

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 1 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

**SISTEMA DE TRANSPORTE DE ENERGIA ELECTRICA
EN ALTA TENSION**

**GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE
COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA**

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 2 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

TABLA DE CONTENIDO

1	GENERALIDADES	6
1.1	Objeto	6
1.2	Alcance	6
1.3	Características del Sistema Eléctrico	6
2	ENTORNO FISICO	8
2.1	Características Ambientales del Area	8
3	CRITERIOS DE DISEÑO	10
3.1	General	10
3.2	Disponibilidad del Sistema Optico	10
3.3	Configuración Redundante	11
3.4	Duplicación de Sistemas Opticos	12
3.5	Tasa de Error	12
3.6	Influencias sobre Cables Opticos	12
4	PARAMETROS DE DISEÑO	15
4.1	Información a Transmitir	15
4.2	Tipos de Canales	16
4.3	Carga de Información de los Canales	16

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 3 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

5	FIBRAS OPTICAS	17
5.1	Distancias Largas (red de transporte hasta 100 km)	17
5.2	Distancias Medias (redes LAN, hasta 10 km)	17
5.3	Distancias Cortas (redes de edificios)	17
5.4	Recubrimiento Secundario	18
5.5	Ancho de Banda	19
5.6	Ancho de Banda en Función de Longitud de Enlace	19
6	CABLES OPTICOS	22
6.1	Tipos de Cables	22
6.2	Criterios de Selección	22
6.3	Principales Características Constructivas	25
7	EMISORES OPTICOS	27
7.1	Emisores LED	27
7.2	Emisores Láser	28
7.3	Comparación LED - LASER	29
8	CONVERTIDORES OPTO-ELECTRONICOS	30
8.1	Generalidades	30
8.2	Tipos de Convertidores	30
8.3	Combinación Emisor-Receptor	31
9	CALCULO DEL ENLACE	33

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 4 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

9.1	Procedimiento de Cálculo	33
9.2	Repetidores	34
10	SISTEMAS DE TRANSMISIÓN OPTICA	36
10.1	Sistema Digital Plesiócrono (PDH)	36
10.2	Sistema Digital Síncrono (SDH)	36
10.3	Conveniencia Red SDH	37
10.4	Particularidades de la Multiplexación	38
11	EQUIPAMIENTO	39
11.1	Conformación de las Instalaciones	39
11.2	Especificación de Elementos y Equipos	39
11.3	Cualidades de los Elementos y Equipos	41
12	TELEPROTECCION	42
12.1	Estabilidad del Sistema Eléctrico	42
12.2	Característica de la Teleprotección Digital	42
12.3	Interfaces	43
12.4	Evaluación y Procesamiento de Señales	43
12.5	Tiempos de Transmisión	44
12.6	Dependibilidad y Seguridad	44
12.7	Configuraciones	45
13	SERVICIOS AUXILIARES	46

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 5 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

13.1	Corriente Continua	46
13.2	En Corriente Alterna	46
14	PROYECTO	47
15	ANEXO	48

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 6 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

1 GENERALIDADES

1.1 Objeto

La presente Guía de Diseño y Normas de Sistemas de Comunicaciones por Fibra Optica tiene por objeto orientar la labor del proyectista y sugerirle los pasos a seguir para el diseño de un sistema de comunicaciones utilizando, como medio de enlace, cables ópticos, bajo alguna de sus formas alternativas: subterráneo, dieléctrico suspendido o cable de guardia con fibras ópticas.

1.2 Alcance

La Guía incluye los criterios y metodología a utilizar en el diseño del Sistema, abarcando desde el cable óptico y sus cajas de empalme, en el exterior de los emplazamientos, hasta los terminales de línea ópticos y multiplexores de servicios, que transmiten la información desde el interior de los edificios.

Aunque, para las funciones de protección digital, no es imprescindible el uso de equipos de teleprotección, se incluyen algunos criterios para tener en cuenta en caso de que sean utilizados.

El sistema deberá ser compatible con lo establecido en la normativa ITU-T G 120 y G 126.

1.3 Características del Sistema Eléctrico

Para el diseño deberá disponerse información sobre:

a. Recorrido de la línea

- Trazado.
- Secciones que la componen.
- Distancias de cada tramo/ sección.
- Derivaciones o eventuales conexiones en "T".

En la Tabla 1, hojas 1/2 y 2/2 se han indicado los principales datos que es necesario disponer.

b. Tipos de estructuras

- Disposición de conductores de fase.
- Distancia entre conductores.
- Disposición de cable(s) de guardia.
- Altura desde el terreno de los conductores de fase y del cable(s) de guardia.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 7 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

- Herrajes a utilizar para el cable de guardia.
- Longitud de vanos (típico y máximo) entre torres.

En la Figura 1 se han indicado las características principales, inclusive para conductores y el haz.

c. Características de los conductores y cables de guardia

- Materiales y tratamiento.
- Sección total.
- Diámetro.
- Cantidad y tipo de alambres que lo conforman.

d. Flecha de conductores

En el caso de que deban reemplazarse cables de guardia existentes o instalarse nuevos cables ópticos de guardia, será necesario disponer de la información sobre flechas máximas y tablas de tendido.

e. Niveles de tensión

- Tensión nominal del sistema (kV).
- Tensión máxima (típicamente nominal +5a10%).
- Corriente nominal de la línea (kA).
- Corriente de cortocircuito de corta duración (kA durante 1 seg.) por el cable de guardia.

Estos parámetros son especialmente necesarios para el diseño de cables ópticos aéreos, bajo cualquiera de sus formas.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 8 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

2 ENTORNO FISICO

2.1 Características Ambientales del Area

Las características del medio que es necesario especificar, para el diseño apropiado de los equipos de comunicaciones objeto de esta Guía son:

f. Temperatura

Deberá conocerse la temperatura exterior a la que estarán sujetos los equipos y elementos de instalación intemperie, especialmente el cable óptico. Las variaciones de temperatura producen fisuras en el PVC e influyen en la velocidad de deterioro de las uniones.

Los datos a recabar serán:

- Temperatura máxima exterior.
- Temperatura mínima exterior.
- Temperatura media diaria anual.

Son de utilidad los registros meteorológicos de los últimos 10 años, cuando existe repetibilidad y constancia.

Las salas para equipos de comunicaciones deben contar con acondicionamiento de aire para evitar la entrada de polvo y para mantener los equipos en la zona plana de la curva de fallas (λ constante), asegurando un funcionamiento monocorde/ estable durante todo el tiempo de uso.

(Ref: IEC 60068-2)

g. Humedad

El tenor de humedad exterior es importante por su efecto en la corrosión de elementos metálicos.

En el interior de salas con aire acondicionado el porcentaje de humedad es reducido, evitándose la condensación sobre placas impresas, componentes, conectores, etc.

En el interior de salas sin aire acondicionado deben especificarse módulos y placas sean tropicalizadas, como manera de evitar las consecuencias de la condensación.

Los valores a indicar serán:

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 9 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

- Humedad relativa máxima.
- Humedad relativa mínima.
- Humedad relativa a media mensual.

(Ref: IEC 60068-2)

h. Precipitaciones

- Precipitación media anual.
- Niebla, niebla salina.

i. Vientos

Deben conocerse las características de los vientos que puedan deteriorar el cable óptico, sea por vibraciones o por “galloping”.

j. Sismicidad

Deben describirse las características sísmicas de la zona de instalación conforme lo especifica el CIRSOC. Al especificar equipos de comunicaciones, deberá definirse el Espectro de Respuesta referido al Sismo (RRS), donde se indique la velocidad de movimiento, la aceleración y el desplazamiento en función de la frecuencia sísmica, para establecer la excitación a la cual deberá responder el diseño del equipo. Dicho espectro deberá ser como el RRS ilustrado en la Fig. 2, hoja 1/2. Los equipos propuestos deberán tener un Espectro de Respuesta (TRS) que lo exceda, tal como se observa en la Fig. 2 hoja 2/2.

(Ref: IEEE 344, punto 4.5, para el requerimiento de equipos eléctricos clase I)

k. Hielo/nieve

Deberá indicarse la presencia de nieve y/o hielo para cada tramo de línea y estimarse el diámetro máximo y densidad del manguito de hielo previsto.

l. Asoleamiento

Dada la incidencia que tiene la radiación UV sobre la cubierta del cable, es necesario conocer el índice de asoleamiento, en W/m² en la banda UV con la media calculada para el año.

(Ref: IEC 60793)

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 10 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

3 CRITERIOS DE DISEÑO

3.1 General

Deberá diseñarse un sistema bidireccional (full duplex) por fibra óptica (FO) que permita la transmisión de información necesaria para el sistema eléctrico, con un valor de disponibilidad (Ai), adecuada a las necesidades de las principales funciones (por ej. telecontrol).

Podrá utilizarse:

- Un esquema simple, constituido por terminales ópticos de línea en configuración (1+0).
- Un esquema redundante, constituido por terminales ópticos de línea en configuración (1+1).
- Un esquema duplicado, constituido por terminales ópticos de línea en configuración redundante (1+1), más un doble cable óptico independiente (doble ruta).

La disponibilidad del Sistema de Comunicaciones que se decida utilizar será calculada en función del MTBF individual de cada equipo y del dispositivo y elemento constitutivo de la cadena de confiabilidad.

Paralelamente, deberá suministrarse el valor del MTTR previsto para cada equipo y elemento, basado en:

- Los procedimientos de localización de fallas que posea cada equipo.
- Los procesos de mantenimiento preventivo y correctivo disponibles.
- El lote de repuestos disponible en sitio.
- La ubicación geográfica del personal de mantenimiento.

(Ref: MIL HDBK 217; Cigre SC35 WG04/92)

3.2 Disponibilidad del Sistema Optico

Un sistema digital de comunicaciones de alta disponibilidad deberá poseer una tasa de error que no supere valores de $BER = 10^{-6}$, aunque en la práctica pueden lograrse valores de $BER = 10^{-10}$.

El Sistema de Comunicaciones se degrada por las fallas en los equipos y por los errores de la información transmitida.

Dada la inexistencia de “fading”, los sistemas ópticos son más estables que los radioenlaces.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 11 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Un sistema óptico presenta una mayor seguridad en la transmisión de información, pero ante un daño o una falla, requiere un tiempo de reparación y normalización mucho mayor.

Para lograr un sistema altamente inmune a las fallas, puede utilizarse una configuración redundante y pueden incorporarse diversas rutas y diversas fibras a ser utilizadas como reemplazo inmediato.

(Ref: Cigre SC35 WG04/85; Cigre SC35 WG04/92)

Los terminales de línea ópticos, en general, poseen valores bajos de MTBF debido al envejecimiento de los componentes ópticos. Los multiplexores, en cambio, poseen valores muy altos. De allí que el conjunto MUX+TLFO pueda ofrecer valores de $A_i=99,99\%$.

3.3 Configuración Redundante

El principio de la configuración redundante consiste en permitir, en caso de falla, la conmutación desde un circuito principal a uno de reserva, de iguales características que el principal, tal como se muestra en la Figura 4.

En la conmutación de redundancia es importante el tiempo total entre la ocurrencia de la falla o daño hasta el reestablecimiento del camino de reserva, incluyendo la re-sincronización.

Este tiempo depende del criterio de conmutación, es decir de los:

- Umbrales de conmutación $BER=10^{-3}$.
- Algoritmos de evaluación.
- Estructura y sincronización de la trama.

Típicamente, las conmutaciones en 2 Mbps demandan tiempos del orden de 20 mseg, durante el cual se interrumpe el envío de datos o el flujo se mantiene, pero con errores.

Una alternativa interesante consiste en utilizar sistemas de conmutación libre de errores, mediante el retardo de la señal transmitida y la memorización en el extremo de la recepción. Sin embargo, esto no es aplicable a operaciones que demanden tareas en tiempo real.

Por otro lado, deberá evitarse la elección de tiempos de conmutación excesivamente cortos que introducen inestabilidad en el Sistema y pueden llegar a ocasionar interrupciones ante fallas temporarias (no permanentes).

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 12 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

3.4 Duplicación de Sistemas Opticos

Una mejora al método de redundancia consiste en duplicar los terminales de línea ópticos para evitar la conmutación en los equipos. Entonces se deja librada al sistema de control la elección de la información de mejor calidad.

En este caso la vinculación puede efectuarse con un único cable óptico pero con diferentes pares de fibras. En el caso de que alguna fibra se dañe, se procede a la conmutación a otras fibras de reserva disponibles en el cable.

En ciertos casos es aconsejable utilizar dos cables ópticos independientes, tendidos por diferentes rutas. El servicio puede mantenerse aunque se dañen todas las fibras en uno de los cables. En la Figura 5 se muestra una disposición orientativa.

3.5 Tasa de Error

Las influencias externas tales como descargas, rayos, etc., no afectan a la transmisión óptica, pero pueden incidir sobre los equipos e introducir errores aleatorios en la información que se transmite. De allí que los Sistemas de Comunicación deben poseer alta inmunidad a las interferencias electromagnéticas (EMI), la que se logra verificando la conformación de las cajas y gabinetes, así como su puesta a tierra. En la Tabla 2 se resumen los principales requerimientos.

La calidad del Sistema de Transmisión Digital será ponderada por su tasa de errores BER:

- Sistemas muy buenos: $BER = 10^{-9}$ a 10^{-10} .
- Sistemas buenos: $BER = 10^{-6}$.
- Sistemas degradados: $BER = 10^{-3}$ a 10^{-5} .
- Sistemas dañados: $BER > 10^{-3}$.

(Ref: IEC 60870-3 y IEC 60801-4)

3.6 Influencias sobre Cables Opticos

Para asegurar un funcionamiento confiable deberán considerarse ciertos efectos sobre los cables ópticos:

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 13 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

a. Efecto de la fuerza de tracción

La atenuación varía en función de la fuerza de tracción ejercida sobre la fibra. Un cable óptico bajo tracción no incrementa su atenuación en tanto y cuanto la protección secundaria permanezca sin tensión.

En general se considera que hasta con un 0,5 % de alargamiento de la fibra no se aprecian variaciones en la atenuación.

Por encima de ese valor se producen micro curvaturas de la fibra, aún dentro del tubo protector, lo que hace incrementar rápidamente la atenuación.

En la Figura 6A se describe, típicamente, la forma de variación de la atenuación.

Asimismo, influyen los esfuerzos radiales, el curvado y la torsión, los cuales producen microfracturas y consecuentemente, el incremento de la atenuación. Por ello, deben tomarse precauciones al elegir los recorridos y los métodos de tendido.

Es recomendable trabajar con valores inferiores, en un 20%, a los fijados por el fabricante, de manera de asegurar la vida útil de la fibra.

(Ref: IEEE STD 524)

b. Efecto de la temperatura

La temperatura influye en la atenuación de la fibra según puede apreciarse en la Figura 6B. Esta atenuación se suma a la provocada por la tracción.

c. Efecto de campos electromagnéticos

Cuando el cable es totalmente dieléctrico, en sus partes superficiales próximas a herrajes puestos a tierra, se producen tensiones dieléctricas debidas al campo eléctrico de los conductores de fase. Estas tensiones dieléctricas generan corriente de descarga.

En la Figura 7A se describen los efectos del campo electromagnético en una torre con cable óptico dieléctrico suspendido.

A medida que la distancia es menor a 0,5 m, el efecto del campo eléctrico sobre la cubierta es mucho más importante. Más adelante se recomendarán procedimientos para minimizar estos efectos.

En la Figura 7B se indica el efecto de variación del campo eléctrico en las proximidades de la torre.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 14 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

d. Efecto del agua/humedad

El agua influye de dos formas en la fibra:

- la presencia de humedad sobre la superficie de vidrio incrementa las fisuras y grietas sobre la superficie;
- la velocidad de aumento de las fisuras depende de la tensión mecánica y de la cantidad de agua presente.

Se recomienda que la tensión sobre la fibra de diseño sea menor que la de ensayo (proof test).

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 15 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

4 PARAMETROS DE DISEÑO

4.1 Información a Transmitir

A fin de optimizar los canales y la red de comunicaciones, deberán relevarse con la mayor exactitud posible la cantidad y características de la información a transmitir.

a. Cuantificación de la información

Las señales e información a transmitir provienen de :

- las troncales de voz para vinculación entre centrales telefónicas (digitales o analógicas);
- la transmisión de órdenes de protección;
- la transmisión de datos en baja, media y alta velocidad;
- la transmisión de datos para la Operación en Tiempo Real (SOTR);
- la transmisión de datos para la Desconexión Automática de Generadores (DAG);
- la transmisión de órdenes para la DAG;
- la transmisión de imágenes;
- la vinculación a redes Ethernet;
- otras, según requiera el Sistema.

Se estimará la cantidad de información a transmitir, a través de cada una de ellas, provenientes de los Sistemas y/o Centrales que conforman la red de comunicaciones, y se adicionarán los crecimientos futuros previstos.

b. Calificación de la información

Paralelamente a la identificación y estimación de la cantidad de señales e información a transmitir, deberán darse las características mínimas necesarias para su definición:

- Troncales de voz a dos o cuatro hilos, más señalización EyM.
- Ordenes de protección, para vinculación analógica y su interfaz respectiva.
- Ordenes de protección, para vinculación digital.
- Indicar la cantidad de órdenes de disparo independientes y simultáneas que se desea transmitir.
- Necesidad de equipos de teleprotección digitales.
- Transmisión de datos para telecontrol, indicando la velocidad de cada señal a transmitir.
- La frecuencia central, el ancho de banda y las tolerancias de las señales, referenciadas a las normas ITU-T:

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 16 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

- baja velocidad (hasta 9600 bps),
- velocidad media (< 64 Mbps),
- alta velocidad (>64 Mbps).

Las funciones de operación en tiempo real del sistema de transmisión de datos para el SOTR, así como sus requerimientos y características, figuran en la Resolución SE 332 y 106. Al respecto, deberá establecerse la forma de envío de esta información, si se la realiza por uno o más canales y la velocidad consecuente.

4.2 Tipos de Canales

El Sistema de FO puede abastecer un gran número de canales a través del multiplexores ligados a cada estación.

Estos canales deberán ser totalmente dedicados a cada una de las funciones antes descriptas y/u otras según la necesidad.

4.3 Carga de Información de los Canales

Deberá detectarse y listarse la información a transmitir por el Sistema de FO para luego asignarla a los canales del MUX respectivo.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 17 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

5 FIBRAS OPTICAS

Las fibras ópticas deberán diferenciarse a lo largo del medio de enlace según sea la característica del sistema de comunicaciones, tal como se indica a continuación:

5.1 Distancias Largas (red de transporte hasta 100 km)

Se utilizará alguna de las fibras monomodo siguientes:

Tipo	Diámetro Campo Modal	Aplicación	Longitud de Onda	ITU-T
SM/step	9-10 um	uso estándar	1300 nm	G. 652
SM/DC (depressed cladding)	9-10 um	mejor respuesta al doblado	1300 nm	G. 652
SM/NZD (single mode, non-zero dispersion)	7,5 um	optimizada para tercera ventana	1550 nm	G. 655

La tendencia actual consiste en utilizar fibras SM con dispersión controlada (SM/NZD) de manera de disponer dispersión cromática muy baja (prácticamente cero) y por ende, mayor ancho de banda, pero con valores de atenuación muy bajos (orden de 0,2 dB/Km).

5.2 Distancias Medias (redes LAN, hasta 10 km)

Se utilizará alguna de las fibras multimodo siguientes:

Tipo	Diámetro Campo Modal	Aplicación
Indice gradual	50-125um	Redes LAN
Fibras para datos	62,5-125um	Redes LAN más económicas

5.3 Distancias Cortas (redes de edificios)

Es posible utilizar fibras de uso industrial en plástico transparente para uso en longitudes de algunos cientos de metros y atenuaciones del orden de hasta 30 dB/Km.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 18 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

La fibra deberá absorber la máxima cantidad de luz posible, por lo que el diámetro del núcleo y la apertura numérica deberán ser grandes (orden de 0,47) y ángulos de aceptación de $\pm 28^\circ$. Las dimensiones de la fibra son del orden de 1000 μm .

Asimismo se fabrican fibras de vidrio de cuarzo con diámetro de 140 microm, combinadas con emisores ópticos de gran superficie para facilitar el acoplamiento, aunque aquí la apertura numérica es menor.

Tipo de Fibra	AN	θ_a (°)
FO Industrial (cuarzo)	0,29	$\pm 17,5$
MM Step	0,2	± 12
Plástico	0,47	± 28

5.4 Recubrimiento Secundario

La utilización de un recubrimiento secundario suelto (loose) o adherente (tight) conferirá a la fibra las siguientes características:

Características	Protección Suelta	Protección Adherente
Diámetro externo	grande (2mm)	pequeño (0,9 mm)
Resistencia al esfuerzo axial	muy buena	mala
Resistencia al esfuerzo transversal	muy buena	buena
Comportamiento con la temperatura	muy buena	buena
Protección de los extremos	regular	muy buena
Peso	mayor	menor

Las fibras con recubrimiento tight deben elegirse para tramos cortos, sin tensión de tracción importante y para cableados internos de los equipos y para pigtails.

Las fibras con recubrimiento loose, deben elegirse para la mayoría de las aplicaciones, de forma de brindar mayor protección a las fibras, aun en caso de cables subterráneos dado que la protección la puede conferir la armadura.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 19 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

5.5 Ancho de Banda

Los pulsos transmitidos por la fibra sufren ensanchamientos debido a varios factores:

- El propio tiempo de operación de la fuente óptica.
- La dispersión modal de la fibra.
- El esparcimiento (Rayleigh) del material de la fibra.
- El propio tiempo de operación del detector óptico.
- Dispersión de polarización

Por lo tanto, el cuadrado del tiempo de operación total del sistema óptico (t_{op}) será la suma cuadrática de los tiempos parciales:

$$T_{op2} = T_{f2} + t + t_{RE2} + t_{D2}$$

Deberá cumplirse que:

$$t_{op} < 0,35 \times T(\text{RZ})$$

$$t_{op} < 0,70 \times T(\text{NRZ})$$

donde:

T	intervalo de tiempo de 1 bit,
RZ	datos con retorno a cero,
NRZ	datos sin retorno a cero.

Esta situación limita la velocidad de transmisión pues cuanto mayor es el ensanchamiento que se introduzca, los pulsos deberán espaciarse más entre sí para poder ser discriminados.

En la Figura 8, en un caso particular, se muestran comparativamente las características para distintos tipos de fibras.

5.6 Ancho de Banda en Función de Longitud de Enlace

Debido a la dispersión modal y al esparcimiento del material de la fibra el ancho de banda provisto por el fabricante se degrada a medida que la longitud del enlace es mayor.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 20 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

5.6.1 Para una Fibra Multimodo

$$BW_t = \left((BW_{mod})^{-2} + (BW_{crom})^{-2} \right)^{1/2}$$

donde:

BW _t	Ancho de banda total,
BW _{mod}	Ancho de banda por efecto de distorsión modal,
BW _{crom}	Ancho de banda por efecto de dispersión cromática.

En general, el ancho de banda normalizado por el fabricante se refiere a la longitud de 1 km.

(Ref: ITU-T G.651)

a. Ancho de banda por dispersión cromática

$$BW_{crom} [MHz] = \frac{0,44}{(\Delta I \cdot N) \cdot 10^{-6} \cdot L}$$

donde:

L (km)	longitud total,
$\Delta\lambda$ (nm)	ancho espectral de la fuente luminosa al 50% de amplitud,
N (ps/nm.km)	coeficiente de dispersión cromática.

En muchos casos estos valores pueden dejarse de lado, dado los valores de dispersión.

b. Ancho de banda por distorsión modal

$$BW_{mod} [MHz] = \frac{B_o}{(L / L_o)^g}$$

donde:

B _o (MHz)	ancho de banda normalizada (fabricante),
L _o (km)	longitud base 1 km,
L (km)	longitud total,
γ	factor de acoplamiento "fuente luminosa fibra" entre 0,5 y 1.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 21 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Los valores normalizados de ancho de banda por distorsión modal son superiores a los 200 MHz.km y pueden llegar hasta 1000 y 2000 MHz.km según se trate de la longitud de onda (850 y 1300 nm respectivamente).

(Ref: ITU-T G.651)

5.6.2 De Fibras Monomodo

En este caso se utilizan mayoritariamente emisores láser, por lo cual en general el producto Banda/Longitud puede alcanzar los 200 GHz.km, y la restricción a la longitud total del enlace (sin regeneración) proviene de la atenuación y la dispersión cromática.

En lugar del ancho de banda, puede indicarse el ensanchamiento del pulso tomado a mitad de su amplitud:

$$\Delta t = \frac{N \cdot [\text{ps/nm} \cdot \text{km}]}{\Delta \lambda \cdot (\text{nm}) \cdot L(\text{km})}$$

Con lo cual el ancho de banda de la fibra será equivalente a:

$$\text{BW} = \frac{0,44}{\Delta t}$$

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 22 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

6 CABLES OPTICOS

6.1 Tipos de Cables

Los distintos tipos de cables disponibles, son los siguientes. Su elección dependerá de las características del terreno y de la línea:

- a. **Cable óptico subterráneo.**
- b. **Cable óptico dieléctrico (ADSS).**
- c. **Cable de guardia con Fibras Ópticas (OPWG).**

Existen otras alternativas de instalación de los cables y/o fibras tales como:

- incorporado al “bundle” de conductores de fase,
- enrollado en el hilo de guardia,

pero ellas no son recomendables y/o no están suficientemente experimentadas hasta el presente.

6.2 Criterios de Selección

a. El tipo subterráneo

En el ámbito de las Empresas de energía, se utiliza en distancias cortas, en áreas geográficas planas y donde el suelo sea fácilmente excavable. En estos casos, los cables se instalan directamente enterrados o en el interior de ductos.

En la elección del trazado deberá tenerse presente la fragilidad de la fibra óptica. Deberán evitarse los quiebres bruscos, las curvaturas excesivas y los desniveles que puedan sobretensionar el material. La sismicidad también es un aspecto importante a tener en cuenta.

La protección mecánica podrá obtenerse:

- utilizando un cable con malla de acero como armadura en el mismo cable,
- cubriéndolo con medias cañas cuando está directamente enterrado,
- instalándolo en ductos.

En los casos de instalaciones de comunicaciones que asisten a otra obra subterránea (por ejemplo una pipeline), los cables ópticos pueden ubicarse dentro de la misma zanja, en cuyo ca

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 23 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

so los costos de excavación serán marginales y compartiendo el medio de comunicación para las funciones de la línea eléctrica y el proceso.

b. El cable óptico dieléctrico (ADSS)

Se aplica en distancias medias y largas y en zonas de terrenos quebrados, donde la excavación sea dificultosa.

Este tipo de cable es más económico que el OPWG y posee la ventaja de permitir su mantenimiento sin desenergizar el sistema de transporte eléctrico.

Especialmente recomendable cuando se trata de instalaciones eléctricas existentes, donde ya se encuentre tendido el hilo de guardia.

Este tipo de cable es suficientemente estable respecto a vientos y efectos de deshielo, con lo cual no es necesario considerar el efecto galloping en ellos.

Puede tenderse suspendido de las propias estructuras de la línea según dos variantes:

- Cable aéreo dieléctrico autosuspendido (ADSS).
- Cable aéreo dieléctrico suspendido de un tensor de acero.

En general, se prefiere la utilización del ADSS, pero a medida que se incrementa el largo del vano, comienza a resultar más económico suspenderlo de un tensor, bajo dos posibilidades:

- Suspendido de tensor de acero independiente y sujetado mediante grapas a él.
- Suspendido de un tensor de acero incluido en cable tipo ocho.

La altura de tendido del cable óptico surge de una solución de compromiso entre la máxima altura que permite efectuar el mantenimiento con línea energizada y el efecto del campo electromagnético de la línea sobre la cubierta del cable óptico.

La cubierta del cable debe ser de polietileno dado que posee mayor resistencia a las corrientes de fuga que se producen como consecuencia de la capacidad entre la superficie del cable y las partes puestas a tierra.

Se recomienda que estos cables posean debajo de la cubierta exterior, una capa de hilos Kevlar impregnados en sustancia conductora, que permita la circulación de corriente inducida por el campo eléctrico, con lo cual se reduce en forma importante los efectos sobre la cubierta exterior.

Las medidas para mejorar las condiciones se complementan con la instalación de electrodos de control (anillos o espirales) en la proximidad de los herrajes de sujeción a las estructuras metálicas.

En zonas con condiciones de vandalismo se debe agregar al cable una camisa dieléctrica resistente a disparos, golpes, etc.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 24 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

c. El cable de guardia con fibras ópticas (OPGW)

Es la mejor solución técnica para la transmisión digital dadas la buena protección del cable y la alta disponibilidad del sistema que puede obtenerse.

Se recomienda su utilización cuando se trate de una línea eléctrica nueva, dado que la diferencia de valor con un hilo de guardia convencional radica solamente en el costo diferencial de la provisión del material.

Se aconseja como reemplazo del hilo de guardia existente, cuando deban preverse cortes de línea de cierto lapso de tiempo, o se prevean grados de dificultad en las obras que hagan útil la independencia de las comunicaciones, teleprotección y otros.

Es de uso cada vez más frecuente compartir el uso del OPGW con prestadores de servicio de transmisión de datos y/o telefónicos, a partir de la desregulación de los servicios.

Las necesidades de comunicación de las empresas del área eléctrica son normalmente satisfechas con un solo cable de fibra óptica, pudiendo usarse como segundo hilo de guardia el de acero convencional. Sin embargo, dada la conveniencia antes mencionada de compartir servicios interurbanos de transmisión de voz y/o datos y/o videos, con otros carriers, se recomienda la conveniencia de considerar la instalación de sendos OPGW.

Tanto en el caso de reemplazar el hilo de guardia existente por un OPGW, así como en el caso de instalar uno nuevo, debe analizarse el efecto sobre las estructuras soporte de la línea, dadas las diferencias de peso, tiro y efectos agregados que trae aparejadas (situación ésta que no es crítica en un hilo de guardia tradicional).

Se recomienda tener en cuenta:

- Nuevas tensiones de tiro axial.
- Nuevos esfuerzos sobre torres.
- Vibraciones por efecto del viento.
- Mayor carga por hielo.
- Vibraciones por deshielo.

El tendido y flechado de un cable de OPWG debe requerir cuidado para reducir al máximo los efectos negativos de:

- La torsión en el cable y en las fibras.
- El doblado del cable.
- La compresión y la tracción.
- La pérdida de estanqueidad durante el proceso de instalación.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 25 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

Deben fijarse mayores exigencias para la amortiguación de vibraciones mediante stockbridges, pues el cable de fibra óptica es mucho más sensible a las consecuencias de las vibraciones por las microcurvaturas que sufren las fibras durante las oscilaciones. Deberá efectuarse un modelado y estudio de las vibraciones para limitar los valores máximos y fijar las condiciones de amortiguación. Deberán fijarse las condiciones para la medición de las vibraciones luego de la puesta en servicio, (típicamente cada dos años) para comprobación de los cálculos realizados y luego durante el servicio para mantener protegida las condiciones de trabajo de las fibras.

(Ref: IEC 60794; CIGRE SC35 WG04/92)

6.3 Principales Características Constructivas

En el diseño del cable de fibra óptica deberán tenerse en cuenta las condiciones de instalación, para la cual se destacan a continuación algunos requerimientos constructivos.

La cantidad de fibra de los cables será definida en función de los criterios de utilización (camino principal o secundario) y de redundancia o reserva aplicados.

En caso de compartir el uso del cable óptico con otros prestadores de servicios, deben diferenciarse claramente las fibras y tubos propios de la compañía eléctrica.

El cable óptico subterráneo debe poseer características mecánicas adecuadas para soportar golpes y compresiones durante la instalación y habilidad para repeler la acción de los roedores.

Se recomienda la utilización de cables ópticos tipo KPSP para permitir un enterado rápido, sin necesidad de cámaras intermedias y bajo mantenimiento posterior. Dependiendo de su recorrido paralelo o no a la línea, puede utilizarse armadura de acero o armadura dieléctrica como forma de lograr la protección.

El compuesto taponante para impedir la propagación de humedad dentro del cable puede ser el típico de resina o elegir la alternativa de cables secos con cinta higroscópica interior. La ventaja de elegir esta segunda, es la mayor rapidez con que se realizan los empalmes.

En caso de instalación dentro de ductos o con protección mecánica agregada, puede elegirse cables del tipo PKP con elemento central de tipo FRP, que actualmente posee igual fuerza de tiro que los elementos centrales de acero.

El cable óptico dieléctrico es sensible a la radiación UV que permanente incide sobre la cubierta exterior. De allí la importancia de conocer las condiciones de asoleamiento de la zona de instalación.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 26 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

El elemento central debe ser de vidrio y/o aramida (GFRP) con tubos de protección loose dispuestos a su alrededor con un mínimo número de fibras dentro de cada tubo según el criterio:

- entre cuatro y seis fibras máximo, para minimizar riesgos ante daño del tubo y rápida ejecución de empalmes.

Por sobre los tubos con su taponante de resina, se deberá prever la cubierta de núcleo, la cubierta interior de polietileno laminada con aluminio, la armadura dieléctrica para refuerzo (hilados aramídicos o Kevlar) para soportar los esfuerzos de tracción y la cubierta exterior de polietileno.

El cable óptico en hilo de guardia deberá preverse para cumplir simultáneamente con las funciones de protección eléctrica de la línea (corriente de cortocircuito y descargas atmosféricas), así como de incluir las fibras ópticas para la transmisión de información.

De allí que se recomienda utilizar aquellos diseñados con dos áreas bien diferenciadas. Estos cables son normalmente de aluminio-acero y poseen dos áreas diferenciadas:

- El área óptica, constituida por fibras protegidas alojadas dentro de un tubo de aluminio, acero, etc; hermético que, conjuntamente con la cubierta, reduce el efecto de sobrecalentamiento e impiden el ingreso de la humedad. Las fibras se alojan dentro de tubos loose con relleno, en número de FO por tubo según criterio y principios de diseño del fabricante.
- El área metálica, se recomienda esté conformada con por lo menos dos capas de alambres metálicos independientes alrededor del tubo del área óptica que permitan soportar los esfuerzos mecánicos del cable tendido y reducir el sobrecalentamiento originado por las corrientes de cortocircuitos propias de las líneas de transmisión.

Típicamente la capa interna de hilos de acero con alta carga de rotura y la capa externa de aluminio o aleación de aluminio con buenas condiciones para rápida evacuación de las corrientes de cortocircuito y descargas.

Dependiendo de la corriente de cortocircuito (por ende de la magnitud del sistema eléctrico) puede utilizarse una sola capa de alambres.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 27 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

7 EMISORES OPTICOS

Los emisores ópticos deberán poseer algunas cualidades mínimas:

- Poseer una larga vida útil.
- Utilizar la emisión óptica en el área espectral que mejor se adecue a la fibra específica para lograr baja absorción y dispersión.
- Disponer de alta potencia de radiación para cuando las distancias de enlace son grandes.
- Poseer un alto rendimiento de acoplamiento “emisor óptico-fibra”.

En función del enlace específico que se desee diseñar podrá elegirse entre:

- Emisores ópticos en base a LED.
- Emisores ópticos en base a Láser.

7.1 Emisores LED

Las principales ventajas de este emisor son el bajo costo del elemento en sí y el no requerimiento de circuitos estabilizantes. Es un elemento robusto y de fácil mantenimiento.

Sus desventajas son el bajo rendimiento (potencia óptica generada/potencia eléctrica ingresada) y la distribución espectral muy amplia (orden de 50 a 100 nm), que produce la emisión de diferentes longitudes de onda, aumenta la dispersión cromática y considera la emisión multimodal, disminuye el ancho de banda del medio de transmisión.

Debido a que la emisión espacial de luz omnidireccional introduce pérdidas importantes y baja el rendimiento, no suele utilizarse con fibras monomodo ni donde se requiera un ancho de banda extenso.

Conviene elegir emisores LED cuando los enlaces son de baja velocidad de transmisión y las distancias a comunicar son cortas.

El LED utiliza la superficie del semiconductor para lograr emisiones en primera y segunda ventana. Por ello, utilizando fibras MM graded index de 50/125 um pueden lograrse potencias del orden de microWatt, y ancho espectral de 20-50 nm. Esta solución económica permite, combinando con receptores PIN, cubrir enlaces cortos con velocidades de hasta 8 Mbps. Para cubrir enlaces más largos pueden utilizarse receptores más sensibles, tipo PIN-FET.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 28 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Existe la posibilidad de disponer de LED emisores de borde para trabajar en segunda ventana con anchos espectrales menores (del orden de 70 nm) y mayor potencia de inyección (100 uW en fibras MM graded index), con lo cual pueden incrementarse las distancias a enlazar y la velocidad. Sin embargo, en estas condiciones resulta más conveniente la utilización de emisores láser.

7.2 Emisores Láser

Es un emisor esencialmente de borde que permite disponer de una alta potencia luminosa (1-5 mW), con una distribución espectral muy angosta (del orden de 1 nm), con lo cual la dispersión cromática en la fibra es baja.

La posibilidad de disponer de un haz más angosto para inyectar luz a la fibra lo hace óptimo para su uso con fibras monomodo, aunque también es posible utilizarlo con fibras MM.

Sus características no lineales obligan a utilizarlo con circuitos de estabilización que compensan las variaciones de temperatura y el envejecimiento.

Para la transmisión en alta velocidad (del orden de 140Mbps) es necesario utilizar el sistema de realimentación incorporado. Este permite que el Láser funcione siempre en la zona de operación estimulada y que se disponga de una salida sin retardos y con una única longitud de onda, lo que implica una baja tasa de error.

En la Tabla 3 se indican los datos característicos para velocidades de 140 Mbps y mayores.

La vida útil del Láser se encuentra en el orden de 10^5 horas, con la ventaja de que su envejecimiento se produce gradualmente y permite el reemplazo del módulo con suficiente anticipación. Una vida útil elevada requiere que la fuente se utilice con una adecuada relación corriente/temperatura.

En la Figura 9A se muestran características de diferentes emisores y en la Figura 10A se muestra la longitud de onda de emisión de Láser.

Los siguientes son diseños típicos del sistema:

Tipo de emisor	Fibra utilizada (um)	Nivel de emisión (dBm)	Longitud de onda (nm)
LED	MM 50/125	-20	850/1300
LASER	MM 50/125	0	850/1300
LASER	SM 9/125	-3	1300/1500

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 29 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

Es importante destacar que los terminales de línea ópticos (TLFO) se suministran dispuestos para operar en una determinada longitud de onda pero con la posibilidad de utilizar diferentes potencias de emisión para diferentes tipos de fibras.

7.3 Comparación LED - LASER

Orientativamente podemos realizar la siguiente comparación entre emisores LED y Láser, tomando como base una utilización en 2^{da} ventana:

$$\frac{\text{Potencia Laser}}{\text{Potencia LED}} = 0\text{dBm} - (-15\text{ dBm}) = 15\text{ dB aprox. } 32\text{ veces}$$

$$\frac{\text{Ancho Espectral LED}}{\text{Ancho Espectral Laser}} = \frac{80\text{ nm}}{1\text{ nm}} \quad \text{aprox. } 80\text{ veces}$$

$$\frac{\text{Vida Util LED}}{\text{Vida Util Laser}} = \frac{10^6}{10^5} \quad \text{aprox. } 10\text{ veces}$$

En resumen, las principales ventajas e inconvenientes de ambos emisores son:

	Emisor LED	Emisor Láser
VENTAJAS	larga vida bajo consumo disposición simple precio bajo	potencia emitida alta emisión direccional tiempo de respuesta bajo (menor que 1 nseg.)
INCONVENIENTES	potencia emitida baja tiempo de respuesta lento (orden de 100 nseg.) no apto para fibras SM	sensible a temperatura precio alto vida útil menor

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 30 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

8 CONVERTIDORES OPTO-ELECTRONICOS

8.1 Generalidades

Las principales consideraciones que deben tenerse en cuenta para los convertidores son:

- La obtención de una potencia lumínica pequeña que sea detectable con una tasa de error (BER) determinada se logra con convertidores que posean bajo ruido y una sensibilidad determinada en el área espectral deseada. Ver Figuras 9B y 11.

Tal sensibilidad está constituida por la potencia óptica mínima que es capaz de recibir, garantizando una tasa de error BER determinada (típicamente de valor 10^{-9} y 10^{-10}).

De allí que la distancia entre el emisor y el receptor ópticos está determinada por el ancho de banda a transmitir y por el valor medio de la potencia de recepción óptica que es necesario disponer para obtener una tasa de $BER=10^{-9}$ a temperatura normalizada (20°C típico). Ver las Figuras 10B y 12A.

En la Figura 12B se muestran la comparativa de enlaces y la atenuación máxima permitida para diferentes velocidades de reacción muy grande.

- Para la velocidad de transmisión que se pretende utilizar, el dispositivo convertidor deberá poseer una velocidad de reacción muy grande.

8.2 Tipos de Convertidores

Los principales tipos de receptores son:

- Fotodiodos PIN.
- Fotodiodos PIN con preamplificadores FET.
- Fotodiodos de avalancha APD.

Los fotodiodos PIN de silicio se utilizan como receptores ópticos en las longitudes de onda entre 0,8 y 1 μm .

Para aumentar la sensibilidad del PIN se utilizan fotodiodos PIN –con preamplificador FET– que poseen un ancho de banda amplio, pudiendo ser utilizados para diferentes longitudes de onda y diferentes tipos de fibras. Su constitución le permite obtener señales ópticas de hasta el nanowatt y asegurar la precisión en la detección.

Los fototipos de InGaAs son más convenientes para combinar con emisores Láser y trabajan en segunda y tercera ventana, lo que puede observarse en la Tabla 4 y la Figura 9B).

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 31 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

Otra posibilidad es la de utilizar fotodiodos APD. Estos son mucho más sensibles y de mayor velocidad de respuesta pero requieren de una tensión de polarización estabilizada térmicamente. Por esta razón son utilizados para sistemas de gran ancho de banda (operación en 140 Mbps).

Su constitución les permite detectar señales por debajo del nanowatt (décimas) y con anchos de banda hasta Ghz.

Estos fotodiodos APD pueden elegirse entre diferentes modelos y tipos, como:

- APD de silicio (longitudes de onda de hasta 1100 nm).
- APD de InGaAs/InP (longitudes de onda para 1300 nm).
- APD de germanio (para 1300 nm).
- APD de InGaAs/InP con GaAs-FET (para 1300 nm).

En la Tabla A pueden apreciarse las diferencias entre ellos.

Como regla general puede decirse que los receptores APD deben ser utilizados para enlaces largos y los PIN-FET para enlaces medios.

El siguiente cuadro comparativo permite orientar la elección:

RECEPTOR	NIVEL DE SENSIBILIDAD	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	LONGITUD DE ONDA
PIN	-34 dBm	2 a 34 Mbps	1 ^a y 2 ^a ventana
PIN-FET	-53 dBm -47 dBm	2 Mbps 34 Mbps	2 ^a y 3 ^a ventana
APD	-56dBm -50 dBm	2 Mbps 34 Mbps	2 ^a y 3 ^a ventana

Para mayor velocidad de transmisión, la sensibilidad será menor, pudiendo apreciarse una variación orientativa en la Tabla 3.

Un recurso para extender la longitud de enlace consiste en aumentar la sensibilidad del receptor en aras de aceptar una tasa de error menor. En la Figura 13 se indica un estilo de variación.

8.3 Combinación Emisor-Receptor

En forma orientativa es posible indicar ciertas combinaciones de elementos emisores y convertidores ópticos, según la longitud de onda a utilizar:

Lambda 850 nm

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 32 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

- Fibra multimodo (graded index).
- Emisores LED (GaAs) o Láser.
- Receptores PIN de silicio.

Lambda 1300 nm

- Fibra multimodo o monomodo.
- Emisores Láser (GalnAsP).
- Receptores PIN de InGaAs.

Lambda 1550 nm

- Fibra monomodo (tipo NZD).
- Emisor Láser.
- Receptores APD (GalnAsP).

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 33 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

9 CALCULO DEL ENLACE

9.1 Procedimiento de Cálculo

Primeramente deberán establecerse las hipótesis de diseño, constituidas mínimamente por:

- Velocidad de la transmisión de datos.
- Tipo de fibra óptica a utilizar.
- Longitud de onda a utilizar.
- Longitud total del enlace óptico.
- Tipo de cable óptico.
- Tasa de error requerida.

El cálculo podrá desarrollarse en pasos sucesivos, como sigue:

- a) Extraer de los datos característicos del cable óptico lo relativo al ensayo de las fibras y al tipo de instalación, obteniendo:
 - Atenuación de la fibra (af).
 - Atenuación de empalmes (ae) y su cantidad.
 - Atenuación en conectores (ac).
- b) Establecer los márgenes de seguridad:
 - Margen de equipos (Me): por envejecimiento, temperatura, etc.
 - Margen del cable óptico (Mc): por futuras reparaciones, etc.
- c) Realizar el cálculo de la atenuación total del enlace óptico:

$$A_t = (af \cdot L_t) + (ae \cdot N^o) + M_c$$

- d) Definir el emisor óptico para la longitud de onda a utilizar y para $t=20^{\circ}\text{C}$:
 - Tipo de emisor (LED; Láser).
 - Nivel de emisión óptica en el "pigtail" (dBm).
 - Ancho espectral de la fuente (nm).
- e) Definir el receptor óptico a utilizar:
 - Tipo de receptor (PIN; etc.).
 - Nivel de recepción máxima aceptada (Nmax).
 - Sensibilidad del receptor (nivel mínimo aceptable para BER y a

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 34 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

- T=20 °C) (S).
- f) Determinar la diferencia (δ) entre la potencia de emisión (N_e) y la sensibilidad del receptor (S_r), agregando el margen de equipo:

$$\delta (\text{equipo}) = N_e - S_r - M_e$$

- g) Verificar que el salto máximo entre equipos sea mayor o igual a la atenuación que introduce el enlace óptico (precaución especial para enlaces largos):

$$\delta (\text{equipo}) = A_t (\text{enlace})$$

Aquí es conveniente analizar las condiciones:

- a la época de instalación $\delta (\text{sin } M_e) > A_t (\text{con } M_c)$,
 - durante el período de vida útil $\delta (\text{con } M_e) > A_t (\text{con } M_c)$.
- h) Verificar que el nivel de recepción que se logra después de la atenuación del enlace no sea mayor que el nivel de recepción máximo aceptado en el receptor (precaución especial para enlaces cortos):

$$N_{\text{recepción}} < N_{\text{máx.}}$$

- i) Verificar el ancho de banda en función de la longitud del enlace L_t .

(Ref: UIT-T G. 956 Cuadro 1 para fibras MM y Cuadro 2 para fibras SM en velocidades de 2Mbps y mayores)

9.2 Repetidores

Cuando las distancias de enlace sean excesivamente largas puede ser necesario instalar repetidores dentro del tramo de cable óptico.

Estos repetidores deben ser elegidos según los siguientes criterios:

- a) ubicarlos preferentemente en emplazamientos con infraestructura existente (edificio, alimentación);
- b) no incluir multiplexores, salvo que se prevea insertar y extraer información de ese emplazamiento en un futuro;
- c) instalar los repetidores en lugares poco accesibles para personas no autorizadas (para OPGW y ADSS en las posiciones más altas de torres).

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 35 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Dado que los repetidores introducen mucha vulnerabilidad en el sistema de comunicaciones y alargamiento de los valores MTTR, su instalación sólo debe considerarse como una medida extrema. Para evitarlos deben estudiarse otras medidas:

- Utilización de fibras monomodo optimizadas para tercera ventana.
- Utilización de longitudes de onda de 1550 nm.
- Utilización de emisores ópticos de mayor nivel.
- Utilización de amplificadores ópticos
- Utilización de receptores ópticos de máxima sensibilidad.
- Utilización de la mínima velocidad posible para transmitir la información.
- Reducción de la tasa de error del enlace a lo estrictamente necesario.

Otra alternativa para extender la longitud de enlace sin repetidores consiste en utilizar amplificadores de fibras dopadas con Erbium y emitir en tercera ventana. La principal precaución con este tipo de amplificadores es la de filtrar convenientemente las longitudes de onda de la bomba de láser a la salida de señales útiles.

Si finalmente debe instalarse el repetidor, éste se compondrá de un terminal de línea óptico conectado "back-to-back" y deberá disponer de una supervisión de sus condiciones de funcionamiento a ser transmitidas a la estación del extremo de enlace:

- Niveles de emisión.
- Estado de baterías.
- Temperatura y humedad.
- Otros.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 36 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

10 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICA

Dado que los sistemas de transmisión óptica poseen iguales interfaces que los sistemas de transmisión eléctricos (caso de sistemas existentes de microondas, por ejemplo), es posible integrarlos a ellos.

Los tipos de transmisión digital estandarizados por ITU-T son:

- Redes PDH.
- Redes SDH.

10.1 Sistema Digital Plesiócrono (PDH)

Ampliamente utilizado, constituye la mayoría de los sistemas digitales existentes en FO y MO, permitiendo abastecer n canales a 64 kbps según la jerarquía correspondiente:

E0	(1 x 64 kbps)	
E1	30 x E0	2 Mbps
E2	120 x E0	8 Mbps
E3	480 x E0	34 Mbps
E4	1920 x E0	140 Mbps

Para las redes eléctricas solamente es suficiente utilizar hasta jerarquías E1 y E2.

Adicionalmente puede utilizarse la submultiplexación de los canales de 64 Mbps, con lo cual puede abastecerse mayor información.

Para el caso de ser necesarias jerarquías mayores, se recomienda pasar a sistemas SDH.

10.2 Sistema Digital Síncrono (SDH)

En caso de preverse diseñar un Sistema de Comunicaciones Digital Integrado (SCDI), por el cual canalizar la totalidad de información de la Compañía Eléctrica, como es:

- Tráfico de voz y datos, digital, del Area Administrativa y Comercial.
- Tráfico de datos de telecontrol y afines.
- Tráfico de voz del Area Mantenimiento de Red (vía trunking o sistema radiomóvil propio).

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 37 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Es conveniente implementar una red SDH e integrar a ella todos los sistemas PDH que existan en la Compañía.

De esta forma se permitirá abastecer n canales según cierta jerarquía como sigue:

STM-1	2430 canales	velocidad 155 Mbps
STM-4	9720 canales	velocidad 622 Mbps
STM-16	38880 canales	velocidad 2488 Mbps

En la Figura 14 se muestra un sistema SDH de jerarquía STM-1, a 155 Mbps, configurado en anillo y con tributarios eléctricos y ópticos, para caso de integrar todo el equipamiento existente a la Red de Comunicaciones.

(Ref: ITU-T G 707, G 708 y G 709)

10.3 Conveniencia Red SDH

Es recomendable implementar una red SDH por varios motivos:

a) Flexibilidad

Permite incorporar redes PDH a ella, sean norma USA o EUROPA.

b) Crecimiento

Permite incorporar nuevos tributarios en el futuro y crecer hacia velocidades mayores (caso de compartir funciones con los carriers).

c) Bajo costo

Permite disponer de sistemas más simples, con valor de mantenimiento menor que el de otras redes, requerir menor consumo de energía, etc.

d) Facilidades

Permite acceder a los tributarios de baja velocidad sin necesidad de pasar por la totalidad de multiplexaciones y demultiplexaciones que requieren los PDH.

Además permite disponer de servicios de banda ancha para video-vigilancia y otros.

e) Gerenciamiento de la red

Permite el control total de la red mediante software, como la detección de fallas en cualquier punto, modificar la configuración de los nodos remotos, realizar enrutamiento, etc.

La posibilidad de incorporar enlaces PDH a una red SDH de nivel STM-1 (por ejemplo) es como sigue:

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 38 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

1 x 140 Mbps	(EUR)
3 x 45 Mbps	(USA)
3 x 34 Mbps	(EUR)
16 x 8 Mbps	(EUR)
21 x 6 Mbps	(USA)
63 x 2 Mbps	(EUR)
84 x 1,5 Mbps	(USA)

10.4 Particularidades de la Multiplexación

Los multiplexadores podrán elegirse fundamentalmente de dos tipos:

- TDM (asignados o dinámicos).
- WDM.

Los de **tipo TDM con interfaces asignadas** permiten la multiplexación de señales eléctricas de los n canales de entrada a él y a posteriori, a través del terminal de línea óptico, transmitir una sola longitud de onda (λ) por el cable óptico.

Los de **tipo TDM dinámicos** permiten que las señales se conecten en cualquier posición y además equiparlos con mayor cantidad de interfaces que lo permitido en un MUX convencional de operación simultánea.

En este caso los canales se conectarán según la necesidad de uso. Las interfaces están vinculadas permanentemente, pero la transmisión de información se realizará solamente cuando exista presencia en la interfaz.

Los del **tipo WDM** permiten la transmisión de cada señal a través de una longitud de onda específica que se transmiten combinadas a través de un acoplador óptico hacia el cable óptico. Se extraerán equivalentemente a través de un splitter en el extremo opuesto.

Debe prestarse atención al efectuar el cálculo de atenuación del enlace óptico para la longitud de onda de peor condición.

Los acopladores para WDM permiten utilizar fibras SM o MM y se los prefiere en distancias cortas y enlaces sin repetidores.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 39 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

11 EQUIPAMIENTO

11.1 Conformación de las Instalaciones

Dependiendo del tipo de instalación a realizar con el cable óptico, será la conformación de la instalación requerida.

En las Figuras 17, 18 y 19 se muestran los componentes de instalaciones referidas a cable óptico subterráneo, dieléctrico aéreo y en cable de guardia respectivamente, de forma de tener en cuenta todos los componentes necesarios.

11.2 Especificación de Elementos y Equipos

Los distintos elementos y equipos que conforman el Sistema de FO, mostrados en la Figura 15, deberán diferenciarse y especificarse con un mínimo de características y parámetros:

Cable optico

- Tipo de cable.
- Tipo de fibra.
- Cantidad de fibras.
- Atenuación de las fibras.
- Velocidad de transmisión.
- Longitud de onda.
- Márgenes a considerar.

Complementariamente a él deben tenerse en cuenta los elementos siguientes:

- Amortiguadores para cables OPGW.
- Cajas de empalme en pie de torre para transición cable OPGW a cable óptico de último tramo hasta Sala de Equipos.
- Herrajes de sujeción de cables OPGW y ADSS (extremos; by pass en torres; cambio de dirección; etc.)
- Cajas de empalme estancas para ubicación en torre.

Distribuidor de fibras ópticas

- Tipo para alojar en gabinete 19" o en caja separada.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 40 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

- Cantidad total de fibras.
- Fibras en uso y de reserva.
- Conectores activos y de reserva.

Complementariamente a ellos, deben tenerse en cuenta los elementos siguientes:

- Terminal de conexión (pigtailes) entre terminal de línea óptico y distribuidor (en caso de distancias amplias y cable óptico de vinculación).
- Cables de conexión (patchcord) entre terminal de línea óptico y distribuidor (en caso de ubicación próxima inmediata).
- Conectores:
 - tipo FC / PC (roscables),
 - tipo EC (norma europea),
 - tipo SC (conexiones múltiples),
 - tipo FT (conexión a fibras de gran diámetro).
 - tipo angulares SC-APC

Terminal de línea óptico

- Tipo de emisor óptico.
- Longitud de onda.
- Convertidor opto-electrónico.
- Velocidad de transmisión.
- Alternativas de fibras a utilizar.
- Sensibilidad prevista.
- Márgenes a considerar.

Complementariamente debe tenerse en cuenta que puede requerirse:

- Panel de vinculación (patch panel) donde adaptar conectores SC/PC, conectores FC/PC, conectores FC/ST, etc.

Multiplexor / demultiplexor

- Principio de multiplexación.
- Cantidad de canales.
- Velocidad de transmisión de datos en cada canal.
- Tipo de transmisión de datos (sincrónicos; asincrónicos).
- Interfaces necesarias:

 Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 41 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

- Voz.
- Datos.
- Protección.
- Video.
- Etc.

Las prestaciones de cada uno de estos elementos y equipos deberán ser las recomendadas por las normas IEC y de la UIT-T respectivas:

IEC	UIT-T
60693	G. 651
60793	G. 652
60794	G. 653
60874	G. 654
60869	G. 823
	G. 921
EIA STD	G. 821
RS-232-C	G. 703
RS-485	V. 28
RS-422	V. 24

11.3 Cualidades de los Elementos y Equipos

a. Disponibilidad

Deberán poseer altos valores de MTBF y, de ser necesario, partes comunes duplicadas.

b. Flexibilidad

El Sistema deberá ser capaz de adaptarse fácilmente a los cambios, adecuaciones y crecimiento futuros.

c. Seguridad

El Sistema deberá mantener el enlace, aún a costa de su degradación.

d. Experiencia de uso

Los equipos y elementos deben estar suficientemente experimentados en uso comercial y, al mismo tiempo, no ser de una tecnología de antigua generación.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 42 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

12 TELEPROTECCION

12.1 Estabilidad del Sistema Eléctrico

Ciertos sistemas de protecciones de línea adquieren la información de tensión y corriente de la línea y por ende disponen del valor complejo de la impedancia en su modo de operación normal.

Ante una falla en la línea la corriente crecerá y la tensión se reducirá. El valor de la impedancia vista por la protección se reducirá, desplazándose hacia un punto dentro de la zona de arranque de la protección.

Dependiendo de las zonas de medición que posea el Sistema de Protecciones y de la posición de la falla, el tiempo de operación, si solamente dependiera de la Protección, podría ser compatible o no con el tiempo de estabilidad del Sistema Eléctrico de Potencia.

Los sistemas de protección digital se prevén para operar sobre sistemas de comunicaciones digitales, por lo cual se transmitirá permanentemente un telegrama binario de n bits entre extremos del enlace.

Este protocolo deberá asegurar que el canal de vinculación entre ambos extremos se encuentre presente continuamente y con una tasa de error típica de $BER=10^{-5}$ / $BER=10^{-6}$.

Como ejemplo, el sistema de protección diferencial puede conectarse directamente entre terminales, a través de un canal PCM normalizado UIT-T en 64 kbps o normalizado EIA en 56 kbps (según se trate de norma europea o americana).

Otras protecciones requieren de la utilización de equipos de teleprotección que envíen la orden al extremo opuesto de apertura de interruptores, acelerando así la desconexión de la línea en problemas.

(Ref: IEC 60834-2)

12.2 Característica de la Teleprotección Digital

El envío de órdenes en la teleprotección digital debe realizarse mediante una transmisión "full duplex" a través de un canal PCM del multiplexador digital, con interfaz G.703 o, en ciertos casos, a través de una fibra óptica dedicada. Este canal del Mux deberá ser dedicado para cada equipo de teleprotección.

Una alternativa para evitar la multiplexación consiste en utilizar fibras ópticas dedicadas exclusivamente a la teleprotección e independientes del resto de información (multiplexada).

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 43 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Durante el estado de reposo, el equipo de teleprotección digital enviará una trama determinada que será cambiada cuando exista un disparo/orden de protecciones. La estructura de esta trama deberá estar conformada por una cantidad de bytes que mínimamente dispongan:

- Sincronismo.
- Identificación del emisor específico de la orden.
- Información de la teleprotección en sí misma.
- Código de detección de errores.
- Indicación de finalización del mensaje.

12.3 Interfaces

Deben especificarse las interfaces a disponer por el equipo de teleprotección:

- Interfaz lado protecciones, (conteniendo los circuitos de entrada y salida de órdenes).
- Interfaz de línea G.703, (para vinculación al Mux/demux del sistema de comunicaciones por FO).
- Interfaz de fibra óptica, (en el caso de utilizar fibras dedicadas).

La teleprotección digital puede ser utilizada tanto en enlaces digitales ópticos como de microondas, pero no por equipos de onda portadora con multiplexores de entrada. En este último caso siempre deben utilizarse equipos de teleprotección analógicos (que no ingresan al Mux).

12.4 Evaluación y Procesamiento de Señales

Debe requerirse que todo el procesamiento de las señales sea realizado en forma digital a través de un procesador, mediante la técnica DSP (procesamiento digital de señales).

El DSP verificará primeramente si la trama es válida, y luego descifrará el contenido de la información:

- Estado de reposo.
- Orden de disparo.
- Número de salida específica.
- Etc.

Un punto importante es la re-sincronización del equipo después de una interrupción del vínculo de enlace, por lo que deben especificarse valores compatibles con los cortos tiempos de transmisión (por ej. sincronización en orden de 100useg).

La programación y configuración del terminal de teleprotección debe poder efectuarse mediante un software adecuado desde una PC conectada al DSP.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 44 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

Otra de las funciones que le competen al DSP es la de incluir la facilidad de un lazo de prueba automático que en forma periódica verifique el enlace de teleprotección.

Este lazo de prueba no debe poder impartir disparos bajo ninguna condición y debe poder efectuar la verificación sin sacar de servicio el enlace de teleprotección.

12.5 Tiempos de Transmisión

El tiempo de transmisión nominal denominado T_o corresponde a las condiciones ideales, mientras que el tiempo denominado T_{ac} corresponde al máximo tiempo permitido de transmisión de la orden bajo condiciones perturbadas. Los valores a especificar deben surgir de las condiciones de estabilidad del sistema eléctrico y de las características del funcionamiento de las protecciones.

Con la teleprotección digital los tiempos de transmisión deben ser del orden de 3 a 5 mseg, programables en función del tiempo de evaluación y la decisión a tomar. El método de evaluación que pueda utilizar el equipo es a criterio de los fabricantes.

Debe verificarse que los tiempos demasiados cortos no impidan la acción de los recierres.

Debe señalarse si cada equipo de teleprotección poseerá una única orden o varias de ellas y, en el segundo caso, si cada orden debe poder ser evaluada en forma independiente y simultánea y en función de su importancia.

12.6 Dependibilidad y Seguridad

Los dos parámetros indicativos de la calidad del Sistema de Teleprotección son:

- a. **Seguridad (Puc).**
- b. **Dependibilidad (confiabilidad) (Pmc).**

A diferencia del equipo de teleprotección analógico, donde el ruido presente en el canal perturba al Sistema, el canal digital por FO posee una alta inmunidad a tales perturbaciones. En el canal digital serán los bits erróneos los que producirán comandos no deseados o los que retardarán la recepción de una orden, al extremo de no recibirla.

En la norma IEC 843-1 se usan ráfagas de ruido para la evaluación de la dependibilidad y seguridad del equipo analógico. Lo equivalente en la FO son ráfagas de errores. Pero como esta situación aún no se encuentra definida en la norma IEC, se recomienda solicitar a los fabricantes el modelo matemático que demuestre el comportamiento de los equipos frente a estos efectos.

La **Dependibilidad** es la probabilidad de pérdida de comandos emitidos. Los bits erróneos pueden perturbar el sistema de teleprotección, demorando la llegada de una orden al extremo

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 45 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

receptor, pues los mensajes recibidos con errores son rechazados. Además, puede existir la pérdida de sincronismo y también es motivo de pérdida de ordenes.

En la Figura 22 del Draft IEC/95 se muestran valores de P_{mc} en función de la tasa de error BER y de los tiempos de transmisión Tac. Si es posible aceptar tiempos de transmisión mayores, a igual tasa de error, evidentemente se lograrán bajos valores de P_{mc}.

La **Seguridad** es la probabilidad de recepción de disparos no-deseados. En general esta depende del protocolo utilizado y del modo de operación del equipo de teleprotección.

En la Figura 10 de IEC 834-2/93 se muestran valores de P_{uc} para diferentes tasas de error BER, para el caso de un protocolo con trama de 80 bits y 16 bits de control.

En la Figura 21 del Draft IEC/95 se listan valores orientativos de P_{mc} y P_{uc} para diferentes esquemas de protecciones.

Se recomienda que los valores de P_{mc} y P_{uc} sean indicados para cada tipo de orden separadamente (y no en forma general).

(Ref: IEC 60834-2; Draft IEC/96)

12.7 Configuraciones

Según la Seguridad deseada, el sistema eléctrico, los sistemas de protecciones, los sistemas de teleprotección y los sistemas de onda portadora deberán vincularse de forma tal de lograr un esquema de doble envío por vías separadas.

Será función del sistema de protecciones decidir el esquema de conexión de los contactos de órdenes en el extremo receptor:

- Conexión paralelo (máxima confiabilidad).
- Conexión serie (máxima seguridad).
- Conexión serie-paralelo (condición intermedia).

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 46 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

13 SERVICIOS AUXILIARES

13.1 Corriente Continua

El Sistema de Comunicaciones por fibra óptica y el de teleprotección deberán alimentarse de un Sistema de Servicios Auxiliares de Corriente Continua independiente del resto de la estación transformadora, de manera de evitar posibles efectos de interferencias, ruidos, etc.

Típicamente se trata de un esquema más simple o más complejo de 48 VCC, con autonomía de no más de 5 horas y recarga plena en 10 horas.

El esquema simple deberá conformarse por:

- Rectificador/cargador simple.
- Banco de batería único.
- Tablero de distribución de CC.

El esquema de mayor complejidad deberá estar formado por:

- Rectificador/cargador dual.
- Dos medias baterías.
- Tablero de distribución de CC.

Los alimentadores del TGSCC deberán ser independientes para el terminal de línea óptico y cada una de sus fuentes de alimentación (en el caso de la configuración 1+1), para el multiplexador/demultiplexador. En el caso de utilizarse equipos de teleprotección puede compartirse el alimentador del MUX.

El diseño debe contemplar su consumo máximo (configuración total), y poseer llaves termomagnéticas con la debida selectividad con relación a los fusibles o llaves de los equipos en sí mismos.

13.2 En Corriente Alterna

En el caso de que los equipos de comunicaciones posean módulos de alimentación en 220 VCA, deberá utilizarse una Fuente Ininterrumpible (UPS) en funcionamiento ON-LINE, con su banco de baterías dispuesto para la autonomía respectiva.

	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 47 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS	Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA	

14 PROYECTO

El proyecto del sistema de comunicaciones por fibra óptica deberá contener:

- Memoria Descriptiva.
- Planos del Sistema.
- Planillas de Datos Técnicos.
- Cómputo de equipos y elementos.

La documentación mínima será:

a. Memoria descriptiva

- Naturaleza y alcance del proyecto.
- Características ambientales y eléctricas.
- Cálculo de enlace óptico.
- Normas referenciales.
- Ensayos a requerir.

b. Planos del sistema

- Diagrama de bloques del Sistema completo.
- Planos particulares de cada Subsistema.
- Detalles de instalación del cable óptico según sea el tipo previsto.

c. Planillas de datos técnicos

- De cada equipo.
- Del cable óptico y sus fibras.
- Valores esperados de atenuación de cable instalado (con y sin margen).
- Valores esperados de niveles de recepción en la instalación y durante vida útil.

d. Cómputo de equipos y elementos

- Detalle de cantidad y especificidad de equipos y elementos en cada emplazamiento.
- Detalle de reemplazos, adecuaciones, transformaciones, en caso de coexistir con sistemas existentes.

 Transener S.A.	Título: GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA	Página 48 de 71
	Fecha de Entrada en Vigencia:	
Revisión: VERSION 1 - DEFINITIVA		
Gerencia Técnica GUÍAS DE DISEÑO PARA ESTACIONES TRANSFORMADORAS		

**SISTEMA DE TRANSPORTE DE ENERGIA ELECTRICA
EN ALTA TENSION**

**GUIA DE DISEÑO Y NORMAS DE SISTEMAS DE
COMUNICACIONES POR FIBRA OPTICA**

ANEXO

ANEXO

TABLA 1

Hoja 1/2

Datos Básicos de la Línea de Alta Tensión

Vista desde la Estación A hacia la Estación B

Nombre de la Estación A :
Nombre de la Estación B :
Tensión Nominal de la Línea (kV) : Circuito 1:---- 2:---- 3:---- 4:----

Sección N°.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Longitud sección (km)									
Geometría N°.									
Tipo de configuración de torre									
Tipo de terminación de sección									
Resistividad media del suelo (Ohmm)									
Altura media sobre nivel del mar (m)									
Designación de fase de conductor 1									
Designación de fase de conductor 2									
Designación de fase de conductor 3									
Designación de fase de conductor 4									
Designación de fase de conductor 5									
Designación de fase de conductor 6									
Designación de fase de conductor 7									
Designación de fase de conductor 8									
Designación de fase de conductor 9									
Designación de fase de conductor 10									
Designación de fase de conductor 11									
Designación de fase de conductor 12									
Designación de cable de guardia 1									
Designación de cable de guardia 2									

TABLA 1**Geometría No. : Especificaciones y Coordenadas de Conductores y Cable de Guardia****Vista desde la Estación A hacia la Estación B**

Especificaciones del cable de guardia	Cable de Guardia No.1		Cable de Guardia No.2	
Designación de conductor				
Diámetro del conductor DO (mm)				
Número de alambres de capa exterior				
Diámetro de alambres de capa exterior D1 (mm)				
Materiales				
Espesor de la capa de hielo T1 (mm)				
Desplazamiento horizontal (m)				
Altura de la suspensión (m)				
Flecha máxima (m)				
Especificación de conductores	Circuito 1	Circuito 2	Circuito 3	Circuito 4
Designación de conductor				
Número de conductores en haz				
Distancia entre conductores del haz D (cm)				
Diámetro del conductor DO (mm)				
Número de alambres de capa exterior				
Diámetro de alambres de capa exterior D1 (mm)				
Materiales				
Espesor de la capa de hielo T1 (mm)				
Desplazamiento horizontal (m) del conductor n°	1:	4:	7:	10:
Desplazamiento horizontal (m) del conductor n°	2:	5:	8:	11:
Desplazamiento horizontal (m) del conductor n°	3:	6:	9:	12:
Altura de la suspensión (m) del conductor n°	1:	4:	7:	10:
Altura de la suspensión (m) del conductor n°	2:	5:	8:	11:
Altura de la suspensión (m) del conductor n°	3:	6:	9:	12:
Flecha máxima (m)				

TABLA 2

Interferencia Electromagnética del EMI

FUNCIONAMIENTO NORMAL

IEC 870-3		
	Modo Común	Modo diferencial
Impulso de 1,2 / 50 μ seg	0,5 kV	0,3 kV
Alta Frecuencia a 1 M Hz, 2 seg	0,3 kV	0,2 kV

IEC 801-4		
Transitorios Rápidos	0,5 kV Criterio 1	

FUNCIONAMIENTO DEGRADADO

IEC 870-3		
	Modo Común	Modo diferencial
Impulso de 1,2 / 50 msec	2,5 kV	1 kV
Alta Frecuencia a 1 MHz, 2 seg	1 kV	0,5 kV

IEC 801-4		
Transitorios Rápidos	0,5 kV Criterio 1	

TABLA 3

Características de los Sistemas de Transmisión Ópticos

Velocidad de Transmisión	Mbit/s	140		565		2488		
Tipo de Fibra		Fibra Multimodo (Diám. Núc. 50 um)	Fibra Monomodo		Fibra Monomodo		Fibra Monomodo	
			1300 nm	1550 nm	1300 nm	1550 nm	1300 nm	1550 nm
Transmisor Óptico								
Diodo Láser								
Long. de Onda	nm	1270-1320	1285-1330	1500-1570	1290-1330	1525-1575	1260-1360	1480-1580
Ancho Espectral	nm	<5	<5	<1	4	0.3	<1	0.25
Potencia Transmitida (detrás del conector)	dBm	-5	-5	-5	-6	-8	-5	-4
Receptor Óptico								
Potencia Recibida	dBm	-38	-38	-40	-37	-38	-18	-27
Atenuación máxima permitida entre extremos, incluyendo margen de 3 dB	dB	30	30	32	28	27	10	20
Coeficiente de Atenuación de la fibra	dB/km	1.0	0.4	0.25	0.4	0.25	0.4	0.25
Pérdidas Medias por Empalme	dB/empalme	0.2-0.1	0.1-0.05	0.1-0.05	0.1-0.05	0.1-0.05	0.1-0.05	0.1-0.05
Long. de Instalación	km	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
Pérdida por Empalme por unidad de longitud	dB/km	0.2-0.05	0.1-0.025	0.1-0.025	0.1-0.025	0.1-0.025	0.1-0.025	0.1-0.025
Margen de Reparación	dB/km	0.35-0	0.2-0	0.2-0	0.2-0	0.2-0	0.2-0	0.2-0
Coeficiente de Atenuación de los Cables	dB/km	1.55-1.05	0.7-0.425	0.55-0.275	0.7-0.425	0.55-0.275	0.7-0.425	0.55-0.275
Long. entre extremos (sin repetidor)	km	19.3-28.5	42.8-70.5	58.1-116.3	40-65.8	49-98.1	14.2-23.5	36.3-72.7

TABLA 4**Características de los Convertidores Opto-Electrónicos**

Tipo	Long. De Onda (nm)	Material del Semi-conductor	Estructura	Amplificación	Sensibilidad Espectral (A/W)
PIN-PD	500 a 1000	Si	Planar-PIN		0.5 a 0.8
APD	500 a 1000	Si	Planar	x 10 a x 100	0.5 a 0.8
PIN-PD	1000 a 1500	Ge	Mesa/planar		0.5 a 0.8
APD	1000 a 1500	Ge	Mesa/planar	x 10	0.5 a 0.8
PIN-PD	1000 a 1600	InGaAs/InP	Mesa/planar		0.5 a 0.8
APD	1000 a 1600	InGaAs/InP	Mesa/planar	x 10 a x 50	0.5 a 0.8

FIGURA 1

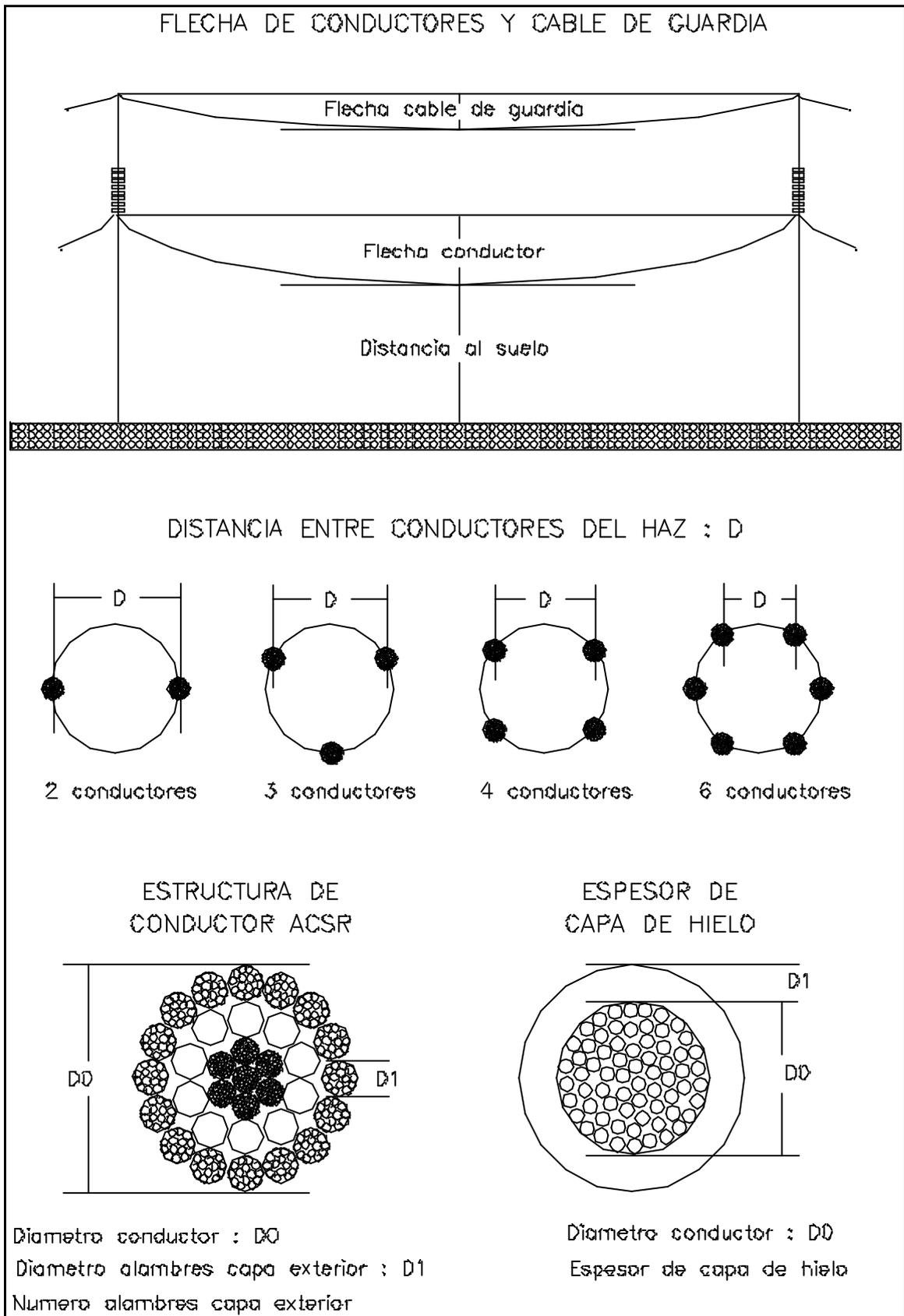


FIGURA 4
Configuración Redundante

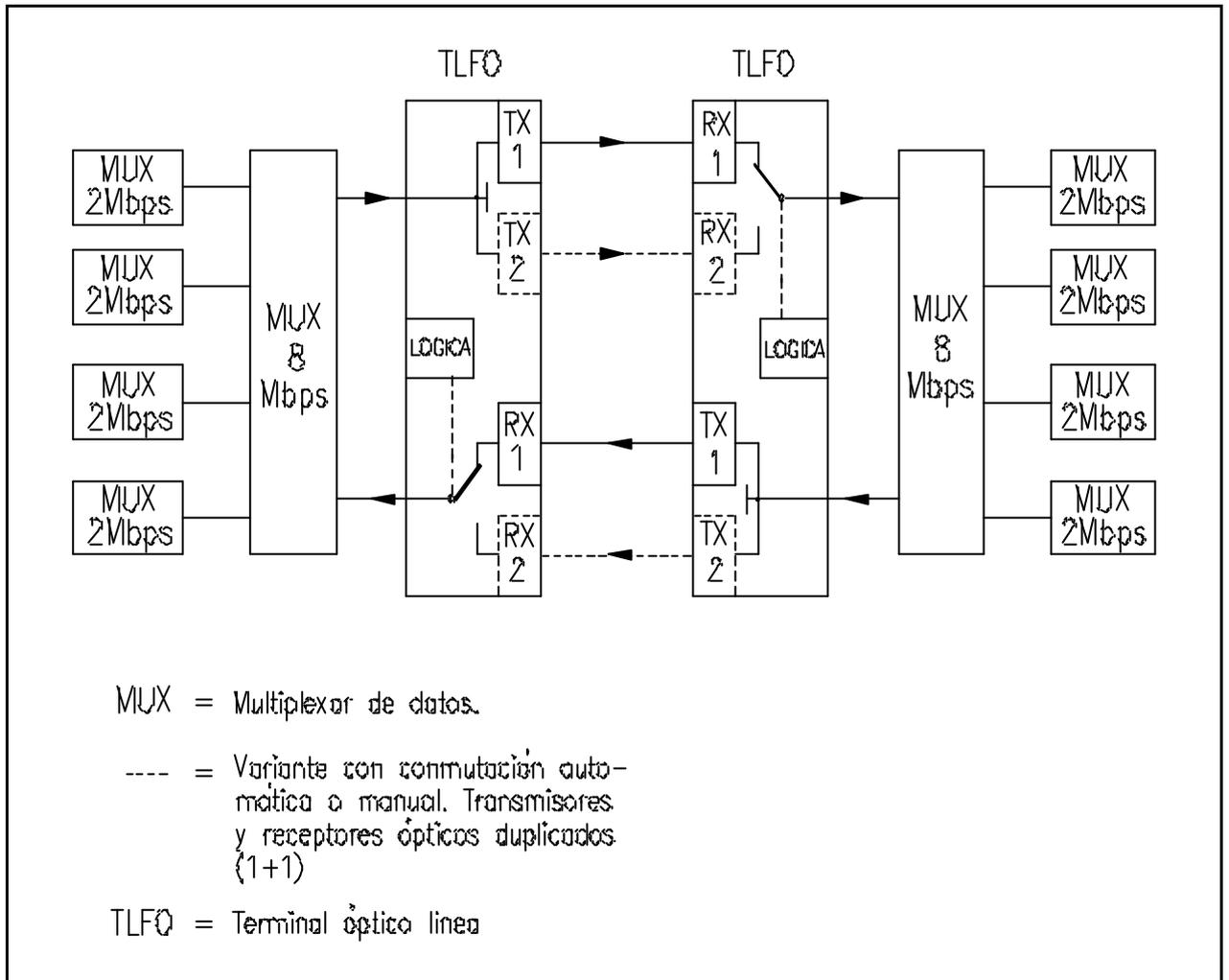


FIGURA 5

Enlace Optico Doble Vía

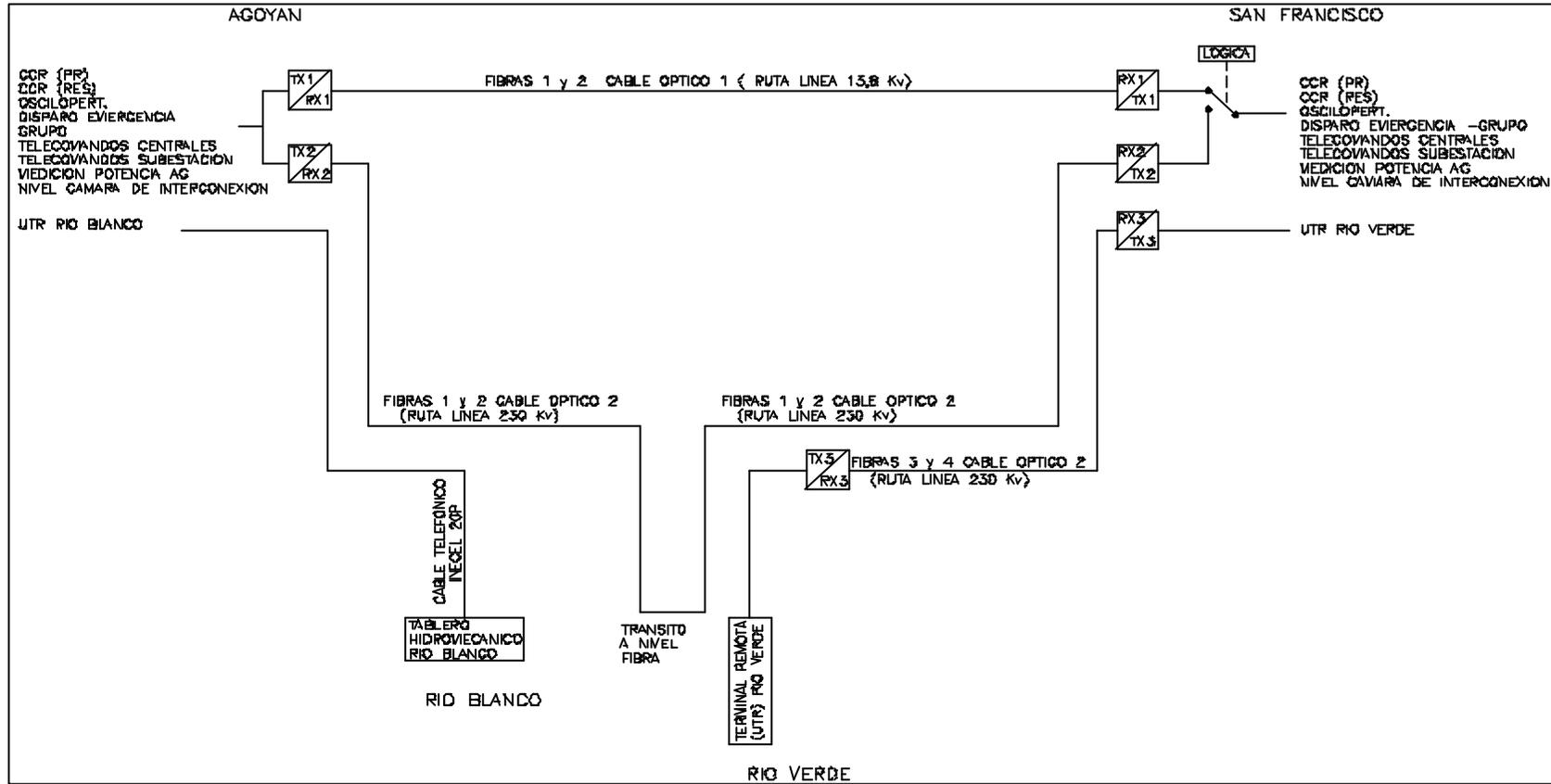


FIGURA 6A

Atenuación por Efecto de la Fuerza de Tracción

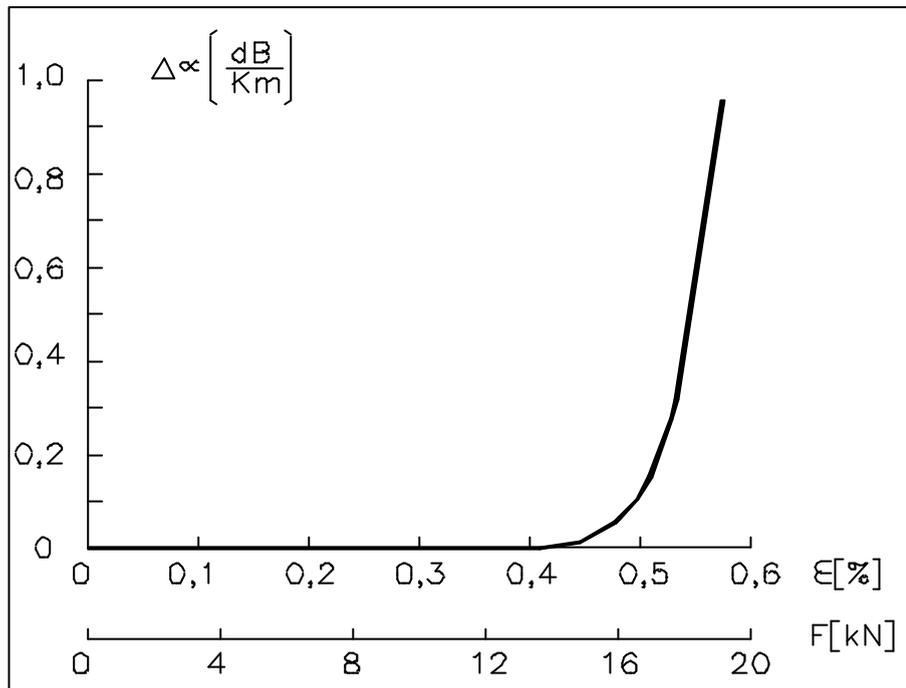


FIGURA 6B

Atenuación por efecto de la Temperatura

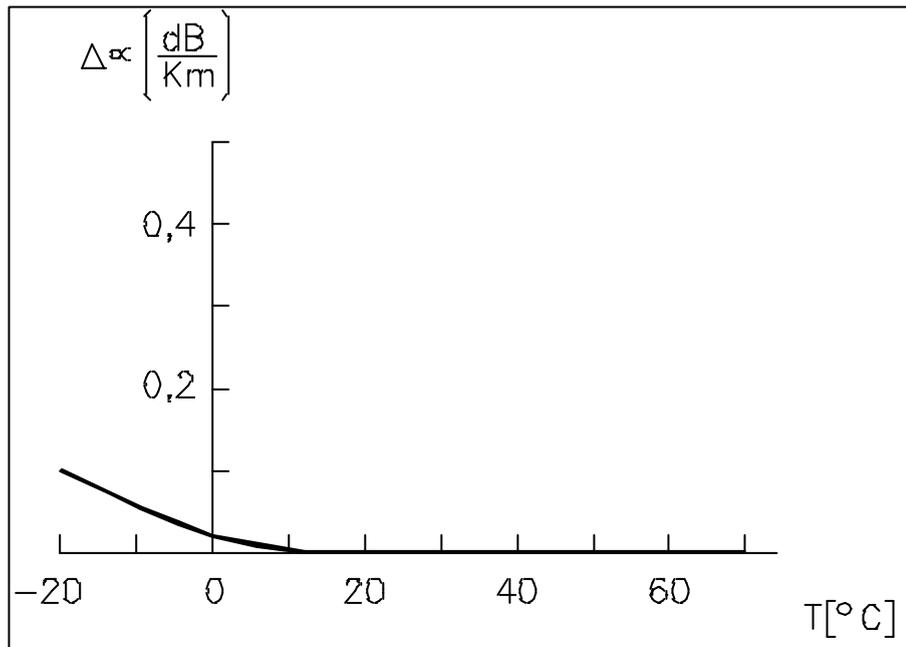


FIGURA 7A
Campo Eléctrico sobre Cable Óptico

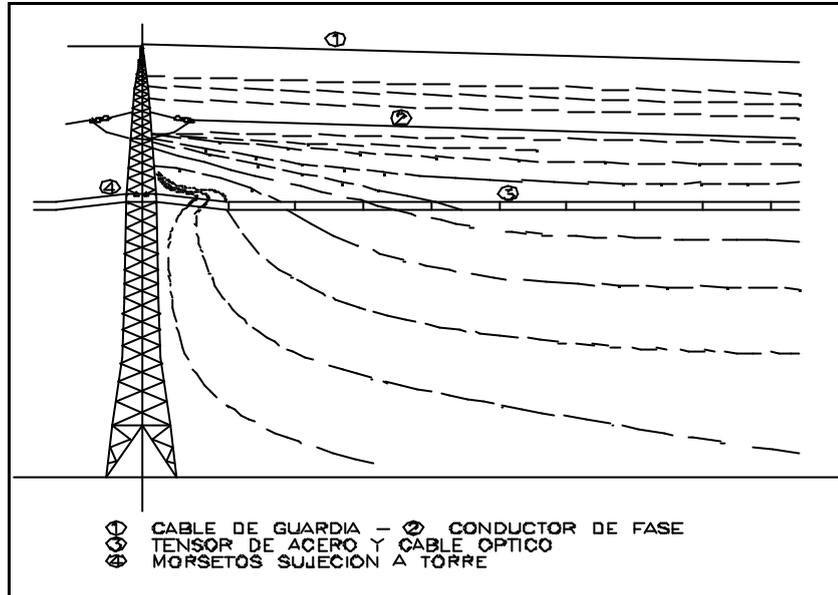


FIGURA 7B

Mediciones de Campo Eléctrico sobre Cable Óptico Dieléctrico, en LAT de 380kV (Jurden, Haag, etc.)

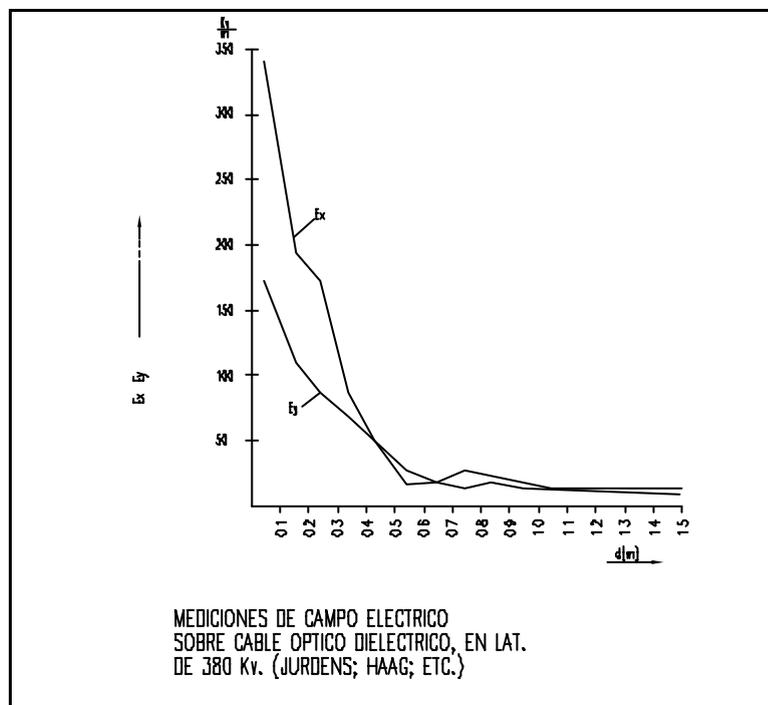


FIGURA 8

Características de Distintos Tipos de FO

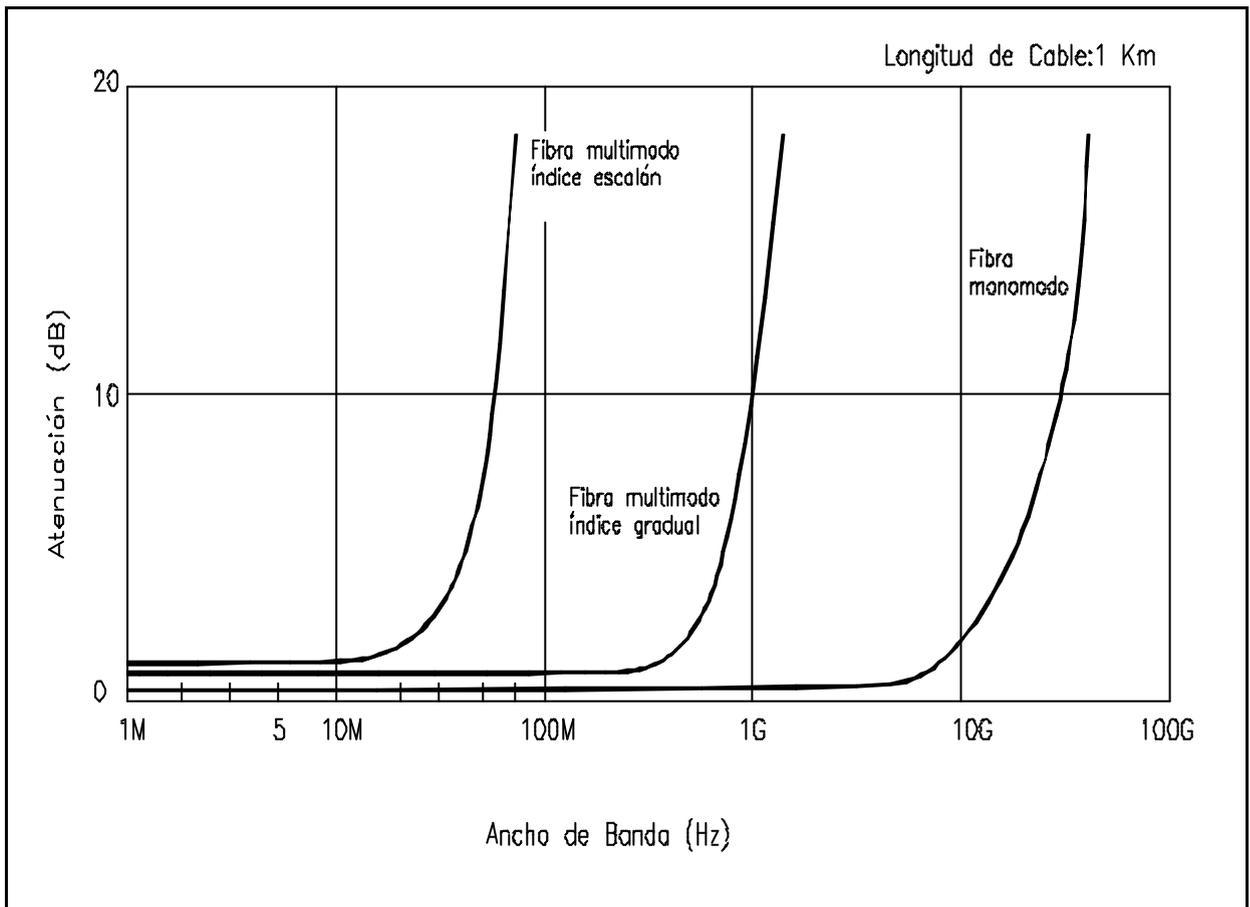


FIGURA 9A**Características de Emisor Optico**

Fuente	Fibra Multimodo				Fibra Monomodo		
	LED		LASER		LED	LASER	
	1era	2da	1era	2da	1era	2da	3RA
Ventana							
Máxima Potencia Acoplada (dBm)	-10	-10	3	3	-24	0	0
Ancho Espectral (nm)	60	100	3	5	100	5	0.1

FIGURA 9B**Características de Receptor Optico**

Dispositivo	Si	Ge	InGaAs	
Long. de onda (nm)	600:900	1100:1500	1200:1600	
Ventana	1era	2da	2da	3ra
Sensibilidad típica del receptor (dBm) (para un BER=10E-09 a velocidad de 34 Mbps)	-51	-45	-45	

FIGURA 10A
Emisores Opticos

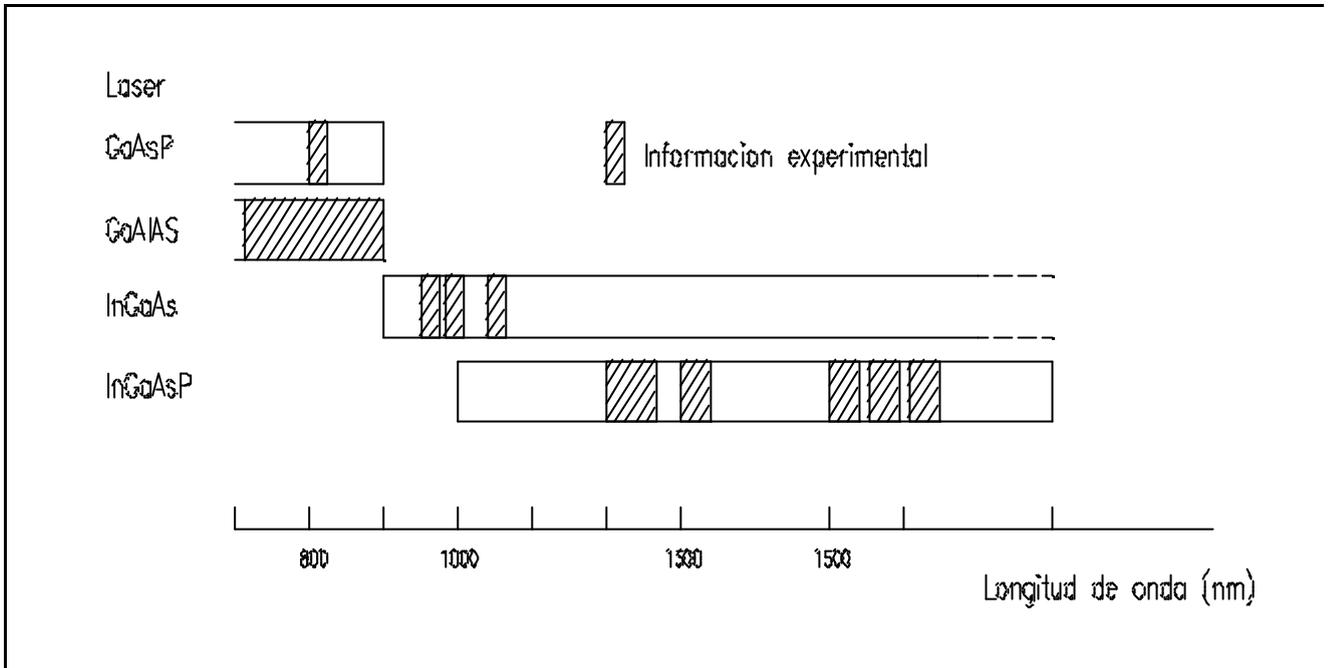


FIGURA 10B
Convertidores Opto-Electrónicos

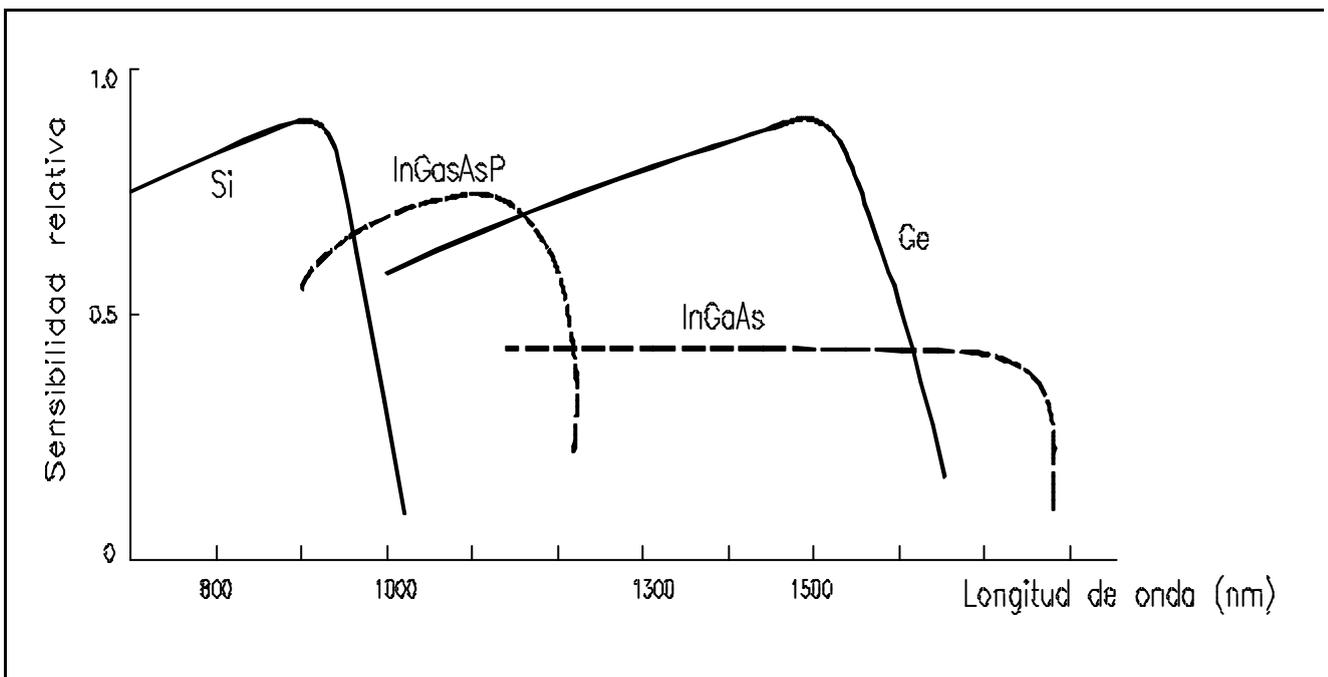


FIGURA 11

Respuesta Espectral de Fotodetectores

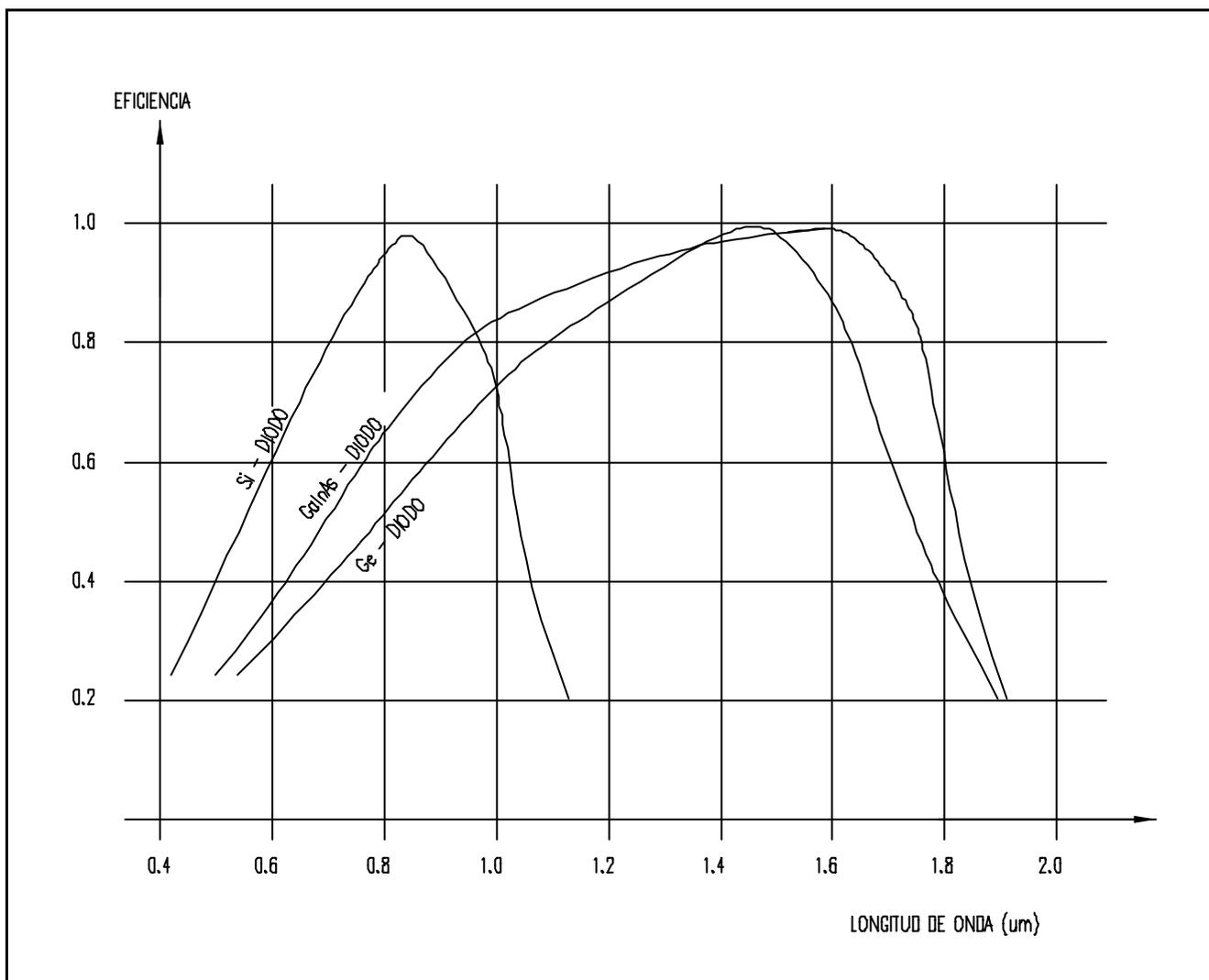


FIGURA 12A

Potencia Optica Media Recibida

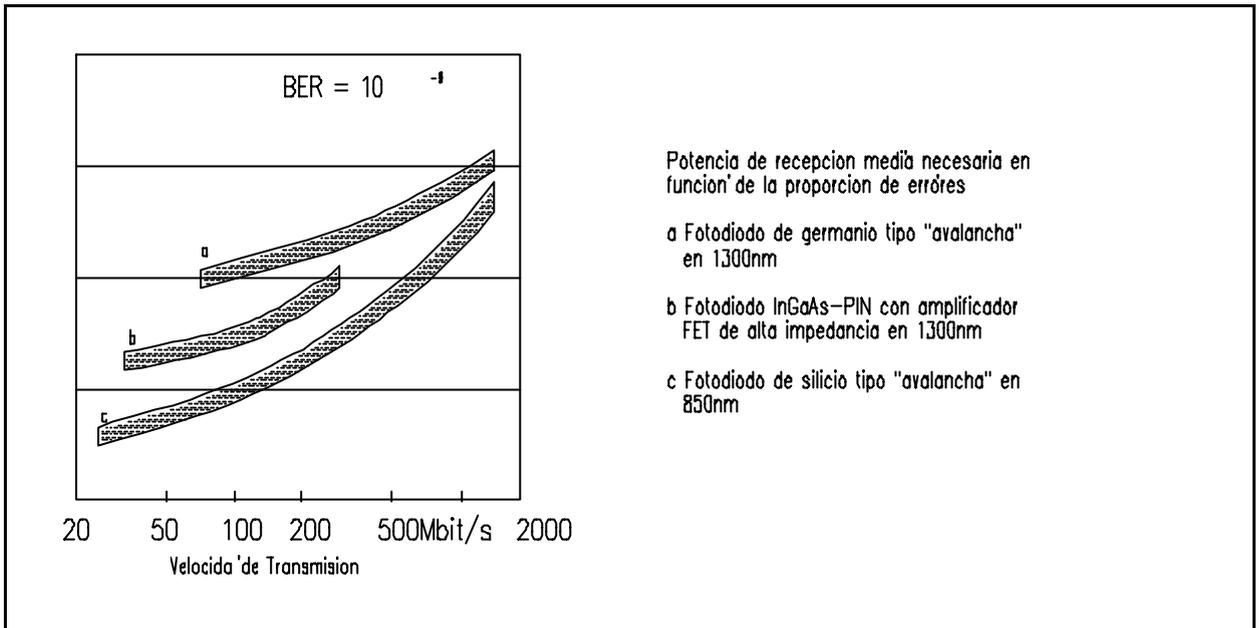


FIGURA 12B

Potencia Optica Media Recibida

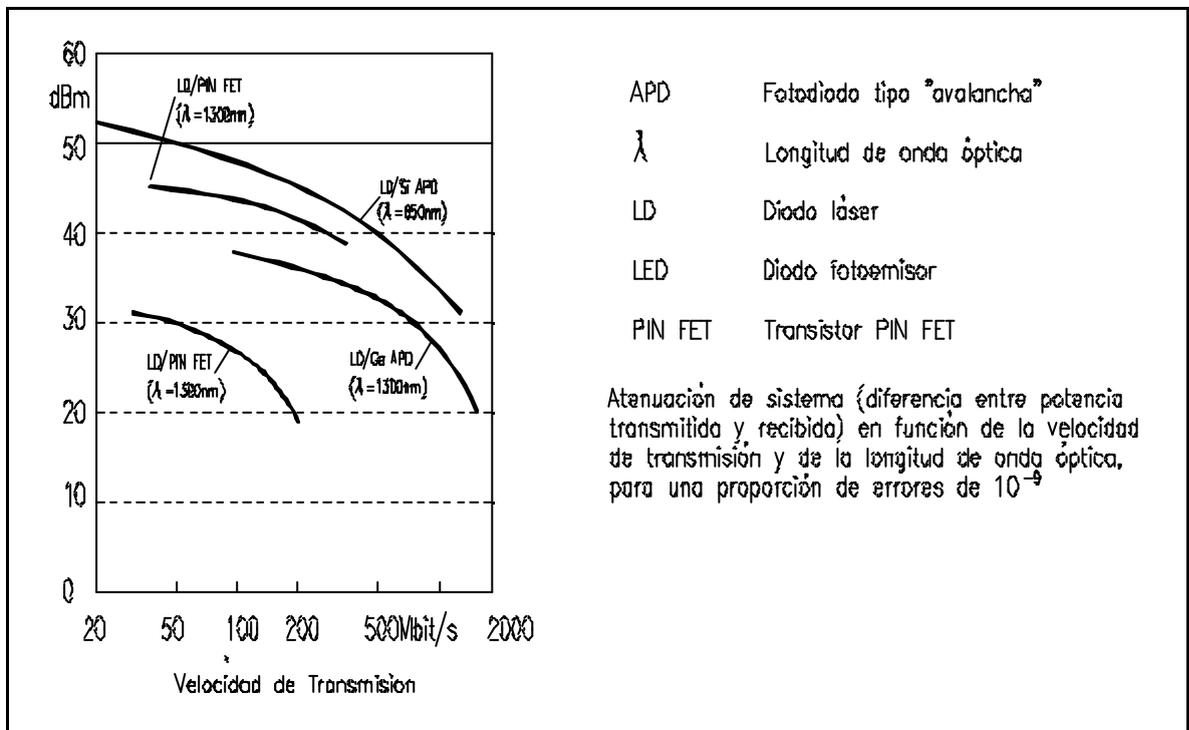


FIGURA 13

BER vs. Nivel de Señal en Recepción

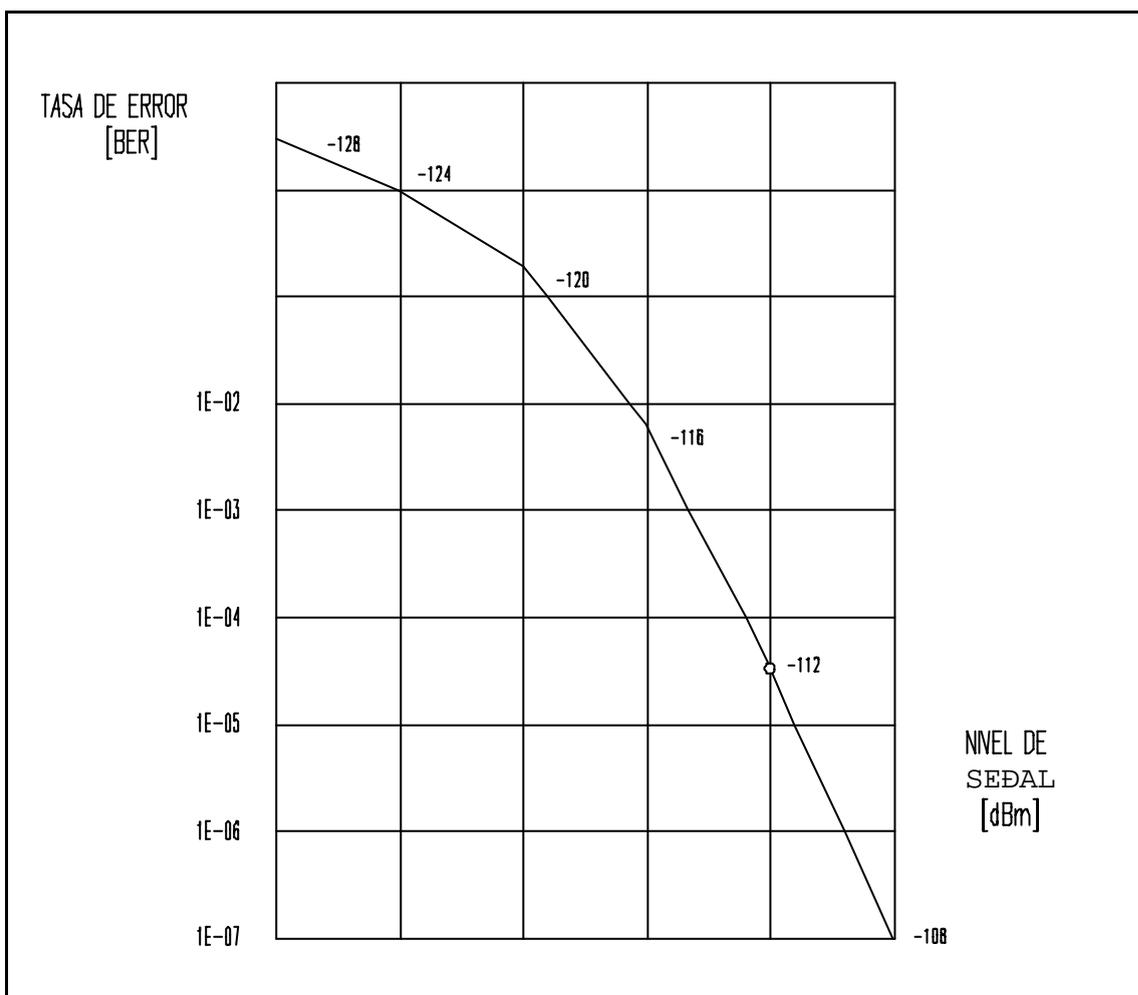


FIGURA 14

Sistema en Anillo Red SDH

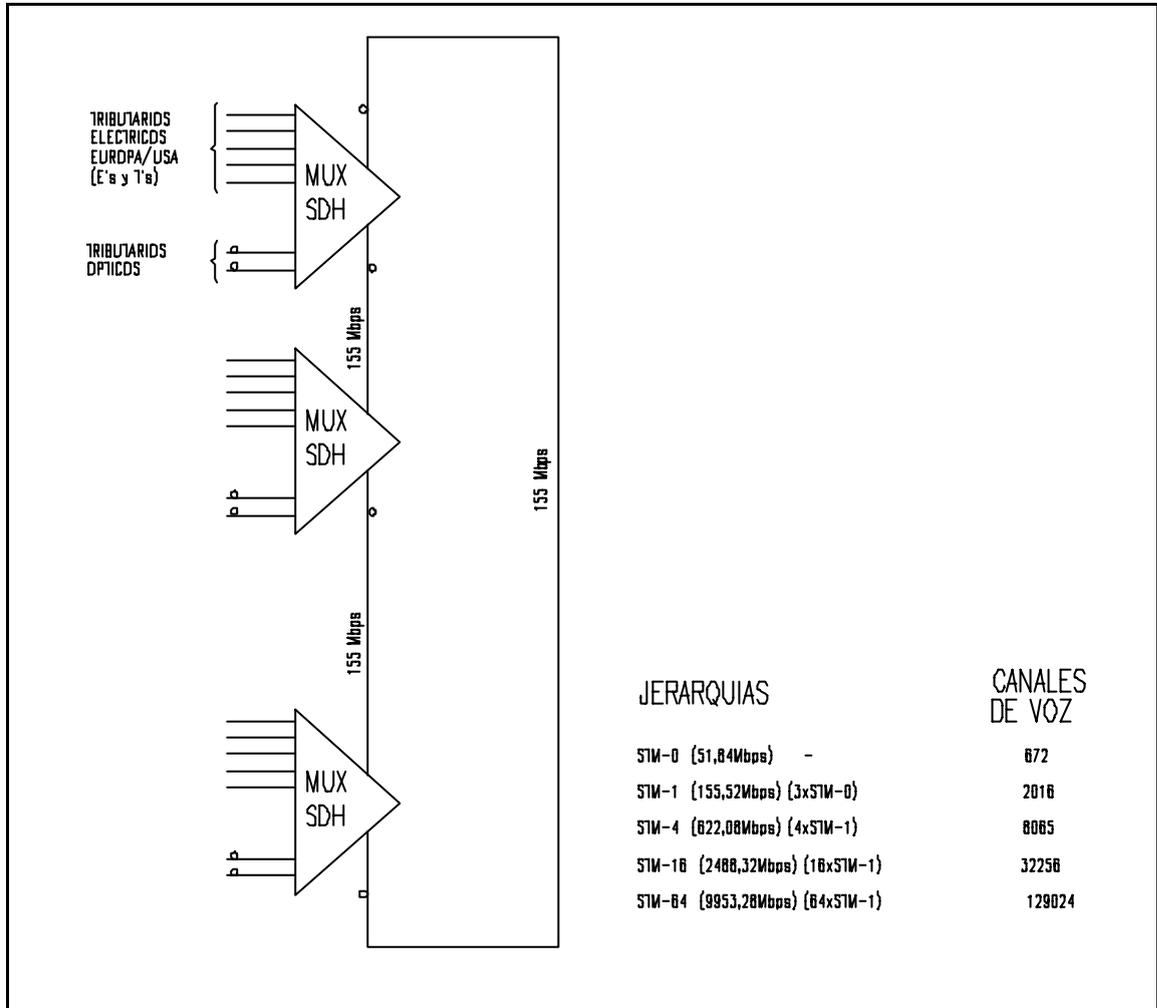
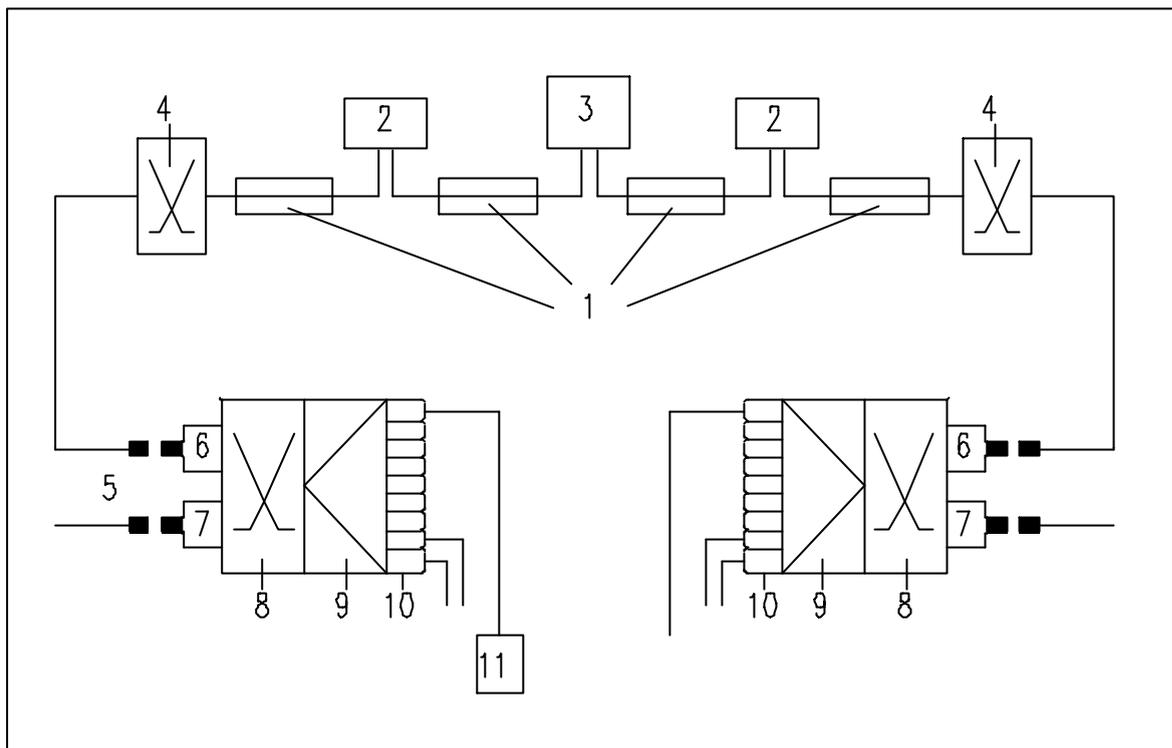


FIGURA 15

Sistema de Transmisión Digital por FO



Referencias:

- | | |
|---|------------------------------|
| 1: CABLE OPTICO | 6: TERMINAL DE LINEA OPTICO |
| 2: EMPALMES | 7: N/C |
| 3: REPETIDOR (en caso de ser necesario) | 8: CONMUTADOR |
| 4: DISTRIBUIDOR DE FIBRAS | 9: MUX/DEMUX |
| 5: CONECTORES OPTICOS | 10: INTERFACE |
| | 11: INFORMACION A TRANSMITIR |

FIGURA 17

Instalación Cable Optico Subterraneo

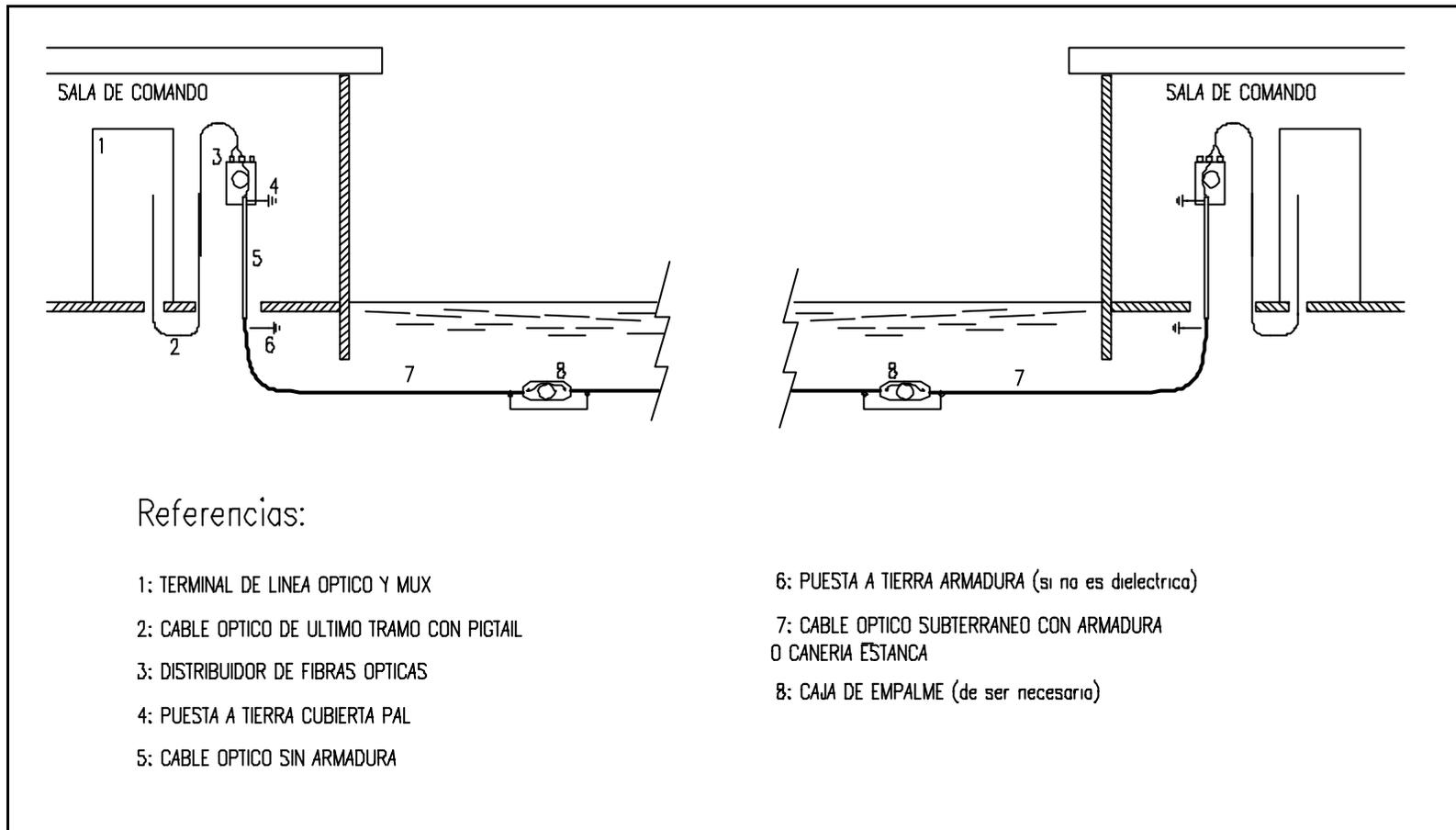


FIGURA 18

Instalación Cable Optico Aereo

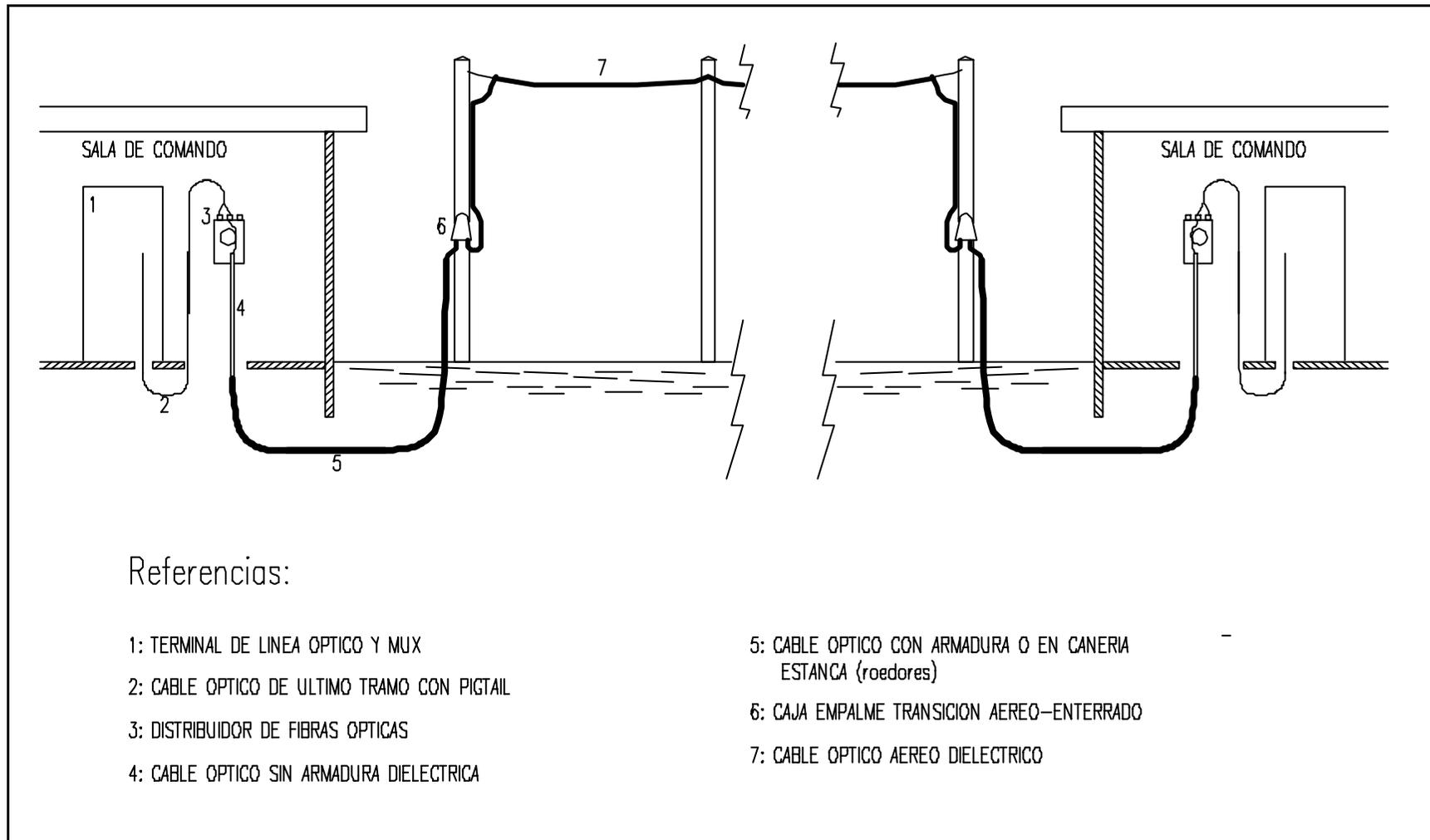
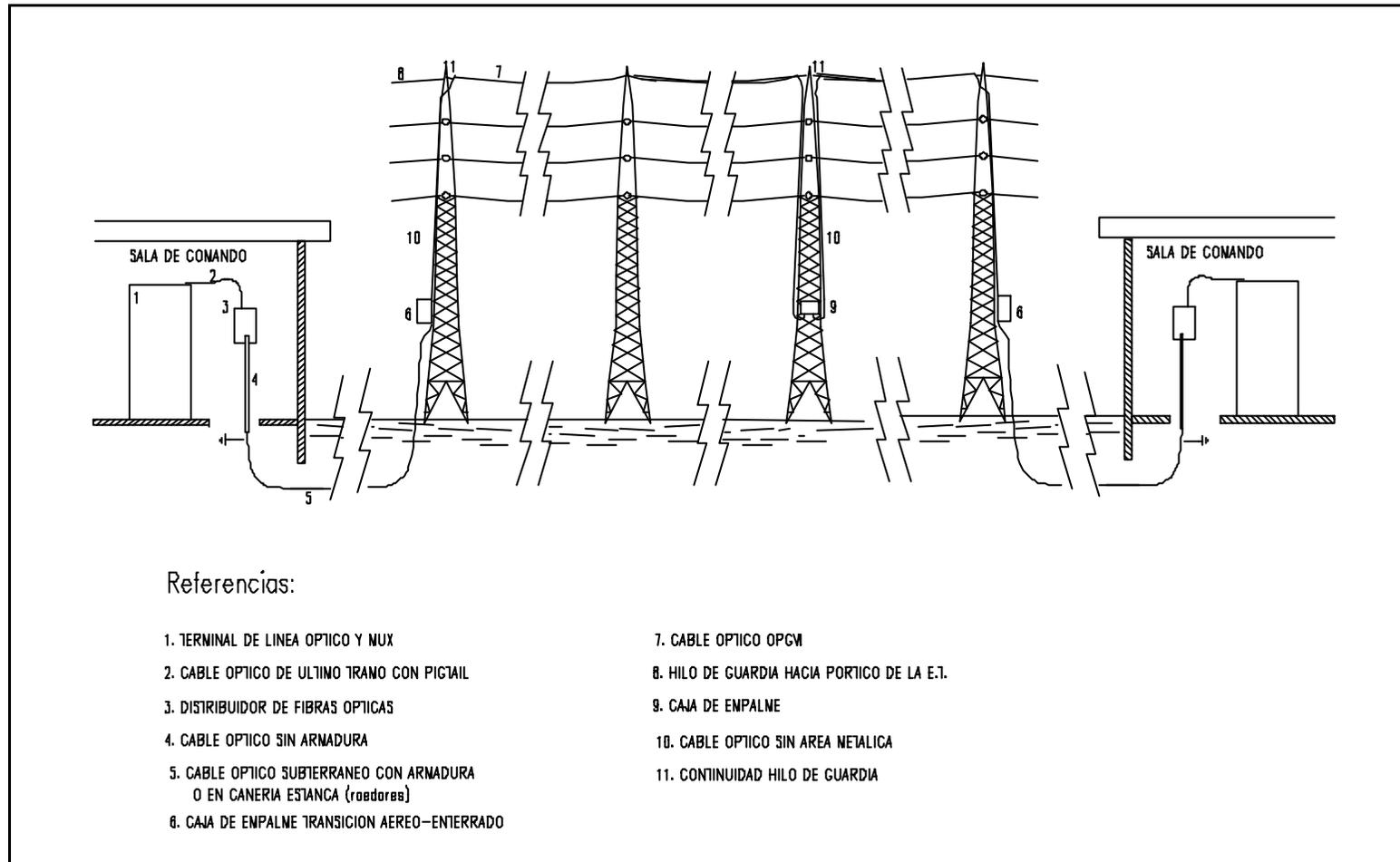


FIGURA 19
Instalación Cable Optico OPGW



Excitación Sísmica y Espectro de Respuesta a Excitación Determinada (TRS)

