

Extracto del capítulo 2.

•Un emisor (mayormente LED) envía rayos en muchos ángulos diferentes mientras que los lasers los hacen con un ángulo mas estrecho.

2.16. DISPERSION MODAL.

Cuando se suman los rayos al final de la fibra óptica, obtenemos un pulso disperso, tanto más ancho cuanto más trayectorias hayan dentro de la fibra óptica. Las fibras ópticas tipo monomodo surgen para acotar esta dispersión modal dejando propagarse el modo fundamental únicamente. Se disminuye los efectos de la dispersión modal cuando se reduce el núcleo de la FO y también la apertura numérica.

•En fibras monomodo esta dispersión modal es despreciable frente a las demás dispersiones.

$$M = [0.5 \cdot d \cdot (NA)^2] / \lambda \quad (\text{aproximada})$$

d = el diámetro del núcleo de la fibra

NA = apertura numérica

λ = longitud de onda

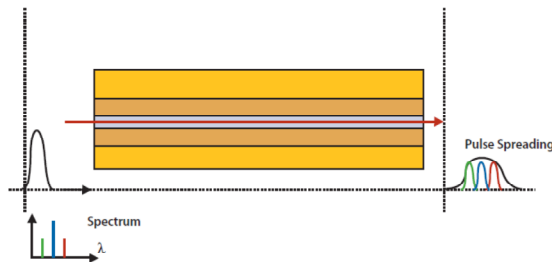
M = Modos de propagación.

2.17. DISPERSION CROMATICA.CD.

La dispersión cromática se manifiesta con las diferentes velocidades con las cuales se transmite el rayo de luz en la fibra debido a diferentes longitudes de onda. Estas provienen de una emisión no monocromática.

$n = c/v_p$ donde n = índice de refracción de la f.o; C = velocidad de la luz; v_p es la velocidad de propagación > *para una única λ .

El índice de refracción es dependiente de λ $n(\lambda)$, y varía con la longitud de onda (color) y c es una constante, entonces la v_p varía para diferentes λ . (*considerando solo dispersión en el material*)

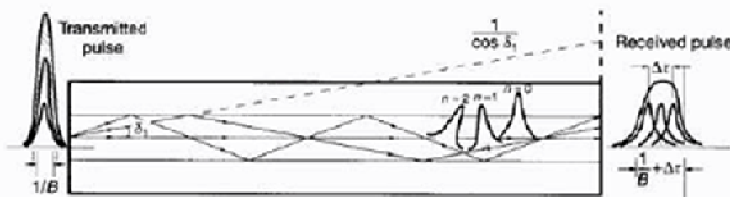
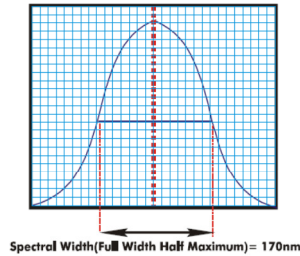
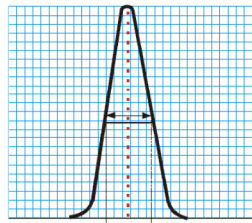


Los rayos de luz poseen diferentes velocidades (v_p) por lo cual llegan al final de la fibra óptica en *instantes diferentes*.

Como una fuente de luz nunca es monocromática pura, la fuente inyecta luz en diferentes longitudes de onda (diferentes colores), pero con una onda central (center wavelength) por la que emitirá la mayor potencia, disminuyendo el efecto de la dispersión cromática cuanto menor ancho espectral tenga la fuente.

•Ejemplo: LED (center wave length) 850nm \pm 20nm, Ancho espectral $\Delta\lambda$ =170nm

•Ejemplo: Laser center wave length 1310nm \pm 30nm, Ancho espectral $\Delta\lambda$ 2nm



La dispersión cromática de la fibra óptica tiene como unidad ps/km*nm.

Como toda dispersión limita la velocidad máxima de los sistemas de transmisión ya que ensancha los pulsos. Como parámetro para el cálculo de un enlace se toma el CD máximo dado en pseg/nm. El CD es un parámetro lineal por lo tanto puede calcularse teóricamente un valor aproximado de CD para un enlace:

$$De(\text{enlace})=Dfo*L$$

L : Longitud de la fibra en estudio (Km) (dato)

D : Parámetro de dispersión (pseg/Km*nm) (dato)

Los fabricantes de equipos especifican una Dispersión cromática máxima del enlace.

Forman el efecto de dispersión cromática dos componentes:

Dispersión modal

Dispersión por guía de onda.

Cálculo del ensanchamiento del pulso debido a CD:

$$\Delta t \cong LxD_{\lambda}x\Delta\lambda \quad \text{con } \Delta t \leq T_B$$

La condición límite para el ensanchamiento del pulso Δt

La dispersión cromática es:

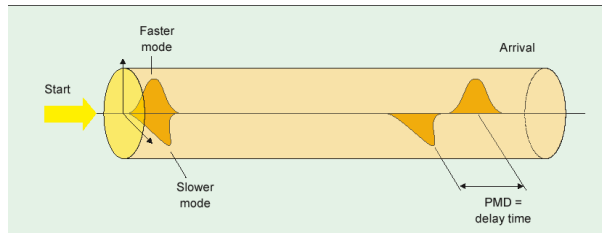
- Un fenómeno determinístico.
- Lineal: una mayor distancia lleva a mayor dispersión cromática.
- No es afectado por las condiciones de instalación ni climáticas.
- Se puede controlar durante el proceso de fabricación de la fibra.
- Es compensable.

En las fibras ópticas que se utilizan en FTTH monomodo standard ITU-T G.652, la dispersión cromática típica es de 3-4ps/nm x Km a 1310nm, y a 1550nm es de 17ps/ nm x Km

2.18. DISPERSION de modo de POLARIZACIÓN. PMD.

La dispersión por modo de polarización ocurre cuando las dos componentes ortogonales de polarización, denominados modos de polarización rápido y lento, recorren la fibra a diferentes velocidades de grupo y así alcanzarán al receptor en tiempos diferentes.

La diferencia temporal entre estos modos es el parámetro que se utiliza para determinar el PMD y se lo denomina Retardo Diferencial de Grupo (DGD [pseg], Differential Group Delay). La relación entre el coeficiente de PMD dado por el fabricante y el PMD del enlace es: $PMD=PMD_{coef}.\sqrt{L}$ donde L longitud del enlace (El PMD es función de la raíz cuadrada de la distancia).



“Las irregularidades en la estructura (Birrefringencia se define como la diferencia entre los índices de refracción) de la fibra óptica crea un eje de propagación “rápido” y uno “lento”. Por lo tanto la luz polarizada (elíptica, circular o lineal) viajara a mayor velocidad en el eje “rápido” que en el lento.”

El PMD es sensible al esfuerzo de “stress” sufrido por la fibra durante el proceso de fabricación, cableado, almacenamiento e instalación.

- Cuanto mayor sea la distancia del cable óptico, mayor será el PMD acumulado del enlace.
- Una forma de controlar el PMD es controlar todas las variables geométricas de la fibra óptica y controlar el stress que sufrirá la misma en todos sus pasos hasta la puesta en servicio.

Ejemplos para algunas velocidades de señal:

$PMD_{max} < T_b(\text{seg}) / 10 = 0,1/B(\text{bps})$ relacionado con el B.E.R. máximo. NRZ

Velocidad de transmisión B Gbps	Tiempo de Bit T_b ; pseg	PMD max pseg	coeficiente PMD (pseg/Km ^{1/2}) L=100 Km	Coeficiente PMD (pseg/Km ^{1/2}) ; L=400 Km
2,5	400	40	4	2
10	100	10	1	0,5
40	25	2,5	0,25	0,125

Extender la longitud del enlace implica tener un coeficiente de PMD menor para alcanzar los niveles de PMD exigidos.

Las características del PMD son:

- Es un fenómeno con componentes aleatorias.
- Lo afectan las condiciones ambientales, defectos y fallas durante la instalación.
- Su valor es dependiente de la longitud de onda y del valor cuadrático de la distancia.
- No compensable fácilmente.

2.19. EFECTOS NO LINEALES.

Los fenómenos no lineales en las fibras ópticas comienzan a manifestarse cuando se incrementa la potencia de la señal óptica, necesario para cubrir mayores distancias a altas velocidades de señal. Causan la deformación de la señal, ensanchamientos de los pulsos y deformaciones en amplitud.

Los efectos *esparcidos de la luz*:

- *Dispersión de Brillouin Estimulada (SBS)*
- *Dispersión de Raman Estimulada (SRS)*

Los efectos del *índice de refracción*

- *Automodulación de Fase (SPM)*
- *Modulación de Fase Cruzada (XPM)*
- *Mezcla de Cuatro Ondas (FWM)*

Extracto del Capítulo 10.

Construcción, equipamiento y planificación.

Un completo relevamiento de la planta de ductos subterráneo o aéreo debería hacerse previo a la instalación.

Los pozos y cámaras con exceso de agua tendrían que vaciarse.

Los ductos deberían verificarse por obstrucciones o un potencial daño. Es recomendable pasar el mandril o cepillo de testeo antes de instalación.

Los pozos deberían verificarse para asegurar suficiente espacio para ubicar la reserva de cables, soportes y montaje de cierres de empalmes.

Tiene que establecerse un plan para ubicar en forma óptima los carretes de cable, malacate, flota en puntos intermedios y equipo de tiro/ winching. Lo mismo aplica para el caso si el cable debe soplarse dentro del ducto, lo que requiere un cabezal de soplado y equipos compresor.

Dejar colgando el cable en la mitad del vano usando técnica de la "figura 8" puede agrandar bastante la distancia de tiro de la sección del cable, previa preparación del lugar para ello.

El fabricante de ductos o acoples debería ser contactado para establecer la guía de instalación del cable.

Ductos estriados, coarrugados y con líneas de baja fricción se diseñaron para reducir la fricción cable/ducto durante la instalación. Los ductos lisos no lineados pueden necesitar un lubricante compatible con el cable.

Un dispositivo giratorio también se debería aplicar entre el cable tirado de la cuerda de agarre y tracción.

Mallas de Tendido se utilizan para sujetar la cuerda de tracción al extremo del cable. Estos son a menudo basados en malla/tejido o fijada mecánicamente al extremo del cable minimizando el diámetro y por lo tanto el espacio de conducto utilizado. Un dispositivo giratorio fundido también se debe aplicar entre el cable tirando de la cuerda de agarre y tracción.

Los eslabones giratorios están diseñados para liberar cualquier par de tracción generado y por lo tanto proteger el cable. Un fusible mecánico protege el cable de exceso de fuerzas de tracción al romper un pasador de seguridad. Unas clavijas se seleccionan en valores de tensión diferentes.

Un cabrestante de tracción con una capacidad apropiada, se debe utilizar. Estos deben estar equipados con un dinamómetro para controlar la tensión durante la extracción.

Poleas, cabrestantes y bloques de cuadrante se debe utilizar para guiar el cable bajo tensión, hacia y desde el conducto de entrada y al equipo de recogida para garantizar que el diámetro de curvatura mínimo exigido se mantiene. El uso tornos de ayuda o establecer puntos intermedios puede ser recomendable en los casos en que la carga de tracción por cable está llegando al límite y podría aliviar al cable con una sección más larga de tracción. El uso de un desenrollador de cable - un remolque carrete o tambor - también se recomienda. En aplicaciones aéreas, equipos adecuados. Instrucciones específicas de seguridad para trabajos en altura debe ser respetada.

Consideraciones de cableado.

Cableado en Ductos y Microductos.

La instalación en ductos y su mantenimiento es relativamente directo.

Ocasionalmente los cables pueden ser cortados inadvertidamente; aquí las longitudes dejadas como reserva deberían estar disponibles en todos los casos.

Los ductos y cables enterrados pueden tener construcciones similares, con una protección ulterior de acuerdo al ambiente en el cual deben ser instalados.

Al calcular la longitud del tendido, proveer típicamente 3-5 mts para las uniones.

Dejar espacios para ubicar rollos de cable de reserva/slack en cámaras de 15-20m típicamente. Permitirá acceder a puntos intermedios y agregar uniones en momentos necesarios posteriores. Respetar los radios de curvatura mínimos (Minimum Bend Radio-MBR) y no exceder los valores de cargas de tracción máximas para cada cable.

MBR se expresan usualmente como un número múltiplo del diámetro del cable (ejemplo: 15xD) y normalmente se define con el valor máximo para las situaciones estáticas y dinámicas. El MBR estático es el radio mínimo de curvatura permitido para el cable en operación, por ejemplo cable arrollado (reserva) en una cámara o pozo. El MBR dinámico es el mínimo radio de curvatura permitido en condiciones de tracción durante su instalación.

La carga de tracción [valores en N (Newton); o Kgm] se especifican normalmente en condiciones de corto o largo tiempo. Los valores de carga de tracción en corto tiempo representan las máximas tensiones que se pueden aplicar al cable durante la instalación y los valores de largo tiempo representan los valores de tensión máxima que se pueden aplicar al cable durante intervenciones en servicio.

En los casos donde el cable es soplado, el cable y ducto debe ser compatible para esta operación y seguir las instrucciones para instalación del fabricante.

Cable directamente enterrado.

Las técnicas de instalación para cables enterrados pueden incluir zanjas, zurdos, tunelado direccional dirigido. Referencia: IEC specification 60794-1-1 Annex C.3.6 Installation of buried cables.

Confirmar radios mínimos de curvatura y máximas tensiones de tendido y condiciones de largo tiempo en servicio.

Asegurar monitoreo permanente de las tensiones de cable durante el proceso de enterrado y que los límites máximos no sean excedidos.

El relevamiento completo de la sección a enterrar asegurará una eficiente operación de instalación.

Los puntos de cruce con otros servicios y líneas de energía deben identificarse.

Para su localización futura los cables enterrados deben ser identificados (ejemplo: cinta o marker).

En el lecho de la zanja debe colocarse un material protector del cable ante daños por piedras u objetos filosos, normalmente se usa arena. Todo relleno debe ser bien apisonado para prevenir movimientos futuros.

Todas las superficies deben restaurarse según standards locales



Máquina tunelera dirigida y elementos de tiro para tritubo utilizadas durante el tendido por debajo de avenida J.B. Justo en Buenos Aires.

Máquina ranuradora de microzanja en pavimento y acondicionamiento del fondo. Cable de 24 fibras para cierre de anillo SDH.

Tendido Aereo del cable.

Como referencia debería hacerse según la especificación IEC specification 60794-1-1 Annex C.3.5 Installation of aerial optical cables.

Los cables usados en instalaciones aéreas tienen diferente diseño que los de aplicaciones subterráneas, y se diseñan para soportar cargas del viento y de nieve/hielo. Los requerimientos diferirán de acuerdo al área geográfica, por ejemplo, región de fuertes vientos o huracanes.

El Cableado necesita ubicar postes de apoyo distanciados convenientemente para reducir la carga propia del cable debido a su propio peso. Además, puede tener lugar para acceder a la reserva de cable o ubicar caja de cierre de empalmes.

Compartir postes con otras compañías o proveedores de servicio (CATV, Electricidad, Telefonía, etc.) es una práctica común y requiere también una organización específica.