación.

1. SE DEBEN TOMAR EN CUENTA DOS FACTORES MUY IMPORTANTES.

- a) MICROCURVATURAS.
- b) MACROCURVATURA.

a) MICROCUVATURA.

Debido a las microfracturas se limita la fuerza de tensión y están en función de la existencia de deformaciones en al superficie de las *fibras ópticas* debido a las impurezas OH ocasionadas en el proceso de fabricación o en el período de su vida útil, por lo que los esfuerzos mecánicos se concentran en esos puntos.

La penetración de agua provoca grietas o el crecimiento de las mismas en la superficie de la *Fibra óptica*.

Es muy importante considerar protecciones contra humedad.

b) MACROCURVATURAS.

Durante el proceso de fabricación de un cable de *Fibra óptica* debe cuidarse que las características de transmisión ópticas no sean afectadas por dobleces en el eje de la fibra, ya que pueden ocasionar problemas en el acoplamiento de energía de los modos de propagación en las *fibras ópticas* multimodo así como perdidas de radiación tanto en las *fibras ópticas* multimodo como en las monomodo.

Debido a lo anterior se debe tener un diseño apropiado en las cubiertas de las fibras.

2. SE DEBEN CONSIDERAR LOS SIGUIENTES ASPECTOS.

- a) Proteger las fibras contra esfuerzos mecánicos.
- b) Aislar las *fibras ópticas* del registro de los elementos del cable.
- c) Situar las *fibras ópticas* lo mas cerca del eje central.
- d) Seleccionar materiales con diferencias mínimas en su coeficiente de expansión térmica.

C. ELEMENTOS DE UN CABLE ÓPTICO.

Los elementos que componen un cable óptico son:

1. Cubierta primaria.
2. Cubierta secundaria.
3. Miembro de tensión.
4. Barrera contra la humedad.
5. Armadura.
6. Cubiertas del cable.
7. Barrera térmica.

1. CUBIERTA PRIMARIA.

La cubierta se le coloca a la *Fibra óptica* durante la fabricación, una vez concluido el proceso de estirado y se obtienen los siguientes beneficios:

- a) Evita la entrada de humedad.
- b) Evita microfisuras.
- c) Evita daños superficiales.

2. CUBIERTA SECUNDARIA.

La cubierta secundaria brinda protección radial por esfuerzos mecánicos. Hay dos tipos de cubierta secundaria:

- a) Tubo holgado.
- b) Tubo apretado.

a) TUBO HOLGADO.

Las *fibras ópticas* están contenidas en tubos termoplásticos con holgura que permita movimientos de las mismas, para de esta manera evitar esfuerzos de tensión durante la instalación y después de la instalación (cables aéreos), así como compensar contracciones térmicas que provoquen microcurvaturas.

Los tubos termoplásticos se rellenan con gel (material higroscópico), las *fibras ópticas* son mas largas que ellos para amortiguar los esfuerzos mecánicos.

En este tipo de cubierta se tienen menos pérdidas en las *fibras ópticas* que las de tubo apretado.

Los tubos tienen un diámetro entre 1.4 mm y 3 mm y se pueden colocar hasta 12 *fibras ópticas* por tubo.

b) TUBO APRETADO.

En este caso se le coloca un recubrimiento grueso sobre la cubierta primaria y puede ser entre 0.8 mm y 1 mm de diámetro y los materiales que se utilizan pueden ser polietileno, nylon, poliéster o polipropileno. Dicha cubierta se coloca mediante extrusión, el cual debe realizarse con sumo cuidado para evitar pérdidas excesivas por esfuerzos mecánicos y cambios de temperatura. La pérdida durante este proceso debe ser menor a 0.1 dB/Km.

3. MIEMBROS DE TENSIÓN.

El miembro de tensión tiene la función de incrementar la carga emitida en un cable, por lo que debe tener:

- a) modulo de elasticidad alto
- b) flexibilidad
- c) fuerza mecánica aceptable
- d) dimensiones adecuadas
- e) bajo peso por unidad de longitud
- f) coeficiente de expansión térmica adecuado
- g) precio razonable

Los materiales con que se fabrican los miembros de tensión pueden ser:

- a) ACERO.
- b) FILAMENTO PLÁSTICO.
- c) FIBRAS SINTÉTICAS.
- d) FIBRAS DE VIDRIO.
- e) PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRAS.

a) ACERO

Se utiliza como miembro de tensión central cuando se usa en forma de alambre o cable y como cuando se utiliza en forma de fleje y malla. El rango de tensión a la ruptura esta entre 540 a 3100 N/m, tiene un alto peso y no se puede utilizar en aplicaciones dieléctricas.

b) FILAMENTO PLÁSTICO.

Diseño de una Red de Fibra Optica

Se fabrica con un filamento de poliéster para brindar un alto modulo de elasticidad y mínima variación en sus dimensiones a altas temperaturas, tiene además una gran resistencia mecánica y poco peso.

c) FIBRAS SINTÉTICAS.

Las fibras sintéticas tienen un alto modulo de elasticidad y bajo peso, como es el caso de la aramida (Kevlar).

d) FIBRAS DE VIDRIO.

En algunos casos las fibras de vidrio proporcionan suficiente fuerza de tensión y en otros casos se combinan con otros materiales para aumentar su resistencia mecánica.

e) PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRAS.

Las fibras de materiales plásticos se combinan con fibras de vidrio o de carbón de tal manera que se obtienen plásticos rígidos o semirígidos que tienen un modulo de elasticidad similar al del acero pero con un bajo peso.

Los miembros de tensión se pueden clasificar por su forma en cilíndrico o central.

4. BARRERA CONTRA LA HUMEDAD.

Los materiales utilizados como barrera contra la humedad deben ser:

- a) Repelentes al agua.
- b) Transparentes.
- c) No tóxicos.
- d) Presentar tal viscosidad que no escurra.

Un material con estas características es la jalea de petrolato (gel) y normalmente se usan como relleno de los tubos holgados y como compuesto inundante para los espacios libres que dejan los elementos del cable.

Se tienen también pantallas metálicas recubiertas con polietileno longitudinales como barreras de humedad.

Finalmente para tener más seguridad se puede presurizar el cable con aire seco o nitrógeno.

5. CUBIERTAS DEL CABLE.

Las cubiertas del cable proporcionan protección mecánica, térmica y química al núcleo. Es importante hacer notar que los materiales con que se construyan las cubiertas deben tener una expansión térmica similar a los componentes adyacentes del cable para que no se transmitan esfuerzos mecánicos a las *fibras ópticas*.

Los materiales más utilizados en la fabricación de las cubiertas son:

- a) POLIETILENO (PE).
- b) CLORURO DE POLIVINILO (PVC).

a) POLIETILENO (PE).

Es un material que tiene excelentes propiedades eléctricas y mecánicas, es fácil de colorear, buena flexibilidad en frío, resistencia a la humedad, aceites, productos químicos y al ozono y con un precio relativamente bajo.

El polietileno no contiene plastificantes y es altamente propagador de la flama por lo que se debe utilizar en aplicaciones de planta exterior.

Por otro lado se le tiene que agregar un pigmento de negro de humo para evitar daños por radiación ultravioleta.

b) CLORURO DE POLIVINILO (PVC).

El PVC es un material termoplástico recomendado para temperaturas entre 5 y 70 °C. Tiene un buen desempeño a la fricción, se le pueden dar diferentes grados de dureza por medio de plastificantes, es resistente al envejecimiento, al ozono, ácidos, álcalis, aceites y solventes.

El PVC es un material de bajo nivel de combustión pero los plastificantes mezclados con él para ablandarlo no.

6. ARMADURA.

La armadura tiene como función la protección del cable contra daños mecánicos, roedores y termitas.

La armadura de un cable puede ser de dos tipos; de fleje o de alambre. El material más utilizado es el acero, cuando se utiliza en forma de fleje se hace un proceso de corrugado para darle una mayor flexibilidad.

La armadura debe colocarse sobre una cubierta interna de polietileno para de esta manera no transmitir esfuerzos mecánicos a las *fibras ópticas*, y también se coloca otra cubierta de polietileno sobre la armadura para facilitar su manejo.

La barrera térmica sirve para evitar daños a los componentes del cable durante su fabricación (extrusión de cubiertas), normalmente se utilizan en forma de cintas helicoidales que envuelven el núcleo del cable.

Los materiales que normalmente se utilizan son el teraftalato de polietileno (cinta maylar) y el papel de madera.

D. ESTRUCTURA BÁSICA DE UN CABLE DE *FIBRAS ÓPTICAS*.

Los cables de *fibras ópticas* están basados en tres tipos básicos de construcción:

1. ELEMENTO CENTRAL DE TENSIÓN (ETC).
2. NÚCLEO RANURADO (NR).
3. ELEMENTO EXTERIOR DE TENSIÓN (EET).

1. ELEMENTO CENTRAL DE TENSIÓN (ETC).

En esta estructura se coloca un miembro de tensión en el centro del cable y alrededor de él se colocan las *fibras ópticas* con su cubierta secundaria (tubo apretado o tubo holgado) en forma helicoidal, rellenando los espacios vacíos con gel.

Lo anterior se agrupa con una cinta de maylar para mantener las fibras en su lugar y también para servir como barrera térmica en los procesos subsiguientes de extrusión de cubiertas, dando lugar a lo que normalmente se denomina el núcleo del cable.

Sobre el núcleo del cable se colocan el resto de los elementos que confirmaran el cable, de acuerdo al diseño requerido como son la cubierta interna, barrera contra humedad, armadura, elementos de suspensión, etc.

Este tipo de estructura es la más utilizada ya que tiene las siguientes ventajas:

- Se obtienen cables de dimensiones reducidas.
- Buena flexibilidad.
- Facilidad en el proceso de preparación del cable para la conectorización empalme del mismo.

2. NÚCLEO RANURADO (NR).

En este tipo de estructura al miembro central de tensión se le agrega una cubierta plástica de mucho espesor con ranuras se alojan las *fibras ópticas* en su cubierta secundaria o primaria, en cada ranura se puede colocar mas de una *Fibra óptica*.

Al usar este tipo de estructura de núcleo se logra aislar las fuerzas de tensión y da mas libertad de movimiento a las *fibras ópticas*. Sobre este tipo de núcleo se pueden colocar el resto de los elementos del cable.

Con este tipo de estructura se obtienen cables de mayor diámetro que el del elemento central de tensión. Por lo que los radios de curvatura deben ser mayores así como también el proceso de preparación del cable de *fibra óptica* para su conectorización y empalme es mas laboriosa.

3. ELEMENTO DE TENSIÓN EXTERIOR (EET).

En este tipo de estructura se emplea un elemento de tensión externo, el cual contiene las *fibras ópticas* las cuales pueden reunirse por medio de un espiral de plástico o por una cinta plástica, formando una estructura rectangular compacta.

Las *fibras ópticas* contenidas solo pueden ir con su cubierta primaria o con cubierta secundaria del tipo tubo apretado.

Los cables de *fibra óptica* que utilizan este tipo de estructura, son utilizados cuando se requiere alta densidad de *fibras ópticas* en diámetros pequeños y también cuando se necesita una alta resistencia a la tensión.

E. TIPOS DE CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS.

Los diferentes tipos de cables de *fibras ópticas* pueden clasificarse de acuerdo a las siguientes divisiones:

1. CABLES DE TUBO HOLGADO.
2. CABLES DE TUBO APRETADO.
3. CABLES DIELECTRICOS.
4. CABLES ARMADOS.
5. CABLES AÉREOS.
6. CABLES DE INTERCONEXIÓN DE EDIFICIOS (CAMPUS).

7. CABLES DE INTERCONEXIÓN DE NIVELES DE UN EDIFICIO (RISER).
8. CABLES DE USO EN EL HORIZONTAL.
9. CABLES DE INTERCONEXIÓN.

CABLES DE TUBO HOLGADO.

Los cables de tubo holgado son principalmente utilizados para enlaces de enlaces entre edificios o backbone campus, su utilización también se refiere a la planta externa, estos cables normalmente conectan el distribuidor principal con distribuidores intermedios.

Las fibras están contenidas en tubos rellenos de gel, con el fin de aislar fuerzas. Este diseño es el mas ampliamente utilizado en al industria ya que conservan establemente los parámetros de transmisión y aseguran una larga vida.

Los cables de *fibra óptica* de tubo holgado tienen las siguientes características:

- a) Son más robustos que los cables basados en tubo apretado, en cuanto a las instalaciones exteriores.
- b) Son más apropiados para instalaciones exteriores de enlaces largos.
- c) Alta capacidad de *fibras ópticas*, hasta 216 fibras.
- d) Alta densidad de empaquetado, específicamente para cables mayores de 24 *fibras ópticas*.
- e) Usualmente menos caros que los cables para interior en la relación metro-fibra.
- f) Es fácil realizar empalmes.
- g) Los cables de tubo holgado están especificados para operar en un amplio rango de temperatura.
- h) Proporcionan una excelente protección contra la penetración de agua cuando se utilizan en la característica de campus.
- i) Cuando se utiliza en ambientes exteriores puros representan la mejor opción.
- j) Tienen más área de sección que los de tubo apretado por lo que hay que considerar esto cuando se tengan problemas de capacidad de infraestructura de transporte de cables.
- k) Las fibras contenidas en el tubo holgado deben ser terminadas en elementos tipo pigtail.
- l) Es necesario utilizar cajas de interconexión de *fibra óptica* (LIU's) para terminar las fibras en los extremos del enlace.

2. CABLES DE TUBO APRETADO

Los cables de tubo apretado son la segunda mejor categoría de cables de *fibra óptica*, son diseñados para aplicaciones de backbone campus, backbone riser, cableado horizontal e interconexiones.

Los cables de tubo apretado contienen *fibras ópticas* las cuales están protegidas con un material termoplástico de 900 um comparado con los 250 um de las fibras en tubo holgado.

Los cables de *fibra óptica* de tubo holgado tienen las siguientes características:

- a) Son más sensibles a bajas temperaturas.
- b) Soportan menos esfuerzos mecánicos.
- c) Tienen más flexibilidad que los cables de tubo holgado.
- d) El radio de curvatura mínimo es menor que los de tubo holgado.
- e) Tienen un fácil manejo en bajas capacidades de fibras.
- f) Cumplen el requerimiento de baja flamabilidad de la NEC (National Electrical Code).
- g) Requieren de menos tiempo y equipo que las conectorizan sobre tubo holgado.
- h) Cuando cada *fibra óptica* contenida en un tubo apretado esta protegida con un elemento de tensión individual se puede usar en stensiones.
- i) No es necesaria su terminación en un LIU (Caja de Interconexión de *fibra óptica*) ya que no requiere de la protección que esta brinda.

3. CABLES DIELECTRICOS.

Los cables dieléctricos tienen materiales no conductores, y tienen las siguientes características:

- a) Todos los cables dieléctricos de uso exterior son recomendados para uso de campus tanto en instalaciones por canalización aéreas.
- b) Eliminan la necesidad de aterrizar el cable en la entrada de los edificios para evitar descargas eléctricas.
- c) Los cables dieléctricos pueden ser instalados en corridas paralelas con cables eléctricos sin recibir inducción de voltaje.
- d) Son utilizados en aplicaciones directamente enterrados donde no existe la posibilidad de roedores y rocas sólidas.

4. CABLES ARMADOS.

Los cables de *fibra óptica* armada, tienen una cubierta metálica normalmente corrugada y tienen las siguientes características:

- a) La armadura debe ser aterrizada en la entrada de los edificios.
- b) Los cables de *fibra óptica* armada con miembro central de tensión dieléctrica son recomendados para usarse directamente enterrada para brindar protección contra roedores, rocas así como para brindar protección general extra.

5. CABLES AÉREOS.

Los cables de *fibra óptica* aéreos cuentan con una guía de acero integrada al cuerpo del cable y tienen las siguientes características:

- a) Su instalación entre postes o puntos de apoyo aéreo es relativamente fácil, ya que en otros tipos de cables sin guía de acero, es necesario hilar el cable de fibra a un hilo mensajero.
- b) No es recomendable su uso en aplicaciones mixtas (interior y exterior) y en canalización ya que la guía de acero dificulta su instalación en ductos, escalerillas de aluminio y conduits.

6. CABLES DE INTERCONEXIÓN DE EDIFICIOS (CAMPUS).

Los cables de interconexión de edificios son usados para conectar el distribuidor principal con distribuidores intermedios en un ambiente de campus, y tienen las siguientes características:

- a) Tienen protecciones contra rayos ultravioleta, barreras de humedad y contra ciclos de temperatura.
- b) Su uso es recomendable cuando se tienen enlaces con longitudes mas largas en ambiente exterior que la longitud de entrada a los edificios (interior).
- c) Pueden ser usados tanto en interior como en exterior.
- d) Pueden contener una alta capacidad de *fibras ópticas* cuando es considerada la opción de tubo holgado.
- e) Tiene una excelente protección mecánica.
- f) Pueden operar en condiciones ambientales agresivas.

7. CABLES DE INTERCONEXIÓN DE NIVELES DE UN EDIFICIO (RISER).

Los cables de interconexión de niveles de un edificio son normalmente utilizados para conectar el distribuidor principal con distribuidores intermedios en un ambiente de RISER u tiene las siguientes características:

- a) Son cables con un menor diámetro que los de ambiente de campus.
- b) Tienen menor peso y mayor flexibilidad que los de campus lo cual implica una mayor facilidad de instalación.
- c) Es más fácil la preparación de las puntas del cable para el proceso de conectorización y empalme.
- d) Requieren de conduits de menor diámetro que un cable de campus.
- e) Cumplen con la normatividad de propagación de flama de la NEC.
- f) Tienen un radio de curvatura menor que los cables de campus.

8. CABLES DE USO EN EL HORIZONTAL.

Los cables usados en el cableado horizontal conectan los closets de comunicaciones en las áreas de trabajo de manera similar que lo hace un cable de UTP.

Este tipo de cables pueden contener solo *fibras ópticas* o *fibras ópticas* y pares de cobre (cables híbrido).

Las características de este tipo de cable son las siguientes:

- a) Tienen un diámetro muy similar a los cables UTP de 4 PS.
- b) Permiten radios de curvatura muy pequeños.
- c) Tiene una gran facilidad de preparación de puntas para su conectorización.
- d) Las *fibras ópticas* contenidas utilizan tubo apretado.
- e) Utilizan aramida (kevlar) como elemento de tensión y protección mecánica,
- f) Cumple con el requerimiento de la NEC en cuanto a al propagación de flamas.
- g) Son flexibles.

9. CABLES DE INTERCONEXIÓN.

Los cables de interconexión son los recomendados para usarse en los Patch Cords de fibra óptica o pequeños enlaces dentro de una site de comunicaciones. Y tiene las siguientes características:

- a) Son los cables de *fibra óptica* más flexibles.
- b) Soportan pequeños radios de curvatura.

Diseño de una Red de Fibra Óptica.

- c) Son visualmente estéticos.
- d) Tienen una larga vida y confiabilidad.
- e) Sus presentaciones más comunes son de 1 y 2 *fibras ópticas*.
- f) No requieren de una protección mecánica ya que su uso es en condiciones controladas.
- g) Son fácilmente conectorizables.

F. TIPOS DE AMBIENTES PARA LA INSTALACIÓN DE CABLES DE FIBRAS ÓPTICAS.

Básicamente se consideran tres tipos de ambientes para la utilización de cables de *fibra óptica*.

1. AMBIENTE INTERIOR.
2. AMBIENTE EXTERIOR.
3. AMBIENTE MIXTO (INTERIOR Y EXTERIOR).

1. AMBIENTE INTERIOR.

Se define como ambiente interior aquel el cual se localiza en el interior de un edificio o bien en un área dentro de una nave industrial cerrada.

En general los cables de tubo apretado son recomendados para usar en interior por su facilidad de manejo, además de que estos generalmente cumplen con los requerimientos.

En este tipo de ambiente se pueden utilizar cables designados como plenum o no plenum. Plenum se refiere a la capacidad del forro del cable de no emitir humos tóxicos y baja emisión de humos ya que normalmente este tipo de cables se localizan en las cámaras plenum utilizadas para el retorno del sistema de aire acondicionado.

La UL designación para el NEC artículo 770 para cables de *fibra óptica* enuncia lo siguiente:

DESCRIPCIÓN DEL CABLE	DESIGNADOR	APLICACIONES	SUBSTITUCIÓN
CABLE DE FIBRA ÓPTICA CONDUCTIVO	OFC	PROPÓSITO GENERAL	OFNR/OFNR
CABLE DE FIBRA ÓPTICA NO CONDUCTIVO	OFN	PROPÓSITO GENERAL	OFNP/OFNP
RISER INDUCTIVO	OFNR	RISER	OFNP/OFNP
RISER NO INDUCTIVO	OFNR	RISER	OFNP/OFNP
PLENUM CONDUCTIVO	OFCP	PLENUM	N.A.
PLENUM NO INDUCTIVO	OFNP	PLENUM	N.A.

2. AMBIENTE EXTERIOR.

Se define como ambiente exterior aquel que se localiza en los exteriores de los edificios que comprenden un campus o un área geográfica delimitada.

Los cables de tubo holgado son recomendados para aplicaciones en exteriores por su excelente resistencia y diseño compacto.

Debido a los rellenos que contiene los tubos apretados y el cable mismo, este diseño no es apropiado para usar en interiores y si se usa no debe exceder de 15 metros en la entrada de un edificio o de un ambiente interno, sin embargo podría transportarse a una distancia más larga si el cable está contenido en un tubo metálico rígido. Lo anterior de acuerdo como una recomendación de la NEC.

3. AMBIENTE MIXTO (INTERIOR Y EXTERIOR).

Ambiente mixto se define como aquel en donde convive un cable con un ambiente exterior como interior. Tal es el caso de interconexiones entre edificios no muy largos o en donde no es deseable el uso de cajas de acometida de interface de *Fibra óptica* o bien donde no es posible hacer el cambio del tipo de cable para acometer los edificios.

Se pueden utilizar tanto cables de tubo holgado como de tubo apretado y la elección depende del costo y relación de distancia exterior contra interior.

Básicamente hay tres opciones:

- Usar solamente cables de tipo holgado.
- Usar solamente cables de tubo apretado.
- Usar una combinación de los tipos de cables en un punto de empalme de transición.

Consideraciones generales:

- Los cables de tubo holgado deben ser instalados en tubos metálicos en el interior.
- Los cables de tubo apretado deben ser instalados en ductos en el exterior.
- Debido a que los cables de tubo apretado y holgado tienen diferentes costos es necesario evaluar económicamente la opción de utilizar un empalme de transición.
- El empalme de transición es relativamente fácil realizarlo pero requiere de mano de obra y materiales especializados. Además que implica una pérdida del sistema.
- Cualquiera de los tres métodos es aceptable y al utilización depende de los factores involucrados tales como son el número de fibras, la longitud de la infraestructura

Diseño de una Red de *Fibra Optica*.

especial requerida, sensibilidad del cliente así como normas seguidas en la instalación del sistema.

- Para instalaciones de cable directamente enterrado y aéreas utilizar cables de tubo holgado.
- Para instalaciones en ducto metálico de más de 500 mts. Utilizar cables de tubo holgado.
- Cuando se tengan limitaciones en al capacidad de los ductos utilizar cables de tubo holdado.

VII. CONECTORES DE FIBRAS ÓPTICAS.

A. GENERALIDADES DE LOS CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA.

Después de que un cable de *fibra óptica* ha sido instalado este debe ser terminado por medio de conectores, para que de esta manera las *fibras ópticas* puedan ser accedadas y puestas en servicio.

Cuando se necesita unir dos fibras de manera fácil y temporal se utilizan los conectores de *fibra óptica*. Existen dos grandes grupos de conectores de *fibra óptica*:

1. DE ACERCAMIENTO MECÁNICO DE PRECISIÓN DE LOS EXTREMOS DE LA FIBRA. Los cuales utilizan estructuras que requieren de precisión lateral, azimutal y longitudinal para lograr el alineamiento requerido de la fibra.
2. DE ACERCAMIENTO ÓPTICO DE LOD FRENTE DE ONDA DE LA FIBRA A UNIR. En este caso se utilizan lentes para ayudar en el proceso de alineamiento de las dos fibras a unir, logrando mejores tolerancias angulares.

Los conectores más utilizados son los pertenecientes al primer grupo ya que combinan diferentes factores tales como costos, pérdidas ópticas, durabilidad, facilidad de instalación, variedad de la estructura de los conectores, etc.

B. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN DE CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA.

PERDIDA DE POTENCIA ÓPTICA. Las pérdidas de los conectores pueden variar de acuerdo al tipo de conector así como de el fabricante que los produzca.

REPETIBILIDAD. La pérdida de inserción de un conector usualmente varia de acuerdo al número de veces que este es insertado en un acoplador de *fibra óptica*, ya que la cara final del conductor va sufriendo un desgaste.

DURABILIDAD. La calidad de las propiedades mecánicas del conector determinan el desempeño consistente del mismo.

FACILIDAD DE USO. Algunos conectores son más fácil de manejar que otros.

FACILIDAD DE INSTALACIÓN. Algunos conectores requieren de herramientas especiales y complicados procesos de instalación así como de entrenamiento y práctica mientras otros solo necesitan pocas herramientas y un corto entrenamiento.

COSTO. Los costos varían de acuerdo al proceso de manufactura y tipo de conector.

C. TIPOS DE CONECTORES DE *FIBRA ÓPTICA*.

Los conectores de fibra más populares son los siguientes:

1. CONECTOR TIPO ST.
2. CONECTOR TIPO SC.
3. CONECTOR TIPO FDDI.
4. CONECTOR TIPO SMA (905/906).
5. CONECTOR TIPO FC/FC-PC.
6. CONECTOR TIPO D4/D4-PC.
7. CONECTOR TIPO BICONICO.
8. CONECTOR TIPO MINI BNC.
9. CONECTOR TIPO ESCON.

1. CONECTOR TIPO ST.

- a) Son los más comúnmente utilizados y ampliamente aceptados para aplicaciones de redes de área local ya sea en enlaces tipo backbone RISER, campus y horizontal.
- b) Se usan principalmente en aplicaciones de *fibras ópticas* multimodo, también se pueden utilizar en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo.
- c) La punta esta fabricada de cerámica, cerámica/zirconia y acero cromado.
- d) Tienen una pérdida de 0.3 dB.
- e) Tiene una pérdida adicional de 0.2 dB por cada 1000 conexiones (que es su vida útil aproximadamente).

2. CONECTOR TIPO SC.

- a) Son utilizados y aceptados para aplicaciones de redes de área local ya sea en enlaces tipo backbone RISER, campus y horizontal.
- b) Se usan principalmente en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo pero su uso en aplicaciones de *fibra óptica* multimodo esta creciendo.
- c) La punta esta fabricada de cerámica, cerámica/zirconia, vidrio de cerámica y vidrio en polímero.
- d) Tienen una pérdida de 0.3 dB.
- e) Compatible con las recomendaciones de FDDI.
- f) Tienen un mecanismo de conexión tipo PUSH-PULL para facilidad en la conexión.
- g) Tiene aplicaciones para espacios donde se requiera alta densidad de conectores.
- h) Esta disponible en versión simple y dúplex.

- i) El cable de *fibra óptica* que alimenta al conector debe ser asegurado para prevenir desconexiones temporales por cargas axiales.

3. CONECTOR DE TIPO FDDI.

- a) Su uso en aplicaciones de redes de área local esta creciendo, ya sea en enlaces tipo backbone RISER, campus y horizontal.
- b) Se usan en aplicaciones de *fibra óptica* multimodo y no son utilizados en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo.
- c) La punta esta fabricada de cerámica/zircona.
- d) Tienen una perdida de 0.3 dB.
- e) Es el idealmente compatible con las recomendaciones de FDDI.
- f) Tienen un mecanismo de conexión tipo PUSH-PULL para facilidad en la conexión.
- g) Con un adaptador apropiado puede ser directamente acoplado con dos conectores tipo ST.
- h) Solo esta disponible en versión dúplex.

4. CONECTOR TIPO SMA (905/906).

- a) Su uso principal es del tipo militar pero también son utilizados y aceptados para aplicaciones de transmisión de datos en redes de área local.
- b) Se usan principalmente en aplicaciones de *fibra óptica* multimodo y no son utilizados en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo.
- c) La punta esta fabricada de acero cromado, niquel-bronce y plástico.
- d) Tienen una perdida de 0.8 dB.
- e) Tienen un tamaño pequeño.
- f) Tienen aplicaciones para espacios donde se requiera alta densidad de conectores.
- g) Tiene una buena durabilidad y amplia disponibilidad en el mercado.
- h) Es de los conectores mas fáciles de instalar ya requieren de un mínimo de herramientas y habilidad.

5. CONECTOR TIPO FC/FC-PC.

- a) Su uso principal es en telefonía y CAVT también son utilizados para aplicaciones de transmisión de voz y datos a alta velocidad.
- b) Son utilizados principalmente en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo. Pero también se usan en aplicaciones de fibra multimodo.
- c) La punta esta fabricada de cerámica/zirconia.

Diseño de una Red de Fibra Óptica.

- d) Tienen una pérdida de 0.4 dB.
- e) ES altamente durable ya que soporta cerca de 1000 inserciones.
- f) En la versión FC-PC (Physical Contac) en la punta del casquillo en lugar de presentar una superficie plana tiene una superficie esférica de un radio de 60 μm para asegurar un contacto efectivo en la unión y reducir las reflexiones y las pérdidas.

6. CONECTOR TIPO D4/D4-PC.

- a) Son utilizados principalmente para aplicaciones de telefonía así como también transmisión de voz y datos a alta velocidad.
- b) Son utilizados principalmente en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo. Sin embargo también se utilizan en aplicaciones de *fibra óptica* multimodo.
- c) La punta esta fabricada de cerámica/zirconia.
- d) Tienen una pérdida de 0.4 dB.
- e) Requiere de un pulido con equipo automatizado.
- f) Es altamente durable ya que soporta cerca de 1000 inserciones.
- g) En la versión D4-PC (Physical Contact) en la punta del casquillo, en lugar de presentar una superficie plana tiene una superficie esférica de un radio de 60 μm , para asegurar un contacto efectivo en la unión y reducir las reflexiones y las pérdidas.

7. CONECTOR TIPO BICONICO.

- a) Son utilizados principalmente para aplicaciones de telefonía así como también transmisión de voz y datos a alta velocidad.
- b) Son utilizados principalmente en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo. Sin embargo también se utilizan en aplicaciones de *fibra óptica* multimodo.
- c) La punta esta fabricada de material termoplástico.
- d) Tienen una pérdida de 0.7 dB.
- e) Tiene un resorte para asegurar el punto de contacto.

8. CONECTOR TIPO MINI BNC.

- a) Son utilizados principalmente para aplicaciones de productos IBM en redes de área local.
- b) Son utilizados solo en aplicaciones de *fibra óptica* multimodo. No pudiéndose utilizar en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo.
- c) La punta esta fabricada de acero cromado.
- d) Tienen una pérdida de 0.5 dB.

9. CONECTOR TIPO ESCON.

- a) Son utilizados principalmente en sistemas IBM.
- b) Son utilizados solo en aplicaciones de *fibra óptica* multimodo. No pudiéndose utilizar en aplicaciones de *fibra óptica* monomodo.
- c) La punta esta fabricada de zirconia.
- d) Tienen una perdida de 0.5 dB.
- e) Tiene una presentación dúplex.

D. ACOPLADORES PARA CONECTORES DE *FIBRA OPTICA*.

Es importante señalar que los conectores de *fibra óptica* requieren de elementos de interconexión llamados acopladores de *fibra óptica*, ya que éstos simplifican las pruebas y el mantenimiento así como brindan la oportunidad de una fácil administración e inventario de las interconexiones.

Existen tantos tipos de acopladores como tipos de conectores de *fibra óptica* hay.

VIII. METODOS DE EMPALME DE *FIBRAS OPTICAS*

En aplicaciones de campus, de área geográfica limitada o de enlaces de larga distancia telefónica es necesario en muchas ocasiones la ejecución de empalmes de dos *fibras ópticas*, para continuar la longitud de un enlace o bien la transición de un cable de uso interno.

Existen dos métodos generales de empalme para *fibras ópticas*:

- A. EMPALMES POR FUSION
- B. EMPALMES MECANICOS

A.EMPALMES POR FUSION.

El empalme por fusión es el método más utilizado y consiste en alinear los núcleos de dos *fibras ópticas* limpias y fusionar sus extremos con un arco eléctrico, para lo cual es necesario primero retirar la cubierta primaria y secundaria, cortar las caras de la fibra para que estén planas y perpendiculares al eje así como limpiar cualquier vestigio de polvo y grasa.

Los extremos de las fibras son posicionados bajo un microscopio o un monitor de vídeo de alta resolución y entonces son alineadas en las tres dimensiones, usando varios dispositivos de microposición como motores de posicionamiento o dispositivos piezoelectricos.

Los extremos de las fibras pueden presentar imperfecciones que ocasionan burbujas y deformaciones en el núcleo durante el proceso, por lo cual se realiza la prefusión la cual consiste en aplicar durante un período de tiempo muy pequeño, calor para lograr que se redondeen y suavicen los extremos.

Finalmente se aplica un arco eléctrico para lograr la ejecución del empalme (también se tiene fusión por medio de gas).

Es necesario sujetar las dos fibras durante el proceso de fusión para lo cual se utilizan sujetadores del tipo mecánico.

Se puede verificar el correcto proceso de alineación inyectando luz a una de las fibras y midiendo la potencia óptica a la salida por el extremo de la otra de tal

manera que la mejor alineación será donde se pueda recibir la mayor cantidad de potencia óptica.

Existen equipos que pueden alinear automáticamente las fibras por medio de dispositivos de inyección y detección local, y una vez realizado esto aplicar el arco eléctrico de manera automática.

Por el método de empalme de fusión de *fibras ópticas* es posible obtener atenuaciones por empalme entre 0.2 y 0.1 dB y en algunos casos menos de 0.01 dB para *fibras ópticas* idénticas.

B.EMPALMES MECANICOS.

Los empalmes mecánicos se utilizan cuando se tienen enlaces cortos que soporten grandes pérdidas.

Se tienen métodos de empalme mecánico para *fibra óptica*:

1. METODO DE VARILLAS.
2. METODO DE RANURA EN "V".
3. METODO ELASTOMERICO.

1. METODO DE VARILLAS.

Este es uno de los primeros métodos mecánicos de empalme de *fibra óptica* utilizados.

Consiste en tener 3, 4 o 6 varillas de acero o de vidrio colocadas de tal manera que en el orificio central se puedan introducir las dos fibras a unir, se agrega en ocasiones una sustancia epóxica para adherir las fibras y actuar como elemento de acoplamiento óptico.

Las varillas son de mayor diámetro que las fibras a unir y deben de tener dimensiones muy precisas con tolerancias de menos de 4 μ m.

2. METODO DE RANURA EN "V".

Diseño de una Red de Fibra Optica.

El método mecánico más utilizado es el de ranura en V, y consiste en lo siguiente: se colocan las fibras cortadas y preparadas en ambos extremos de una ranura acanalada en forma de V que alinea las fibras y posteriormente se agrega un material adhesivo de igual índice de refracción que el de las fibras a unir.

Las fibras se ponen en contacto con la ayuda de bloque móviles y supervisando esto con un microscopio o de manera visual.

El material acanalado puede ser de silicón, plásticos, material cerámico, acero o aluminio.

Existen tres tipos de empalmes en ranura en V:

- El que utiliza una tapa plana y la otra acanalada.
- El que utiliza las dos tapas acanaladas.
- El que utiliza tres tapas acanaladas en arreglo tipo triangular.

En éste método solo se pueden unir *fibras ópticas* de diámetros de revestimientos iguales y de alta concentración, pero tiene la ventaja que es de rápida y fácil elaboración.

Se obtienen pérdidas promedio por empalme de 1 dB.

3. METODO ELASTOMERICO.

En este método se tienen tubos de material elástico con un diámetro interior ligeramente menor que el revestimiento de las de la fibra a unir pero con un ensanchamiento en sus extremos para facilitar la inserción de las fibras, de tal manera que el diámetro interior se expande ejerciendo una fuerza simétrica sobre las fibras.

De lo anterior se obtiene que los ejes de las fibras queden automáticamente alineadas, no importando si son de diámetro diferente.

LA NORMA EIA/TIA-586 ESPECIFICA UN VALOR MAXIMO DE ATENUACION DE 0.3 dB EN UN EMPALME.

C. CAJAS DE EMPALME PARA *FIBRAS OPTICAS*.

Cuando se realiza el empalme de dos cables de *fibras ópticas* es necesario que las uniones de las *fibras ópticas* es necesario que las uniones de las *fibras ópticas* queden protegidas del ambiente externo y al mismo tiempo tener la posibilidad de acceder el empalme para labores de mantenimiento y pruebas.

Por lo cual es necesario utilizar cajas de empalme, las cuales pueden ser instaladas en diferentes lugares de acuerdo a las condiciones de la instalación de los enlaces tales como en: postes, registros subterráneos, main holes, directamente enterradas, puntos de transición para entrada a edificios, etc.

Existen dos tipos genéricos de caja de empalme:

1. Cajas de empalme cilíndricas
2. Cajas de empalme rectangular

1. CAJAS DE EMPALME CILINDRICAS.

Este tipo de cajas se denominan también cierres mecánicos y constan de dos tapas circulares que van unidas por medio de dos barras de sujeción, charolas organizadoras de fibras, elementos de ruteo y sujeción de cables, una barra abrazadera de la cubierta, así como también de una cubierta de una sola pieza que cubre toda la estructura.

Lo anterior firma una estructura cilíndrica que brinda una excelente protección mecánica.

Se deben seguir los siguientes pasos:

- a) Preparación de la caja.
- b) Preparación del cable.
- c) Instalación del cable en la caja.
- d) Cerrado de la caja de empalme.
- e) Instalación de la caja de empalme en pozo, muro, registro, etc.

Las desventajas de las cajas de empalme cilíndricas es que una vez cerradas, y se tengan que acceder para labores de mantenimiento, pruebas o expansión se deben inutilizar los empaques de la cubierta exterior y de las tapas. Pero en el caso que

se utiliza una cubierta exterior de manga termoplástica esta se debe reponer por otra nueva así como la del elemento estructural de la manga.

También es importante señalar que en la instalación de las cajas de empalme cilíndricas en pozos e interiores se requieren de herrajes de sujeción especiales.

2. CAJAS DE EMPALME RECTANGULARES.

Este tipo de caja de empalme consiste de una estructura metálica de acero inoxidable, resistente a condiciones ambientales agresivas tales como ácidos, ciclos de temperatura, etc.

Las cajas de empalmes rectangulares están constituidas por una base de acero inoxidable donde se colocan las charolas organizadoras de las *fibras ópticas* (fabricadas de acero inoxidable y elementos de ruteo plásticos), amén de una serie de herrajes interiores y exteriores para la entrada y sujeción de los cables de *fibras ópticas*, así como de la tapa de la caja también fabricada de acero inoxidable.

Lo anterior forma una estructura robusta que brinda una excelente protección mecánica.

Se deben seguir los siguientes pasos:

- a) Preparación de la caja.
- b) Preparación del cable.
- c) Instalación del cable en la caja.
- d) Cerrado de la caja de empalme.
- e) Instalación de la caja de empalme en pozo, muro, registro, etc.

Las cajas de empalme rectangulares se pueden abrir fácilmente sin necesidad de inutilizar ningún elemento.

No requieren de herramientas especiales, ofrecen una gran protección al cable y empalmes así como una gran resistencia a la corrosión, humedad, impactos, resistencia mecánica, fuego y agua.

También es importante señalar que en la instalación de las cajas de empalme rectangulares en pozos e interiores no se requieren de herrajes de sujeción especiales, ya que la misma caja de empalme cuenta con herrajes integrados.

IX. CONSIDERACIONES PRELIMINARES DE DISEÑO DE REDES DE FIBRA ÓPTICA EN LAN'S

Con respecto al diseño de la porción pasiva de un sistema de transmisión de *fibra óptica* puede ser fácil. Por otro lado es importante la selección de los tipos de equipos electrónicos del sistema. Pero es de suma importancia considerar las recomendaciones de los estándares existentes y su impacto en futuras aplicaciones.

Cuando se observa el cumplimiento de las recomendaciones de los estándares para elementos pasivos de una red de *fibra óptica* o cuando todo esta de acuerdo a un sistema de cableado estructurado, el diseñador maximiza los prospectos para futuras aplicaciones compatibles así como cambios de sistema o nuevas aplicaciones.

Se tienen las siguientes consideraciones preliminares de diseño ;

B. EQUIPOS ELECTRONICOS CONTRA MEDIO DE TRANSMISION

Los equipos electrónicos y los medios de transmisión usados en los sistemas de comunicación de *fibra óptica* tienen la misma función que los usados en los sistemas basados en cobre.

La diferencia estriba en que los equipos electrónicos utilizan un elemento que convierte las señales eléctricas a ópticas y viceversa y los segundos no requieren de tal conversión.

El diámetro del núcleo de una *fibra óptica* que recomienda el estándar EIA/TIA y el estándar FDDI para aplicaciones de red de área local es de 62.5 nm así como el uso de conectores tipo ST.

Debido a lo anterior los equipos ópticos recomendados deben ser aquellos que trabajen con este diámetro de fibra y tipo de conector.

Sin embargo en ocasiones se tienen instalaciones de cable de *fibra óptica* con núcleos de 50nm y 100nm que fueron instalados con anterioridad pero debido a las nuevas aplicaciones se tengan que instalar equipos basados en núcleo de 62.5nm y es necesario que trabajen de esta manera, que no es la mas apropiada, pero no es posible en ciertos casos cambiar el medio físico de inmediato como lo es en el caso de equipos.

Otra situación menos común es que se tengan equipos basados en diámetros de fibras de 50 y 100nm con cables de *fibra óptica* de 62.5nm.

C. CABLEADO ESTRUCTURADO

En los últimos 7 años el uso de fibras ópticas en redes de área local ha crecido tremendamente. La *fibra óptica* es usada para implementar sistemas específicos que requieren de esta tecnología.

El uso de redes de *fibra óptica* forma parte de un diseño estratégico que brinde capacidad de flexibilidad y crecimiento.

Por otro lado los cables de fibras ópticas son inmunes a las interferencias de radio frecuencia, descargas atmosféricas, efectos capacitivos y otros problemas que están presentes en los sistemas basados en tecnología de cobre.

En un sistema de *fibra óptica* es recomendado una topología física tipo estrella para la implementación de cualquier topología lógica.

La topología tipo estrella maximiza la flexibilidad de la administración y evolución potencial de la red.

En un sistema de cableado estructurado la *fibra óptica* puede participar en los siguientes subsistemas.

1. BACKBONE CAMPUS
2. BACKBONE RISER
3. CABLEADO HORIZONTAL DE ALTO DESEMPEÑO

2. Backbone Campus

Es un ambiente de campus la *fibra óptica* es extensamente utilizada como backbone para interconectar edificios transportando un completo espectro de servicios tales como : voz y datos multiplexados (el uso de líneas T-1 es común) canal de extensión (comunicación entre computadoras mainframe y dispositivos periféricos (tales como impresoras y manejadores de disco), aplicaciones ethernet, token ring, fddi, cad/cam, video, video conferencia, circuito cerrado de televisión y seguridad.

3. Backbone Riser

Cuando la *fibra óptica* es utilizada para enlaces tipo riser su aplicación primaria es para redes de datos utilizando topología física tipo estrella.

Los sistemas de voz empleando cobre en aplicaciones de riser son utilizados ampliamente en la actualidad debido a su velocidad de transmisión apropiada aun que baja y un

mínimo bit-error comparado con los sistemas de datos. Sin embargo los fabricantes de conmutadores (PBX's) continúan desarrollándolos para incrementar su capacidad de mas enlaces intermodales usando tecnología de *fibra óptica*.

4. Cableado horizontal de alto desempeño.

El concepto de los sistemas de cableados horizontales de alto desempeño utilizando *fibra óptica*, reciben mucha atención hoy en día de parte de los diseñadores y usuarios finales.

Lo anterior es necesario para cumplir no solo los requerimientos de las redes de hoy en día sino para cumplir las expectativa de los usuarios con una efectividad de los mismos de 15 a 20 años.

Los sistemas de cableado horizontal que utilizan cables de *fibra óptica* pueden manejar el concepto de "reserva de ancho de banda" para futuras aplicaciones de imágenes, vídeo, CAD/CAM, etc. Los sistemas de cableado horizontal basados en cables de cobre alto desempeño pueden manejar altas velocidades de transmisión pero dependiendo de sofisticados equipos electrónicos.

La *fibra óptica* utilizada en los cableados horizontales tienen en diámetro de 62.5nm y virtualmente manejan anchos de banda ilimitados si es considerada una distancia de 90 metros entre los closets de comunicaciones y las áreas de trabajo.

Es una realidad que la fibra de escritorio serán incorporadas a los diseños de nuevas instalaciones como algo común, en pocos años mas.

D. APLICACIONES

A continuación se presentan las aplicaciones mas comunes consideradas en el diseño de un sistema de fibra óptica.

1. FDDI
2. ETHERNET
3. TOKEN RING
4. VOZ
5. APLICACIONES INDUSTRIALES
6. CAD/CAM
7. VIDEO
8. SISTEMAS DE SEGURIDAD
9. IMAGENES

2. FDDI

FDDI es el primer sistema desarrollado para usar como medio de transporte la *fibra óptica*. Esta es una red de alta velocidad (100 Mbitp/s), mas rápida que otros estándares de comunicaciones de datos en la actualidad.

EL potencial de FDDI es ilimitado para aplicaciones de LAN's a WAN's (red de cobertura amplia), que operan sobre campus muy largos. En la actualidad esta recibiendo un alto soporte no solo de los desarrolladores sino también de los usuarios y proveedores del mismo.

2. ETHERNET

Muchas de las aplicaciones de ethernet de hoy en día usan una combinación de backbones con *fibra óptica* y cobre en el cableado horizontal. Equipos del tipo concentrador en los closets de comunicación son usados para tal implementacion.

El anterior diseño toma las siguientes ventajas de la *fibra óptica* :

- a) Permite el uso de la topología estrella física, la cual permite maximizar la administración centralizada, movimientos, cambios y agregados fáciles.
- b) cubrir grandes distancias entre edificios
- c) tomar ventaja en muchos casos de los sistemas de par torcido de cobre.

Sistemas fibra-total ethernet han sido introducidos con la promesa de ofrecerlos a precios comparables a sistemas ethernet basado en cobre. Esta es una expectativa de que los usuarios podrían diseñar e instalar tales sistemas para penetrar la *fibra óptica* hasta el área de trabajo.

3. TOKEN RING

Al igual que los sistemas ethernet los de token ring basados en fibra total podrían ser una realidad cuando los precios del sistema basado en fibra sean equiparables a los basados en cobre.

4. VOZ

Las fibras ópticas son extensamente utilizadas por los sistemas de voz especialmente para los enlaces de backbone campus intermodales los cuales típicamente usan líneas T-1 (1.544 Mbps) para multiplexear canales de voz. En aplicaciones de backbone riser están empezando a se utilizadas para incorporar la tecnología en pequeños sistemas usados para tales aplicaciones.

5. APLICACIONES INDUSTRIALES

La *fibra óptica* es frecuentemente utilizada en aplicaciones industriales. No solo porque provee de un alto producto ancho de banda-distancia, para ambientes de campus con largas distancias, sino también por sus características de inmunidad a las interferencias de RFI y EMI cuando tienen que compartir rutas de cableado con cables de alto voltaje.

6. CAD/CAM

Los enlaces de *fibra óptica* son frecuentemente usados en los sistemas de CAD/CAM, donde gráficas en tres dimensiones y alta resolución requieren una rápida transmisión entre estaciones de trabajo.

7. VIDEO

Las fibras ópticas son comúnmente utilizadas en enlaces de vídeo en redes de área local utilizados para vídeo conferencia (vídeo interactivo), los sistemas de *fibra óptica* de vídeo no requieren el uso de ecualizadores.

En el área de trabajo las aplicaciones de vídeo pueden aparecer como sistema de multimedia.

7. SISTEMAS DE SEGURIDAD

Enlaces de *fibra óptica* son frecuentemente utilizados en ambientes interiores y exteriores para minimizar daños por descargas atmosféricas e interferencia así como proveer de una gran protección contra intervenciones del sistema de cableado de seguridad.

9. IMAGEN

El uso de imágenes que puedan ser guardadas en unidades de almacenamiento esta creciendo por la rica información que se proporciona, tal es el caso de compañías de seguros, operaciones de tarjetas de crédito, oficinas gubernamentales y hospitales.

Como todos estos sistemas requieren de enlaces de una gran capacidad de ancho de banda la *fibra óptica* esta siendo rápidamente incorporada a ellos.

D. DIMENSIONAMIENTO DE FIBRAS

La selección del número de fibras usadas es una decisión muy importante que impacta en las capacidades presente y futura de una red de comunicaciones, esta decisión es en parte dependiente de lo siguiente :

- la intención de las aplicaciones presentes y futuras por parte del cliente
- el nivel del multiplexeo y uso de bridges/ruteadores (switches)
- la topología física de la red

Se cual sea la necesidad de fibras a utilizar es recomendable dejar algunas fibras de redundancia (soporte o reserva), para futuras aplicaciones o contingencias, el número mínimo es de 2 fibras ópticas.

X. DISEÑOS DE REDES DE *FIBRA OPTICA* Y CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Una de las mas serias decisiones de un gerente de comunicaciones ocurre durante el diseño de la planta de cables de *fibra óptica*. Si bien es cierto que la *fibra óptica* tiene un sin numero de ventajas y gran cantidad de aplicaciones, un mal diseño de la planta de cables de F.O. puede no dar todos los beneficios que la *fibra óptica* ofrece.

Se deben de cuidar los siguientes aspectos :

- A. Tipo de sistema de cableado
- B. topología lógica
- C. Topología física
- D. Uso de los tipos de cables de *fibra óptica*
- E. Redundancia
- E. Empalmes de *fibra óptica*

A. TIPO DE SISTEMA DE CABLEADO

Existen muchos tipos de sistema de cableado pero es recomendable utilizar el sistema de cableado estructurado cumpliendo con los estándares EIA/TIA. Estas son algunas ventajas de este sistema de cableado.

1. Se tiene una administración centralizada
2. Se puede lograr cambios rápidos y regulados
3. Se tienen crecimientos
4. Su plataforma soporta múltiples aplicaciones
5. Se tiene un costo por mantenimiento y operación bajo
6. Flexibilidad del sistema
7. Prevé cambios tecnológicos
8. Asegura la estandarización de los productos utilizados

B. TOPOLOGIA LOGICA

En el entendido que debe ser universal para todas las posibles aplicaciones un plan de cableado debe soportar todas las topología lógicas.

Estas topología definen el equipo de interconexión electrónico a los nodos del sistema. Aplicaciones de *fibra óptica* pueden soportar las siguientes topología lógica :

1. Punto a punto
2. Estrella
3. Anillo
4. Bus

1. Punto a punto

La topología punto a punto todavía es la mas común usada hoy en día en LAN 's. aquí dos nodos son enlazados por un par de fibras ópticas(una para recibir y otra para transmitir) sus principales aplicaciones incluyen :

- a)canales de extensión de computadora
- b)terminales de multiplexeo
- c)enlaces de subida y bajada de satélites

B) ESTRELLA

Una extensión de la topología punto a punto es la topología estrella. Es un conjunto de enlaces de topología punto a punto, todos los cuales tienen un nodo común que es el control de las comunicaciones del sistema. Sus principales aplicaciones incluyen :

- a) Un switch tal como un PBX o un DATA SWITCH
- b) Un sistema de seguridad de vídeo con una estación de monitoreo central
- c) Un sistema interactivo de vídeo sirviendo a mas de dos localizaciones

3. ANILLO

La topología lógica de anillo es muy prevalectante en la comunicación de datos y es soportada primariamente por dos estándares :

- * EL TOKEN RING (IEEE 802.5)
- * FDDI (ANSI X3T9.5)

Es esta topología cada nodo es conectado a su nodo adyacente en un anillo. Ejemplos de topología de anillo son :

- a) FDDI
- b) TOKEN RING
- c) HIGH SPEED TIME DIVISION
- d) MULTIPLEXING (TDM) RING.

4. BUS

La topología lógica de bus es también utilizada en comunicaciones de datos y es soportada por los estándares IEEE 802.3 y 802.4. Todos los nodos lógicos están distribuidos en una línea en común. La transmisión ocurre en ambas direcciones en la línea común, cuando un nodo transmite todos los demás nodos reciben la transmisión al mismo tiempo aproximadamente. Los sistemas mas populares que requieren topología lógica de bus son :

- a) ETHERNET
- b) MAP (protocolo de automatización de manufactura)
- c) TOKEN BUS

C. TOPOLOGIA FISICA

Todas las topología lógicas pueden ser implementadas a partir de la topología física de estrella como es recomendado por la EIA/TIA 568 (estándar de cableado para edificios comerciales).

1.IMPLEMENTACION DE TOPOLOGIA LOGICAS A PARTIR DE TOPOLOGIA FISICAS

La topología física en estrella soporta topología lógicas de punto a punto, estrella, de anillo y bus.

Las topología lógicas punto a punto y estrella a partir de una topología física en estrella son directas no así los siguientes casos :

- a) ESTRELLA FISICA Y BUS LOGICO
- c) ESTRELLA FISICA Y ANILLO LOGICO

- b) ESTRELLA FISICA Y BUS LOGICO

La aplicación típica utilizando fibras ópticas para comunicación ethernet usa topología física en estrella con un concentrador localizado en el punto de conexión cruzada. El concentrador es también referido como estrella activa emulando una topología bus con fibra. La transmisión de mas de un nodo es posible usando un equipo censor de portadora de detección de múltiple acceso u colisión (CSMA/CD)

b) ESTRELLA FISICA Y ANILLO LOGICO

La aplicación típica de comunicación de anillo (4,16Mbps TOKEN RING O FDDI) utilizando fibras ópticas es también fácilmente implementada usando una topología física en estrella.

La conversión de estrella física a anillo lógico puede ser realizada de manera pasiva o activa.

Pasivamente es realizada con un bridge extendedor de FDDI O TOKEN RING.

Activamente con un concentrador de Token Ring o FDDI.

FDDI especifica el uso de un concentrador en la red que convierte la estrella física en un anillo lógico por medio de un token que pasa en el concentrador de puerto del mismo. Lo mismo ocurre en un concentrador para Token Ring.

TOPOLOGIA FISICA EN ESTRELLA CONTRA TOPOLOGIA FISICA EN ANILLO.

Hay algunas situaciones donde la implementación física en anillo resulta más apropiada de que la topología física en estrella. Sin embargo la mejor topología física es la de estrella ya que soporta toda la variedad de requerimientos de un sistema de cableado estructurado.

- ◆ **Flexible, soporta todas las aplicaciones y topología**
- ◆ Menos flexible.
- ◆ **Acepta pérdida de conectores con compatibilidad de topologías**
- ◆ No acepta pérdidas de conector si topologías lógicas de estrella t bus son requeridas
- ◆ **Centraliza la administración y permite reordenamientos fáciles**
- ◆ Conectores localizados a través del sistema dificultan la administración y reordenamientos.
- ◆ **Existen ductos exteriores que frecuentemente están configurados en estrella física dando resultado una fácil implementación.**
- ◆ La implementación puede ser muy difícil.
- ◆ **Soporta el estándar EIA/TIA-568**
- ◆ En aplicaciones de topología de anillo la mayoría, sino todos los nodos deben estar activos.
- ◆ **Si un cable es cortado solo resulta afectado el nodo que alimenta este cable.**

- ◆ Problema de corte de un cable resulta en la inutilización del sistema, por lo que en ocasiones es necesario instalar un anillo redundante.
- ◆ **Mas longitud de *fibra óptica* que cuando se implementa una topología física de anillo**
- ◆ Se tienen menos longitud de *fibra óptica* entre nodos.

2. IMPLEMENTACION DE UNA ESTRELLA FISICA

Se deben cuidar los siguientes aspectos:

- a) De acuerdo al estándar EIA/TIA-568 relativo a la fibras ópticas, es que se debe tener una estrella física centralizada para enlaces de backbone campus y riser y una estrella física simple para el cableado horizontal.
- b) La longitud máxima de un enlace de backbone es de 2000 mts. entre el MDF y el closet de comunicaciones.
- c) Se permite un máximo de un IDF entre el MDF y el closet de comunicaciones.
- d) El cableado horizontal de un closet de comunicaciones al área de trabajo se recomienda debe tener una longitud máxima de 90mts. (es no es un requisito)
- e) Todos los enlaces de backbone campus para aplicación de datos en pequeñas redes deben realizarse con cables de *fibra óptica* y en una topología física de estrella centralizada de un nivel.
- f) Todos los enlaces de backbone campus para aplicación de datos en grandes redes pueden realizarse con cables de *fibra óptica* y en una topología física de estrella centralizada de dos niveles. (puede ser el caso de universidades, parques industriales y bases militares). Pero no cumple en su totalidad con la norma EIA/TIA 568.
- g) Se recomienda que el numero de enlaces de un edificio a otros no sea mayor de 5, a menos que circunstancias especiales existan.
- h) Se recomienda altamente no usar combinación de topología física en estrella centralizada en un campus con segmentos de topología en anillo debido a que se puede perder flexibilidad administración y mantenimiento del sistema.
- i) En backbone riser se recomienda alimentar cada nivel con no mas ni menos de un enlace de *fibra óptica* (se pueden colocar dos enlaces de F.O. a un nivel solo cuando es extremadamente largo).
- j) En edificios muy altos es posible considerar la implementacion de una estrella física de dos niveles.
- k) Se recomienda una topología física en estrella dedicada para aplicaciones de FDDI.

Diseño de una Red de Fibra Optica.

- l) Se recomienda que todos los cables de *fibra óptica* sean terminados en cajas de interconexión de fibras ópticas (LIU's) o patch paneles ópticos.
- m) Se recomienda un solo LIU entre un cable de F.O. y el equipo.

D. USO DE LOS TIPOS DE CABLES DE FIBRA OPTICA.

Es de suma importancia seleccionar el tipo de cable de *fibra óptica* a instalar de acuerdo a su ubicación física en el sistema de cableado para asegurar sus buen desempeño. Básicamente debemos considerar los siguientes tipos de cables : (en el capítulo VI se hace detallado de los cables de *fibra óptica*).

- 1. Cables para exteriores
- 2. Cables para interiores
- 3. Cables para cableado horizontal

F. REDUNDANCIA

Los tipos de redundancia a considerar pueden principalmente ser de dos tipos :

2. Electrónica redundante

Como una protección de tiempo fuera, muchos sistemas emplean dispositivos redundantes acoplados en las fibras en el mismo cable. El sistema redundante entra a trabajar inmediatamente al tener una falla el sistema primario, y sale de operación al restablecerse. Estos sistemas no pueden operar si el cable es cortado por completo.

Lo anterior quiere decir que tenemos que dimensionar la cantidad de fibras ópticas adecuadamente, ya que sino tenemos suficientes fibras de redundancia no es posible cubrir la operación mínima deseada en la red.

2. Líneas redundantes

Otro tipo de protección que debemos considerar para evitar tiempos fuera, es teniendo una ruta redundante. Es decir mandar la fibras redundantes por una segunda ruta para que inmediatamente entren en funcionamiento cuando el cable primario que va por la ruta primaria sea afectado drásticamente.

Rutas redundantes deben ser consideradas cuando se requiere cero tiempo fuera de los cables físicos.

F. EMPALMES DE *FIBRA OPTICA*

Se tienen las siguientes consideraciones con respecto a los empalmes sobre los cables de *fibra óptica*:

2. Cables Múltiples

El diseño físico del sistema debe considerar minimizar el número de empalmes hasta donde sea posible.

Cuando se tienen que alimentar varios edificios en un ambiente campus desde un nodo central en configuración estrella es más recomendable mandar un cable del nodo central por cada IDF, que mandar un cable de alta capacidad de fibras de fibras desde el nodo central hasta un punto de empalme de distribución centralizado para alimentar algunos IDF's con cables que a su vez tienen un empalme de distribución centralizado se alimenten directamente otros IDF's.

Lo anterior no resulta muy fácil de implementar ya que los cables de *fibra óptica* tienen un diámetro muy pequeño, de tal manera que pueden introducirse varios cables de *fibra óptica* por un conducto, y por otro lado los cables de *fibra óptica* se pueden suministrar hasta en longitudes de 2000 mts.

3. EMPALME CONSOLIDADO.

Cuando tenemos problemas para introducir varios cables de *fibra óptica* y la canalización de salida del edificio principal esta muy limitada podemos usar el método del empalme consolidado, que consiste en usar un solo empalme que debe ser realizado en un IDF y de ahí los restantes IDF's.

3. CABLE DE SLACK (LOOPS).

Es recomendable dejar una cantidad de cable de sobra para reparaciones, relocalizaciones y daños, ya que esto permite prever situaciones de contingencia que frecuentemente ocurren. La longitud de los LOOPS o SLACK debe ser cuando menos de 20 metros y pueden situarse en el closet de comunicaciones pozos o en cajas de registro.

