

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Facultad de Ciencias e Ingeniería



**“DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES
ENTRE LA CENTRAL TÉRMICA DE CHILCA Y LA
SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE SAN JUAN”.**

Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico.

Presentado por:
Eduardo Horna von Ehren

Lima – PERÚ
2006

RESUMEN

El presente documento es el resultado de la investigación realizada en la Subestación Eléctrica de San Juan y la Central Térmica de Chilca para el diseño de un enlace de comunicaciones privado entre ellas, que permita transmitir la información del sistema de teleprotección, del sistema SCADA y del sistema de telefonía privada.

Dada la necesidad de interconectar las instalaciones eléctricas en cuestión, para gestionar de manera óptima el servicio de energía, automatizando y controlando a distancia dichas instalaciones eléctricas, se requiere de un enlace de comunicaciones de alta confiabilidad y económicamente factible.

El contenido de esta investigación abarca la problemática de las instalaciones eléctricas, los problemas en la red eléctrica, las tecnologías empleadas en enlaces de comunicaciones privados; así como la elección y el diseño del enlace por fibra óptica entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca como solución a la problemática existente.

Se concluye que el diseño del enlace de comunicaciones por fibra óptica es altamente confiable, se proyecta a necesidades futuras que se presenten y tanto el costo de instalación, montaje e ingeniería, así como el costo de mantenimiento, son económicamente factibles.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1: PROBLEMÁTICA DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y PROBLEMAS EXISTENTES EN LA RED ELÉCTRICA.

1.1. Problemática de las instalaciones eléctricas.	1
1.1.1. Sistema SCADA.	1
1.1.2. Sistema de Teleprotección.	4
1.1.3. Sistema de telefonía privada.	5
1.2. COES-SINAC.	7
1.3. Normas de comunicaciones.	8
1.3.1. Organismos Internacionales.	9
1.3.1.1. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).	9
1.3.1.2. Asociación de Industrias electrónicas (EIA).	10
1.3.1.3. Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (TIA).	10
1.4. Problemas en la red eléctrica.	11
1.4.1. Sobretensiones impulso.	11
1.4.2. Ruido electromagnético.	13

CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN ENLACES DE COMUNICACIONES PRIVADOS ENTRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y/O CENTRALES.

2.1. Tecnologías de transmisión.	15
2.1.1. Onda portadora.	15

2.1.2. Tecnología Microondas.	17
2.1.3. Tecnología de fibra óptica.	19
2.1.3.1. Tipos de fibra óptica.	21
2.1.3.2. Cables de fibra óptica para líneas de transmisión de alta tensión.	23
2.1.3.3. Equipos de comunicación para subestaciones y/o centrales.	25
2.1.4. Ventajas y desventajas de las tecnologías mostradas.	28
2.2. Multiplexación de canales para la transmisión de diferentes señales.	29
2.2.1. Multiplexación por división de frecuencia (FDM).	29
2.2.2. Multiplexación por división de tiempo (TDM).	29
2.2.3. Multiplexación estadística o asíncrona (ATDM).	30
2.2.4. Multiplexación por división de código (CDM).	31
2.2.5. Multiplexación por división de longitud de onda (WDM).	31
2.3. Señalización para telefonía.	31
2.4. Modelo teórico.	34

CAPITULO 3: ENLACE DE FIBRA ÓPTICA ENTRE LA S.E. SAN JUAN Y LA C.T. CHILCA COMO SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA EXISTENTE.

3.1. Hipótesis de la Investigación.	36
3.1.1. Hipótesis principal.	36
3.1.2. Hipótesis secundarias.	36
3.2. Objetivos de la Investigación.	37
3.2.1. Objetivo General.	37
3.2.2. Objetivos Específicos.	37

3.3. Universo y Muestra.	38
3.4. Planteamiento del enlace.	38
3.5. Factibilidad del enlace.	39

CAPITULO 4: DISEÑO DEL ENLACE PRIVADO CON TECNOLOGÍA DE FIBRA ÓPTICA PARA TRANSMITIR SCADA, TELEPROTECCIÓN Y TELEFONÍA ENTRE LA S.E. SAN JUAN Y LA C.T. CHILCA.

4.1. Requerimientos.	40
4.2. Consideraciones preliminares.	41
4.3. Diseño.	42
4.3.1. Equipo de transmisión por fibra óptica FOX 20.	43
4.3.1.1. Multiplexor / Demultiplexor y Convertidor de Código (N4AR).	46
4.3.1.2. Unidades de emisión/recepción óptica.	48
4.3.1.3. Unidad de alarma y oscilador (N4AS).	49
4.3.1.4. Tarjetas de interfaz.	51
4.3.2. Cableado del enlace de comunicaciones.	55
4.3.2.1. Cableado en la línea de alta tensión.	55
4.3.2.2. Cableado de acometida.	62
4.3.2.3. Cableado interior.	64
4.4. Cálculos y pruebas del enlace por fibra óptica.	67
4.4.1. Cálculos del enlace por fibra óptica.	67
4.4.2. Pruebas del enlace de fibra óptica.	69
4.5. Costos.	70
4.5.1. Costos de equipos y materiales.	70

4.5.2. Costos de ingeniería y montaje.	72
4.5.3. Costo total.	73
4.5.4. Costo de mantenimiento.	73
4.6. Cronograma de actividades.	74

CONCLUSIONES

FUENTES

GLOSARIO



INTRODUCCIÓN

Los rápidos cambios en la industria eléctrica impulsados por los competitivos niveles de productividad, eficiencia y de calidad de servicio que exige el mercado en la actualidad, requieren de una constante innovación a la hora de resolver la automatización de una subestación eléctrica y/o central, lo cual puede significar difíciles desafíos.

Por estos motivos, las subestaciones eléctricas y/o centrales necesitan contar con un enlace de comunicaciones entre ellas, de alta confiabilidad, capaz de transmitir y proporcionar señales de los sistemas de teleprotección, de SCADA y de telefonía privada.

CAPÍTULO 1

PROBLEMÁTICA DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y

PROBLEMAS EXISTENTES EN LA RED ELÉCTRICA.

1.1. Problemática de las instalaciones eléctricas.

Existe la gran necesidad de interconectar la red eléctrica e instalaciones eléctricas, transmitiendo señales de los sistemas de control y comunicaciones de las instalaciones eléctricas.

Solo teniendo una automatización y control a distancia entre instalaciones eléctricas, se puede alcanzar una gestión óptima del servicio de energía.

Los sistemas de control y comunicaciones que utilizan dichas instalaciones eléctricas (subestaciones eléctricas, centrales térmicas, etc.) son: sistemas SCADA, sistemas de teleprotección y sistemas de telefonía privada.

1.1.1. Sistema SCADA.

SCADA es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar a distancia una instalación de cualquier tipo. A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido, el lazo de control es generalmente cerrado por

el operador. Los Sistemas de Control Distribuido se caracterizan por realizar las acciones de control en forma automática. Sin embargo hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador.

Los sistemas de Telecontrol y Supervisión SCADA en las empresas suministradoras de energía (subestaciones, centrales) permiten conocer en tiempo real el estado de una instalación (subestaciones, líneas de transporte y distribución, centrales de generación, etc.), centralizando toda la información de los diversos emplazamientos remotos en uno o varios puestos de control. Además de gestionar alarmas y de capturar datos, los sistemas SCADA permiten generar planes de mantenimiento y procedimientos de actuación para el personal de guardia.

El sistema es automatizado y consta de uno o más equipos de adquisición de datos, los que pueden ser unidades remotas (UTR) o PLC. Estos equipos leen las variables de interés del proceso y generan acciones predeterminadas sobre equipos de proceso. La información relevante es transmitida por medio de un par físico, enlaces de radio, fibra óptica, canalizadores de microondas, u otro medio, a un sistema central. El sistema central está compuesto por uno más computadores más una red de área local, en los cuales se instala un software

de aplicación SCADA. Este sistema es el encargado de administrar la información y apoyar al operador en el control del proceso.

Características Principales:

- Supervisión en tiempo real.
- Adquisición de información local o remota.
- Centralización de la información.
- Facilidad de operación y de control.
- Flexibilidad para adaptarse a cambios físicos en el proceso.
- Facilidad de manejo de información histórica.
- Manufactura flexible.
- Integración con sistemas corporativos.
- Sistema abierto.
- Manejo de procesos batch.

Beneficios:

- Reducción de los costos de producción y operación.
- Aumento de producción.
- Diversificación de la producción.
- Reducción de los costos de mantenimiento.
- Mejoramiento de la coordinación con el área de mantenimiento.
- Se dispone de información precisa para efectos de estudio, análisis y estadística.

1.1.2. Sistema de Teleprotección.

A medida que aumenta la complejidad de las redes de abastecimiento eléctrico, crecen los requerimientos exigidos a los equipos encargados de evitar daños en los diversos elementos del sistema y preservar su estabilidad.

Para evitar daños en dispositivos clave de la red, las teleprotecciones consiguen desconectar la parte afectada mediante la transmisión de señales en el menor tiempo posible.

Las protecciones de línea deben ser aptas para todo tipo de fallas, discriminando con claridad las condiciones de falla y las de carga para diversas configuraciones operativas del sistema de transporte. Entre sus funciones están:

- Garantizar el disparo rápido ante fallas en cualquier punto de la línea. Para ello contarán con un enlace de teleprotección entre ambos extremos.
- Diferenciar claramente las fallas reales, de aquellas aparentes que ocurren en las fases sanas como producto de una elevada corriente de cortocircuito en la fase en falla.
- Brindar respaldo remoto ante fallas ubicadas en la barra de la estación opuesta, o más allá de ella.

- Garantizar la protección completa de la línea en ausencia de teleprotección, aunque ello implique un mayor tiempo de disparo o de una ligera pérdida de selectividad.

Existen sistemas de protecciones de tecnología estática instalados desde hace más de veinte años, con relés que incluyen circuitos de técnica analógica, donde las entradas de medición del relé, tales como corriente, tensión, ángulo de fase y potencia son cantidades analógicas. Estas cantidades analógicas son usualmente comparadas individualmente o en forma combinada con un nivel de referencia “setting” y con una decisión digital (si/no) que es dada como resultado de esa medición.

Las instalaciones más modernas incluyen relés de protecciones con tecnología digital, donde las entradas de medición analógicas se convierten a señales digitales de cierto nivel y las salidas de decisión son también digitales. Las entradas de medición digitalizadas son procesadas por lógicas discretas o por microprocesadores.

En la actualidad, las protecciones se integran en terminales de protección de control numérico basadas en tecnología de microprocesadores, donde las decisiones de actuación son dadas por software de cálculo en tiempo real, incluyendo algoritmos de medición de alta velocidad de operación.

1.1.3. Sistema de telefonía privada.

Un sistema de telefonía privada entre subestaciones eléctricas y/o centrales está formado básicamente por un conmutador o central telefónica privada en cada subestación. Este conmutador o central puede ser una PAX, PABX o una CBX.

Una PABX o PBX se encarga de establecer conexiones entre terminales de una misma subestación eléctrica o de hacer que se cursen llamadas al exterior. Hace que las extensiones tengan acceso desde el exterior, desde el interior, y ellas a su vez tengan acceso también a otras extensiones y a una línea externa.

El CPU, tiene la función de establecer las conexiones, de controlar mediante un programa las direcciones que deben tomar una llamada, de determinar la mejor ruta para la conexión, de realizar la facturación, entre otras. Esas funciones son muy sencillas con métodos computarizados, siendo algunas:

- Transferencia de llamadas.
- Sistema para conocer el estado de las extensiones.
- Sistema de espera.
- Conferencias.
- Mantener un archivo con información sobre las comunicaciones.
- Sistema de contraseñas.
- Desviar llamadas a petición de los usuarios.

En una PBX habrá como mínimo una línea externa, para que los usuarios puedan comunicarse con el exterior. Y también habrá como mínimo una línea desde el exterior, para que el exterior pueda comunicarse con los usuarios.

Las PBX modernas o CBX combinan un ordenador, un sistema de almacenamiento masivo de datos y un sistema de conmutación de líneas.

Siendo algunas de las funciones:

- Producir un archivo de facturas detalladas para identificar y manejar las llamadas.
- Combinar los circuitos para comunicaciones de voz y comunicaciones rápidas de datos.
- Manejar correo electrónico.

La capacidad de comunicaciones de una PBX debe ser cuidadosamente estudiada, porque ha de soportar las comunicaciones entre extensiones. Un factor crítico es el número de troncos y enlaces del sistema.

Cabe destacar que en las subestaciones eléctricas y/o centrales también son muy utilizadas las centrales PAX.

Las PAX, que realizan las mismas funciones que las PBX, se diferencian porque establecen circuitos de conexión sólo a nivel de red local privada y no conexión con la red telefónica pública conmutada.

1.2. COES-SINAC.

El Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES-SINAC) es un organismo técnico, conformado por los titulares de las centrales de generación de electricidad y de sistemas de transmisión cuyas instalaciones se encuentran interconectadas en el Sistema Nacional, con la finalidad de coordinar su operación al mínimo costo, garantizando la seguridad y calidad del abastecimiento de energía eléctrica y el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos.

1.3. Normas de comunicaciones.

Los enlaces de comunicaciones entre subestaciones eléctricas y/o centrales deben cumplir los requerimientos estipulados en las normas:

- **ITU-R:** Para sistemas de transmisión de radio digital.
- **ITU-T:** Para sistemas de telecomunicaciones en general.
- **EIA/TIA:** Aplicables a sistemas de microondas y de manera particular en cuanto hace referencia a:
 - Planes de frecuencia.
 - Cálculos de enlace (Link Budget).
 - Interferencia digital.
 - Cálculos de disponibilidad.
 - Rendimiento (performance).
 - Sistema de Gestión.

En cuanto se hace referencia a compatibilidad de interferencia y compatibilidad electromagnética, los sistemas de telecomunicaciones para subestaciones eléctricas y/o centrales deben cumplir con las normas:

- **EN55022:** Compatibilidad de Interferencia.
- **EN50082:** Compatibilidad electromagnética.

1.3.1. Organismos Internacionales.

1.3.1.1. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

La UIT, con sede en Ginebra (Suiza), es una organización internacional del sistema de las Naciones Unidas, en la cual los gobiernos y el sector privado coordinan los servicios y redes mundiales de telecomunicaciones.

Internamente, la UIT está organizada por "sectores", que son áreas administrativas coordinadas desde una oficina, la cual no tiene posición de jerarquía respecto de los diferentes comités, grupos y demás que conforman el sector, sino que únicamente colabora con ellos para la operación armónica en interés de la comunidad internacional y de la UIT.

- **ITU-R:** [Sector de Radiocomunicaciones](#), coordinado por la [Oficina de Radiocomunicaciones o BR](#). En este sector deben destacarse las [conferencias de radiocomunicaciones](#) y uno de los productos estrellas

de la UIT para las administraciones nacionales: [el reglamento de radiocomunicaciones](#) el cual es aprobado por la [Junta del Reglamento de Radiocomunicaciones \(RRB\)](#).

- **ITU-T:** [Sector de Normalización](#), coordinado por la [Oficina de Estandarización de Telecomunicaciones o TSB](#).

1.3.1.2. [Asociación de Industrias electrónicas \(EIA\)](#).

Una asociación de comercio que representa la comunidad de alta tecnología americana. Empezó en 1924 como la Asociación de Fabricantes de Radio. El EIA patrocina varias actividades en nombre de sus miembros, incluso las conferencias y muestras de comercio. Además, ha sido responsable para desarrollar algunas normas importantes, como los RS-232, RS-422 y RS-423, normas para los dispositivos de conexión serial.

1.3.1.3. [Asociación de la Industria de Telecomunicaciones \(TIA\)](#).

TIA es una organización de intercambio de servicios con una membresía de más de 1000 compañías grandes y pequeñas que proveen comunicaciones, productos para información tecnológica, materiales, sistemas, servicios de distribución y servicios profesionales alrededor del mundo. TIA está acreditada por el Instituto Americano de Normas Nacionales (ANSI, por sus siglas en inglés) para desarrollar las normas requeridas por la industria y trabajar en cooperación con CITEL (como miembro asociado de CCP I y CCP III), la UIT y otros organismos. TIA representa la Industria de las Telecomunicaciones con

su subsidiaria, la Asociación de Telecomunicaciones de Multimedia en asociación con la Alianza de Industrias Electrónicas.

1.4. Problemas en la red eléctrica.

1.4.1. Sobretensiones impulso.

En las subestaciones eléctricas y/o centrales, por distintas causas se presentan sobretensiones que pueden producir colapsos de la aislación y en consecuencia daños y/o pérdida del servicio tanto del sistema eléctrico como del sistema de comunicaciones.

Las maniobras de interrupción, son origen de sobretensiones, de mayor o menor importancia según sea la forma de interrumpir del “aparato de conexión” (interruptor) y las características del circuito.

Estos interruptores tienen una posición de cerrados en la cual se asegura la continuidad del circuito principal, y una posición de abiertos en la cual se asegura mediante una distancia predeterminada la aislación entre contactos del circuito principal.

El pasar los contactos móviles de una posición a otra se denomina operación o maniobra, y se la distingue, cuando es necesario, en maniobra eléctrica (establecimiento o interrupción de corriente) y maniobra mecánica (cierre o apertura).

Otras causas frecuentes de sobretensiones en subestaciones eléctricas y/o centrales pueden ser:

- Los cables de guardia o los conductores de fase pueden ser afectados por descargas atmosféricas, en algunos casos la descarga incide en los cables de guardia y se propaga (arco inverso) a los conductores.
- Pueden producirse contactos entre una parte del sistema de tensión inferior, con un sistema de tensión más elevada, y en consecuencia se presentarán peligrosas sobretensiones en el sistema de tensión inferior.
- Las vibraciones pueden producir condiciones de falla intermitente (cortocircuitos repetidos) y causar sobretensiones de importancia por carga de capacitancias.
- Las conexiones en autotransformador en casos de falla del circuito, del lado alimentación, implican sobretensiones del lado carga que pueden ser inadmisibles.
- Capacitancias e inductancias pueden producir condiciones de resonancia y en consecuencia sobrecorrientes y/o sobretensiones, producidos por la presencia de núcleos de hierro (fenómenos de ferresonancia).
- El establecimiento de corriente en ciertos circuitos, el restablecimiento de corriente (durante una interrupción) pueden dar lugar a sobretensiones.
- Las interrupciones bruscas de cargas, crean también sobretensiones en determinados puntos del sistema.

Para evitar que estas sobretensiones impulso afecten el buen funcionamiento de los equipos de comunicaciones y a los equipos en general, se prevé que los equipos a utilizar cuenten con separación galvánica completa entre sus terminales.

1.4.2. Ruido electromagnético.

Al igual que cualquier otro equipo o aparato que funcione con energía eléctrica, las líneas e instalaciones eléctricas de alta tensión generan un campo eléctrico y magnético de frecuencia industrial. Su intensidad dependerá de diversos factores geométricos y de diseño, como la tensión de funcionamiento, potencia transportada, disposición de los elementos, número de conductores, distancia de los cables al suelo, etc.

Así, las líneas eléctricas generan un campo eléctrico cuando los cables conductores son sometidos a una determinada tensión, y un campo magnético cuando fluye por ellos una corriente eléctrica.

En cuanto a las subestaciones eléctricas y/o centrales, en el patio de llaves (es decir la zona donde está toda la paramenta eléctrica) los valores oscilan entre 0,5-13 KV/m. En el borde del parque los valores registrados oscilan entre 0-3,5 KV/m. Así, por lo general, en el exterior de las subestaciones los campos eléctricos y magnéticos más intensos se deben a las líneas de alimentación que entran y salen de la estación. Fuera del recinto de la subestación, los

campos originados por los equipos del interior de la subestación apenas se pueden distinguir de los campos electromagnéticos de fondo.

El enlace de comunicaciones que se instale en subestaciones eléctricas y/o centrales puede verse afectado con el acoplamiento de ruido y errores de transmisión, si es que los equipos de transmisión/recepción, como también el cableado no se protegen con un blindaje adecuado contra las inducciones magnéticas.



CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN ENLACES DE COMUNICACIONES PRIVADOS ENTRE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS Y/O CENTRALES.

2.1. Tecnologías de transmisión.

2.1.1. Onda portadora.

La tecnología de comunicación de onda portadora, utiliza la red eléctrica como medio de comunicación.

Los servicios prestados por la Onda Portadora a las empresas eléctricas han sido significativos, esta técnica ha sido utilizada desde 1920, en 1919 demostró su factibilidad y en 1921 entraba en servicio el primer sistema. Esta primera aplicación fue para transmisión de voz únicamente, y seguidamente se utilizó para la función de teleprotección, la cual es la de mayor uso en la industria eléctrica.

El equipo de Onda Portadora (PLC) y sus aplicaciones han tenido una evolución considerable en los 70 años de su uso. La amplitud modulada (AM) y la portadora llevada fueron utilizadas durante los primeros años.

Posteriormente, la frecuencia modulada (FM) para comunicación de voz y FSK para telemetría y control tomó puesto importante, pero debido a la eficiente utilización del espectro Radioeléctrico, ha quedado hasta nuestros días la Banda Lateral Única (BLS, SSB).

La onda portadora SSB ofrece varios beneficios, importantes considerando las características de una red eléctrica tales como canales de voz de alta calidad, canales para transmisión de datos 2400Bps, repetición a nivel de banda-base para evitar retardo de envolvente, teleprotección a nivel de audio y banda base, multicanalización, interfase directa a equipos de microondas, etc. Todas estas facilidades con una alta conservación y un óptimo aprovechamiento del espectro de frecuencias disponibles de 50 a 500 Khz. La mayoría de las empresas eléctricas están organizadas de acuerdo a una jerarquía de Centros de Acción. La responsabilidad general de la coordinación de la generación y de la transmisión de energía, reside en el depósito de carga de la empresa.

Este sistema de transmisión es capaz de garantizar varios servicios, como telefonía, fax, telecontrol, telegrafía, teleprotección y transmisión de datos.

La transmisión por onda portadora es todavía uno de los sistemas más económicos y más ampliamente usados en el ámbito de las entidades de producción y distribución de energía eléctrica.

2.1.2. Tecnología Microondas.

Básicamente un enlace vía microondas terrestre consiste en tres componentes fundamentales: el transmisor, el receptor y el canal aéreo. El Transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, El canal aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor, siendo este último el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

En general, una estación terrestre de microondas se conforma de:

- **Un radio módem (indoor):** Realiza el envío y recepción de las señales de telemetría desde la unidad outdoor; contiene los circuitos de demultiplexaje para enviar señales de información al equipo terminal del usuario; contiene los circuitos de demodulador de frecuencia intermedia; contiene los circuitos de control y configuración; además contiene los circuitos de alarma y de indicación.
- **Unidad RF (outdoor):** Es la interfase entre la antena y la unidad indoor. Esta diseñada para ser montada en la antena. Esta unidad contiene los módulos y circuitos electrónicos para la recepción y transmisión de las señales microondas.
- **La antena:** Realiza la transmisión y recepción de la señal de radiofrecuencia entre estaciones.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe ser libre de obstáculos. La transmisión es en línea de vista y por lo tanto puede verse afectada por accidentes geográficos, edificios, bosques, etc. que obstruyan dicha visibilidad.

La señal de microondas transmitida es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor. Estas atenuaciones y distorsiones son causadas por pérdidas de potencia, debido a la distancia, a la reflexión y refracción de obstáculos y/o superficies reflectoras, así como a malas condiciones atmosféricas (pérdidas por desvanecimiento).

Una señal útil captada por una estación receptora también se degrada por varias causas. Entre ellas tenemos, el ruido térmico (ruido por componente fija y ruido por desvanecimiento), la distorsión de forma de onda (interferencia entre símbolos y distorsión de propagación), entre otras.

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidoras, las cuales amplifican y redireccionan la señal, regenerar y retemporizar las señales enviadas por el transmisor a nivel de los bits. Es importante destacar que los obstáculos de la señal pueden ser salvados a través de reflectores pasivos.

Otro factor muy importante para que la transmisión de datos sea óptimo en un enlace microondas, es la elección de las antenas. Hay dos configuraciones para la emisión y recepción de esta energía: direccional y omnidireccional. En la direccional, la antena de transmisión emite toda la energía concentrándola en un haz que es emitido en una cierta dirección, por lo que tanto las antenas del emisor y del receptor deben estar perfectamente alineadas. En el método omnidireccional, la antena emite la radiación de la energía dispersadamente (en múltiples direcciones), por lo que varias antenas pueden captarla. Cuanto mayor es la frecuencia de la señal a transmitir, más factible es confinar la energía en un haz direccional (transmisión unidireccional).

Por otro lado, la velocidad del enlace microondas terrestre depende básicamente de la modulación y de la banda de frecuencias utilizadas en la transmisión. Los primeros tipos de modulación digital empleados para una enlace microondas fueron: PSK, QPSK, MPSK. Pero la necesidad de transmisión de datos a velocidades cada vez más altas hizo necesario implementar moduladores más avanzados, como los que emplean modulación en cuadratura QAM, QPM y QAPM.

2.1.3. Tecnología de fibra óptica.

Los enlaces de fibra óptica están compuestos por un transmisor, cuya misión es la de convertir la señal eléctrica en señal óptica susceptible de ser enviada a través de una fibra óptica. En el extremo opuesto de la fibra óptica, se

encuentra el receptor, cuya misión es la de convertir la señal óptica en señal eléctrica nuevamente.

Los transmisores pueden emplear un LED o un diodo láser como elemento de salida, a este elemento se le denomina conversor electro-ópticos (E/O). Mientras que los receptores consisten en un diodo PIN o un APD, que se acopla a la fibra óptica y se le denomina convertidor opto-electrónico (O/E).

El transmisor consiste de una interfase analógica o digital, un conversor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de fuente de luz a fibra. La guía de fibra es un vidrio ultra puro o un cable plástico. El receptor incluye un dispositivo conector detector de fibra a luz, un fotodetector, un conversor de corriente a voltaje un amplificador de voltaje y una interfase analógica o digital. En un transmisor de fibra óptica la fuente de luz se puede modular por una señal análoga o digital.

El tipo de modulación utilizado es el de amplitud, modulando la intensidad de luz generada por el emisor. Las no linealidades de los emisores y receptores al convertir las señales eléctricas a ópticas y viceversa, así como las fuentes de ruido que se sobreponen a la señal en los sistemas típicos de fibra óptica hacen que este sistema sea especialmente apropiado para la transmisión de señales digitales, que corresponde a los estados de encendido-apagado del emisor. No obstante, también es posible transmitir señales analógicas.

Otros tipos de modulación, como modulación en frecuencia y demás sistemas coherentes están en fase de desarrollo, debido a la dificultad de obtener señales luminosas espectralmente puras y que al mismo tiempo puedan ser moduladas en frecuencia.

Los sistemas de comunicación óptica utilizan la parte de la banda infrarroja más cercana al espectro visible. La selección de la longitud de onda se realiza teniendo en cuenta la disponibilidad de dispositivos adecuados (emisores, receptores) y fibras ópticas con bajas pérdidas.

Actualmente, se trabaja en tres bandas de frecuencias y que se conocen con el nombre de ventanas: la 1ª ventana: 850nm, la 2ª ventana 1300nm y la 3ª ventana 1550nm. Generalmente, se utilizan las fibras multimodo en la primera y segunda ventana y la fibra monomodo en la segunda y tercera ventana.

2.1.3.1. Tipos de fibra óptica.

- **Fibra multimodo de salto de índice.**

El guiado de la señal luminosa está causado por la reflexión total en la superficie de separación entre el núcleo y el revestimiento. Señales incidentes con un ángulo cuyo seno sea inferior a la apertura numérica, provocan la aparición de multitud de modos (o dicho de forma más intuitiva, de multitud de rayos y ángulos de reflexión), propagándose por el interior de la fibra. Esta es la razón del término multimodo para describir el tipo de

fibra. Este tipo de fibras son las más utilizadas en enlaces de distancias cortas, hasta 1Km, y su aplicación más importante está en las redes locales.

- **Fibra multimodo de índice gradual.**

En este caso, el cambio de índice de refracción en el interior de la fibra es gradual, lo que provoca una propagación ondulada del rayo de luz. Estas fibras provocan menos modos de propagación que las de salto de índice y son las empleadas hasta 10 Km.

- **Fibras monomodo.**

Es el caso conceptualmente más simple, ya que se trata de una fibra de salto de índice pero de un diámetro del núcleo tan pequeño (inferior a 10 micras) que solo permite la propagación de un modo, el fundamental. Este tipo de fibra el que permite obtener mayores prestaciones y se usa en enlaces de gran distancia. Las dificultades son para inyectar la señal luminosa a la fibra (apertura numérica típica de $0.1 >$ ángulo de incidencia de 120°), mayor sensibilidad a errores mecánicos, malos tratos, empalmes defectuosos, etc. De los tres tipos de fibra óptica, en el caso de enlazar grandes distancias se utiliza la fibra óptica monomodo ya que puede cubrir aproximadamente hasta 100 Km sin hacer uso de regeneradores.

2.1.3.2. Cables de fibra óptica para líneas de transmisión de alta tensión.

Las subestaciones de energía eléctrica están interconectadas por líneas de transmisión de alta tensión. En caso de que las subestaciones estén ubicadas en ambientes donde sean frecuentes tormentas eléctricas, como en la sierra o en la selva del Perú, la línea de transmisión lleva adicionalmente un hilo de guarda en la parte más elevada de la línea, cuya función es proteger a las líneas contra descargas. Esta protección consiste en interceptar las descargas atmosféricas y conducir las a tierra por medio de un conductor conectado a tierra.

En el caso que la línea de transmisión no se encuentre en medio ambientes donde se produzcan descargas atmosféricas, como en la costa del Perú, se obvia el cable de guarda.

Básicamente, existen dos tipos de cables para llevar fibra óptica a través de las líneas de transmisión de alta tensión entre subestaciones eléctricas, estos son:

- **Cable OPGW (Optical Ground Wire).**

Al cable de guarda que protege los sistemas eléctricos de descargas atmosféricas, se le puede añadir el uso de fibra óptica. A este tipo de cable se le denomina OPGW y optimiza las inversiones realizadas, básicamente por:

- su explotación en redes de telecomunicaciones, lo cual genera un valor añadido que supera ampliamente su uso original.
- su función tradicional como cable de tierra.
- su uso para los servicios de teledividida y telecontrol del operador de la red eléctrica.
- **Cable ADSS (All dielectric self supported).**

Cable totalmente dieléctrico, que permite cubrir una amplia gama de vanos gracias a su diseño especial y bajo peso. Con este material pueden cubrirse vanos de hasta 500 metros con el 1% de flecha. Sin embargo, existen experiencias en el mundo de uso de cables ADSS en vanos de 1.800 metros. Por ser estos cables totalmente dieléctricos, no necesitan de aterramiento. Los cables ADSS se usan como método alternativo - a un precio muy atractivo- para aumentar la capacidad de transmisión de voz y datos en ocasiones donde los nuevos Cables de Guarda de Fibra Óptica no son necesarios. Para prevenir daño por causa de agua o migración a través del cable ADSS, se coloca las fibras dentro de un tubo central holgado relleno con gel impermeable. La resistencia a la tensión mecánica se consigue gracias a que los hilos de aramida son trenzados alrededor del núcleo. El diseño de los cables totalmente dieléctricos evita que se produzcan cortocircuitos minimizando de esta manera riesgos durante la instalación.

A diferencia de los cables ADSS, los cables AD-Lash no son Auto-soportados; sino atados a cables ya existentes en las líneas transmisoras de energía eléctrica. Son extremadamente ligeros y, en consecuencia, especialmente adecuados para su instalación en líneas en las que los postes de soporte no son lo bastante robustos como para soportar la carga de cables adicionales.

2.1.3.3. Equipos de comunicación para empresas suministradoras de energía.

Existen muchas firmas que se dedican a fabricar tanto multiplexores como interfases de telefonía, teleprotección y SCADA para enlaces de fibra óptica, especialmente diseñados para empresas suministradoras de energía.

- **Sistema de Transmisión por fibra óptica FOX 20**

Como uno de los fabricantes líderes de sistemas de transmisión por fibra óptica Asea Brown Boveri como resultado de sus largos años de experiencia conoce las exigencias de los explotadores de redes de transmisión de energía eléctrica. Con base a esta experiencia ABB ha desarrollado el sistema de transmisión por fibra óptica FOX 20.

Este sistema ofrece soluciones flexibles y económicas teniendo como principales características:

- Sistema de transmisión modular de 20 canales para datos, telefonía y transmisión de señales de teleprotección.
 - Amplia variedad de interfases.
 - Módulos de transmisión óptica con LED o diodo láser en 1550nm de longitud de onda para fibras multimodo o monomodo con alcance de hasta 80 Km sin regenerador.
 - Configuración de enlaces multipunto mediante técnica de tránsito y derivación digital.
 - Altos niveles de aislamiento en las interfaces mediante separación galvánica adecuada.
 - Alta seguridad de transmisión.
 - Transmisión redundante posible.
 - Incremento de la disponibilidad del sistema mediante duplicación del módulo de alimentación.
 - Sistema de alarma concebido de acuerdo a CCITT G. 956 y G. 732.
 - Construcción mecánica en la bien conocida técnica de chasis de 19 pulgadas para ambientes industriales.
- **Sistema de transmisión por fibra óptica LFH 2000.**

El sistema de transmisión por fibras ópticas LFH 2000 es un equipo multifuncional que ofrece un sinnúmero de aplicaciones para transmitir la voz, datos y señales de protección.

Ha sido desarrollado por Siemens para el sector energético, basándose en sus experiencias adquiridas con equipos de transmisión y sistemas de fibras ópticas en las redes públicas internacionales. En el marco de desarrollo de la tecnología de fibras ópticas, el sistema LFH 2000 sienta nuevas dimensiones.

Está especialmente diseñado para las empresas suministradoras de energía, ofreciendo soluciones rentables para cualquier servicio en las redes de transmisión, gracias a su diseño modular y a su velocidad de transmisión flexible de 2, 8 o 34Mbps. Los canales de servicio operan con todas las interfaces, no requiriéndose un multiplexor externo.

Características:

- Blindaje perfecto.
- Seguridad mediante la capacidad overhead.
- Sistemas de gestión de la red.
- Gama de diodos láser.
- Más canales telefónicos y de datos.
- Redes en línea.
- Sistemas de telemaniobra.

- Terminales de radioenlace.
- Fiable y seguro.
- Manejo sencillo.
- Autosupervisión permanente.

2.1.4. Ventajas y desventajas de las tecnologías mostradas.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p align="center">ONDA PORTADORA</p>	<p>Constituye un método realmente económico en el caso de cambio de pequeño-medianos volúmenes de informaciones sobre distancias mediano-grandes.</p> <p>Garantiza comunicaciones con elevado grado de seguridad, en particular en lo que concierne a servicios de telefonía, de telecontrol y de teleprotección.</p> <p>Se utiliza como sistema de back-up en las redes digitales de banda ancha, para aumentar el grado de disponibilidad de servicios como la teleprotección y el telecontrol.</p>	<p>Tiene escasa competencia tecnológica, comparada con la tecnología microondas y de fibra óptica.</p> <p>La red eléctrica no fue diseñada para transmitir datos por lo que experimenta frecuentes caídas y la calidad de las llamadas telefónicas no es completamente satisfactoria.</p> <p>Falta de seguridad al enviar la protección diferencial de línea.</p>
<p align="center">MICROONDAS</p>	<p>Volumen de inversión generalmente más reducido.</p> <p>Instalación más rápida y sencilla. Conservación generalmente más económica y de actuación rápida.</p> <p>Puede superarse las irregularidades del terreno.</p> <p>La regulación solo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en el ancho de banda de trabajo.</p> <p>Puede aumentarse la separación</p>	<p>Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces.</p> <p>Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y servicios de conservación.</p> <p>La segregación, aunque es posible y se realiza, no es tan flexible como en los sistemas por cable.</p> <p>Las condiciones atmosféricas pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica utilizar</p>

	entre repetidores, incrementando la altura de las torres.	sistemas de diversidad y equipo auxiliar requerida, supone un importante problema en diseño.
FIBRA ÓPTICA	<p>Gran ancho de banda.</p> <p>Atenuación baja de la señal para grandes distancias.</p> <p>Inmunidad electromagnética.</p> <p>Seguridad y aislamiento eléctrico.</p> <p>Imposibilidad de producir descargas eléctricas o chispas.</p>	<p>No hay una estandarización de los productos (compatibilidad).</p> <p>Las técnicas de empalme son complejas y necesitan de equipos muy caros y personal muy calificado.</p> <p>La instalación de los conectores es compleja.</p>

2.2. Multiplexación de canales para la transmisión de diferentes señales.

2.2.1. Multiplexación por división de frecuencia (FDM).

Se utiliza para transmitir varios canales de información simultáneamente en el mismo canal de comunicación. El espectro de frecuencias representado por el ancho de banda disponible de un canal se divide en porciones de anchos de banda más pequeños, para cada una de las diversas fuentes de señales asignadas a cada porción. Es decir cada canal ocupa continuamente una pequeña fracción del espectro de frecuencias transmitido.

La señal final transmitida es analógica, lo que hace que la FDM no se emplee para transmisiones digitales.

2.2.2. Multiplexación por división de tiempo (TDM).

Es la más utilizada en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digitales. En ella, el ancho de banda total del medio de transmisión es asignada a cada canal durante una fracción del tiempo total. Es decir, cada

canal ocupa todo el espectro de frecuencias durante sólo una fracción de tiempo. La señal original puede ser una onda analógica que se convierte en forma binaria para su transmisión o puede estar ya en forma digital.

Los MUX TDM digitales tienen alto nivel de programación y capacidad de control (señalización, sincronización, control de errores, etc.) permitiendo transmitir información con buena eficiencia.

Una ventaja de la TDM es que puede utilizarse cualquier tipo de modulación por impulsos.

2.2.3. Multiplexación estadística o asíncrona (ATDM).

Es un caso particular de la multiplexación por división en el tiempo. Consiste en no asignar espacios de tiempo fijos a los canales a transmitir, sino que los tiempos dependen del tráfico existente por los canales en cada momento.

Características:

- Tramos de longitud variables.
- Muestreo de líneas en función de su actividad.
- Intercala caracteres en los espacios vacíos.
- Fuerte sincronización.
- Control inteligente de la transmisión.

Los multiplexores estadísticos asignan tiempos diferentes a cada uno de los canales siempre en función del tráfico que circula por cada uno de estos canales, pudiendo aprovechar al máximo posible el canal de comunicación.

2.2.4. Multiplexación por división de código (CDM).

Se utiliza para transmitir varios canales de información simultáneamente en el mismo medio de comunicación, la transmisión de cada canal ocupa la banda de frecuencias completa y todos los canales transmiten simultáneamente en el tiempo. Las transmisiones se separan mediante el uso de un código diferente para cada canal y los receptores usan estos códigos para recuperar la señal de la estación deseada.

2.2.5. Multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

No es más que una forma de FDM. Múltiples haces de luz, a diferentes frecuencias transportados mediante fibra óptica. Cada color de luz (longitud de onda) transporta un canal de datos separado.

Un conjunto de fuentes generan haces láser a diferentes frecuencias. El multiplexor combina las fuentes para su transmisión sobre una única fibra. Los amplificadores ópticos amplifican todas las longitudes de onda y el demultiplexor separa los canales en recepción.

2.3. Señalización telefónica.

Es la forma en que se va a comunicar el equipo:

- Señalización de línea: se da entre centrales
- Señalización de usuario: se da entre el usuario y la central
- Señalización de registro: se da entre centrales.

En una red telefónica conmutada, la señalización transporta la inteligencia necesaria para que un abonado se comunique con cualquier otro de esa red. La señalización indica al switch que un abonado desea servicio, le proporciona los datos necesarios para identificar al abonado distante que se solicite y entonces enruta debidamente la llamada a lo largo de su trayectoria. La señalización da también al abonado cierta información de estado, por ejemplo: tono de invitación, de ocupado y timbrado.

Funciones de Señalización: Supervisión, Control (Forward), Tomar, Retener, Liberar, Estado (Backward), Desocupado, Ocupado, Desconectar, Dirección, Estación, Decádica, DTMF, Digital, Enrutamiento, Canal, Troncal, Auditiva/Visual, Alerta, Timbrado, Aviso descolgado, Progreso, Tono de marcar, Tono de ocupado.

- **Señalización por canal asociado (SAC).**

Cada canal lleva la voz y su propia señalización. Ejemplo: ISDN.

- **Señalización por canal común (SCC).**

Cada canal lleva la voz y un canal exclusivo lleva la señalización de todos los canales. Ejemplo: R2-MTC.

La señalización de supervisión proporciona la información acerca de la línea o el circuito e indica si el circuito está en uso o no. Informa al switch y a los circuitos troncales de interconexión acerca de las condiciones en la línea. Por ejemplo que la parte que llama ha descolgado o colgado y que la parte llamada ha descolgado/colgado. Estos dos términos son convenientes para designar las dos condiciones de señalización en una troncal o enlace. Si la troncal está desocupada se indica la condición de colgado (on hook) y si la troncal está ocupada se indica la condición de descolgado (off hook).

- **Señalización E&M (Ear and Mouth).**

Esta es la forma más común de supervisión de troncal. La señalización E&M existe únicamente en el punto de interfaz entre la troncal y el switch.

Cuando decimos que un enlace usa E&M a cuatro hilos, es porque tenemos 2 hilos para transmisión, 2 hilos para recepción, uno para E y otro para M. Una señalización E&M a dos hilos usa uno para transmisión, el mismo para recepción y otro para E y M. El primero se conoce como Full Duplex, el segundo se llama Half Duplex.

En la actualidad, existen 5 tipos de señalización E&M, que varían de acuerdo a la señal transmitida de colgado y descolgado del aparato terminal.

- **Ground Start.**

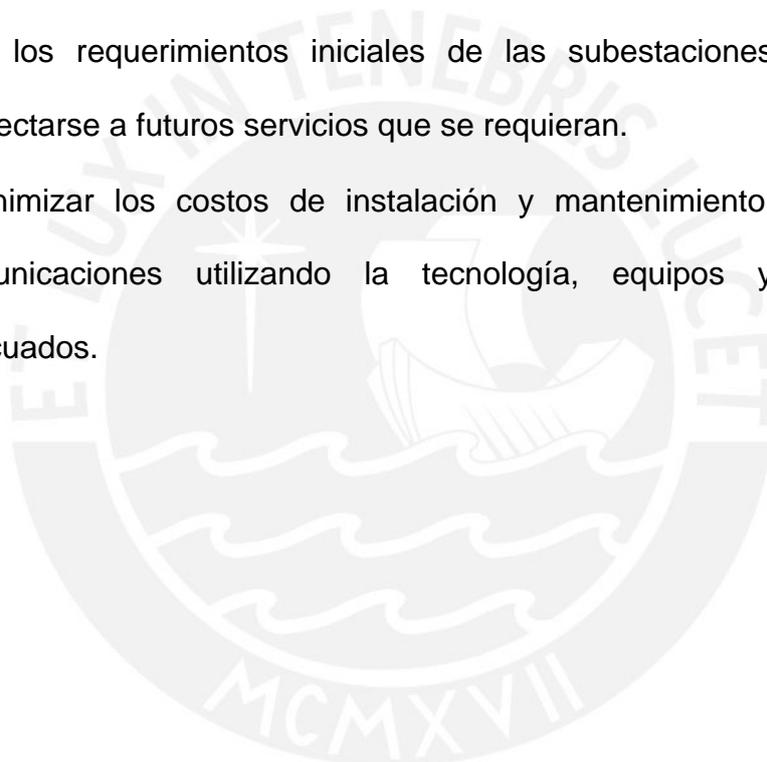
Es una señalización de supervisión, el PSTN libera la línea cuando ya no se encuentra en uso. En contraste el Loop Start que es una señal de supervisión donde el abonado es el que libera la línea. Cuando A acaba de marcar, el PSTN cambia la polaridad, cuando B contesta se vuelve a cambiar la polaridad. Cuando B cuelga cambia una vez más.

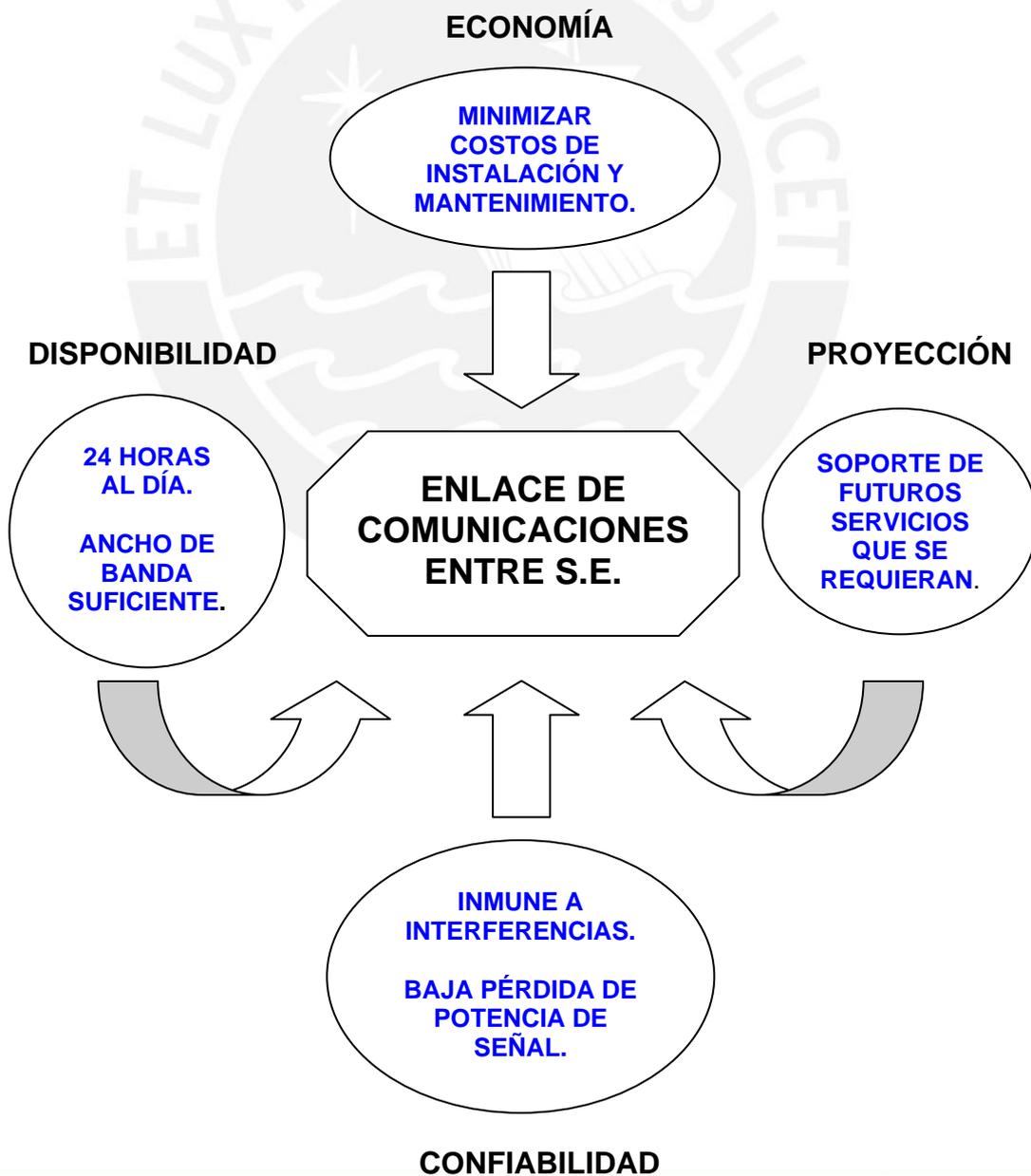
2.4. Modelo teórico.

Diseñar un enlace de comunicación entre subestaciones eléctricas y/o centrales, es un proceso que depende fundamentalmente de la problemática existente en las subestaciones y/o centrales, de los requerimientos que éstas exigen y del costo previsto para la inversión.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, el modelo teórico para el diseño de un enlace de comunicaciones entre subestaciones eléctricas y/o centrales es:

- Tener disponibilidad del enlace de comunicación las 24 horas al día, todos los días del año y con un ancho de banda suficiente.
- Contar con un enlace de comunicaciones altamente confiable, puesto que una falla en la comunicación podría hacer colapsar el sistema eléctrico del Perú.
- Hacer el diseño del enlace de comunicaciones tomando en cuenta no sólo los requerimientos iniciales de las subestaciones, sino también proyectarse a futuros servicios que se requieran.
- Minimizar los costos de instalación y mantenimiento del enlace de comunicaciones utilizando la tecnología, equipos y componentes adecuados.





CAPITULO 3

ENLACE DE FIBRA ÓPTICA ENTRE LA S.E. SAN JUAN Y LA C.T. CHILCA COMO SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA EXISTENTE.

3.1. Hipótesis de la Investigación.

3.1.1. Hipótesis Principal.

Dada la necesidad de interconectar la red eléctrica y las instalaciones eléctricas de la S.E. San Juan y la C.T. Chilca, transmitiendo señales de teleprotección, telefonía y sistema SCADA, para gestionar de manera óptima el servicio de energía, automatizando y controlando a distancia las instalaciones eléctricas, entonces, se requiere un enlace de comunicaciones de alta confiabilidad y económicamente factible.

3.1.2. Hipótesis secundarias.

- Dado que se necesita garantizar la comunicación en todo momento y de manera simultáneamente del sistema de telefonía, del sistema SCADA y

del sistema de teleprotección, se debe elegir la multiplexación más adecuada y eficiente para el diseño del enlace de comunicaciones.

- Dado que se cuenta con la red de transmisión de alta tensión entre la Subestación Eléctrica de San Juan y la Central Térmica de Chilca, ésta podrá ser utilizada como medio en caso que se elija la tecnología de fibra óptica para el diseño del enlace de comunicaciones.

3.2. Objetivos de la investigación.

3.2.1. Objetivo General.

Diseñar un enlace de comunicaciones entre la Subestación Eléctrica de San Juan y la Central Térmica de Chilca, localizadas en el departamento de Lima.

3.2.2. Objetivos Específicos.

- El enlace de comunicaciones entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan debe cumplir con los requerimientos estipulados en las normas: ITU-R, ITU-T, EIA/TIA, EN55022 y EN50082.
- Brindar un equipamiento del enlace de comunicaciones que cumpla satisfactoriamente todos los requerimientos previstos en el estudio de impacto ambiental.
- Garantizar la coordinación de la operación de la Central Térmica de Chilca desde la Subestación Eléctrica de San Juan y el COES-SINAC (Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional),

con un alto grado de seguridad y calidad del abastecimiento de energía eléctrica y el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos.

- Reducir los costos de la implementación del enlace de comunicaciones eligiendo a la vez equipos de calidad y de bajo mantenimiento.
- Proporcionar los servicios de teleprotección, sistema SCADA y telefonía entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan, que garanticen un correcto funcionamiento y operación del sistema eléctrico bajo estándares de telecomunicaciones.

3.3. Universo y Muestra.

El universo esta formado por los sistemas de comunicación empleados entre subestaciones eléctricas y/o centrales. La muestra que se utilizará para llevar a cabo el presente trabajo de investigación esta conformada por la tecnología de fibra óptica que se empleará para el diseño del enlace de comunicaciones entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan.

3.4. Planteamiento del enlace.

- Para el enlace de comunicaciones entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan se utilizará la tecnología de fibra óptica.
- Se utilizarán las interfases de telefonía, de datos y de protección de acuerdo al requerimiento de la C.T. Chilca y la S.E. San Juan.

- Se empleará la multiplexación TDM para la transmisión de las señales del sistema de telefonía, del sistema SCADA y del sistema de teleprotección.

3.5. Factibilidad del enlace.

El planteamiento del enlace de comunicaciones utilizando la tecnología de fibra óptica entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan es factible por las siguientes razones:

- La fibra óptica irá en un cable adecuado y de diseño especial, a través de las torres de la línea de transmisión de alta tensión existentes entre la C.T. Chilca y la S.E. San Juan.
- Dará mayor confiabilidad operativa al sistema de comunicaciones y proporcionará mayor ancho de banda comparado con la tecnología microondas.
- No será necesario utilizar regeneradores de señal en el enlace de comunicaciones entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca, disminuyendo de esta manera los costos del enlace.
- El costo de mantenimiento del enlace de comunicaciones por fibra óptica será menor al de microondas.

CAPITULO 4
DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES PRIVADO CON
TECNOLOGÍA DE FIBRA ÓPTICA PARA TRANSMITIR SCADA,
TELEPROTECCIÓN Y TELEFONÍA ENTRE LA S.E. SAN JUAN Y LA C.T.
CHILCA.

4.1. Requerimientos.

Los requerimientos para el sistema de comunicaciones de la C.T. Chilca y la S.E. San Juan son:

CANALES	REQUERIMIENTOS PARA LA C.T. CHILCA Y LA S.E. SAN JUAN
4 canales de protección	Cada canal para un comando de protección digital diferente. Los diferentes comandos podrán ser enviados

	simultáneamente e independientemente. Tiempo de transmisión del mando menor a 2ms.
1 canal de datos	Para señal de datos asíncronos de 9600 baudios.
1 canal de datos	Para señales de datos síncronos y asíncronos de 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 64000 Hz.
1 canal de voz	Para utilización de una central PAX con señalización E&M.

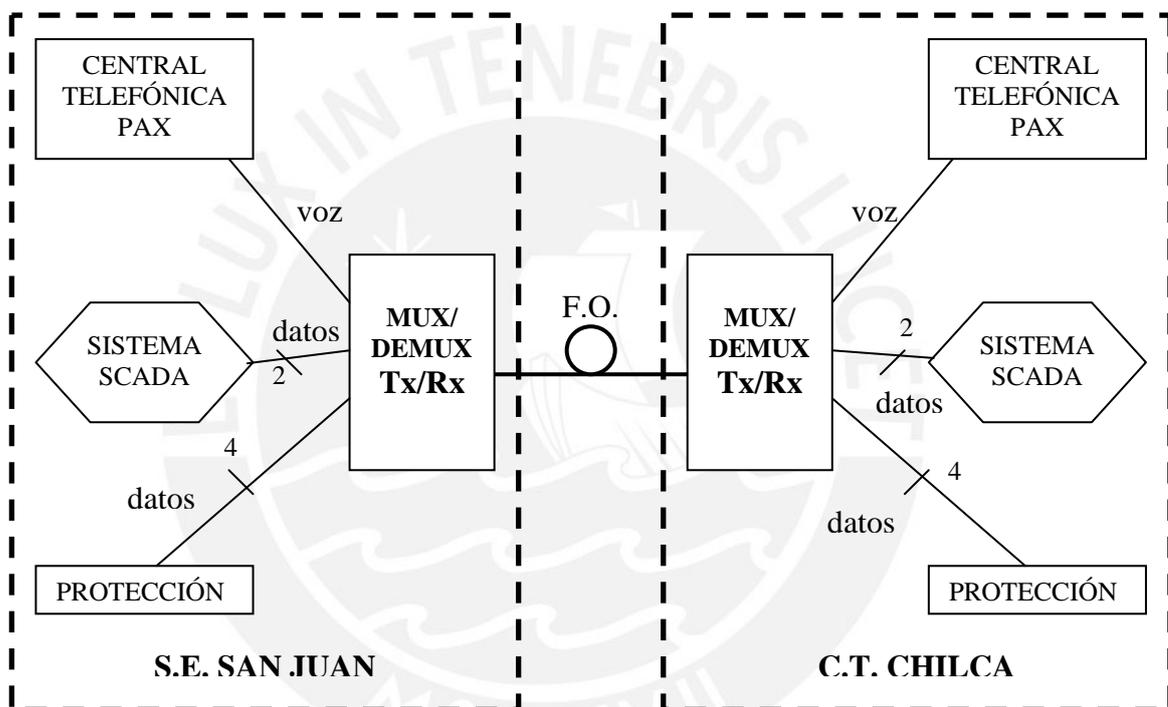


FIGURA 4-1: ESQUEMA DEL ENLACE DE COMUNICACIONES.

4.2. Consideraciones preliminares.

Para diseño de un enlace de comunicación entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca, debemos considerar fundamentalmente la ubicación de éstas, la distancia entre ambas, las señales a transmitir (SCADA, teleprotección y telefonía) y el costo previsto para la inversión.

La Subestación Eléctrica de San Juan y la Central Térmica de Chilca se encuentran ubicadas en el departamento de Lima, habiendo una distancia de 76Km aproximadamente entre ambas.

La fibra óptica irá en cable ADSS a través de las torres de la línea de transmisión de alta tensión, existentes entre las instalaciones eléctricas.

Los multiplexores y las interfases de comunicación a utilizar para transmitir las diferentes señales, son especiales para la industria de energía.

4.3. Diseño.

El diseño del sistema de comunicaciones por fibra óptica entre la C.T. Chilca y la S.E. San Juan seguirá el esquema mostrado a continuación:

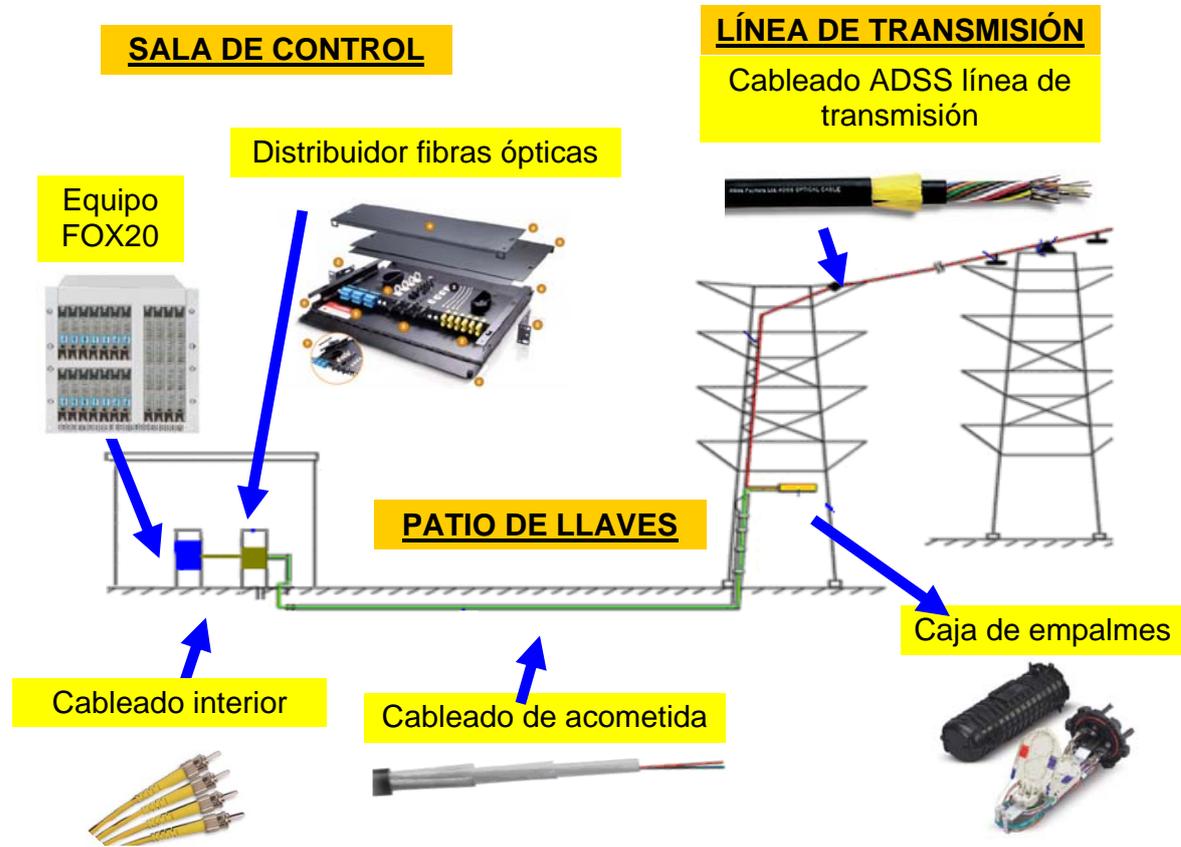


FIGURA 4-2: DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES.

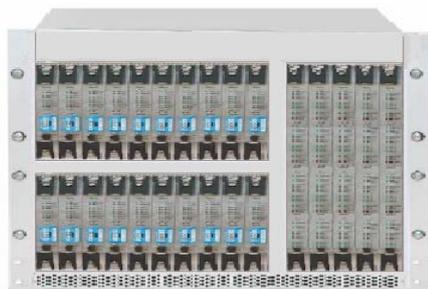
4.3.1. Equipo de Transmisión por fibra óptica FOX 20.

Hemos comparado los equipos de transmisión por fibra óptica LFH2000 de Siemens y los equipos FOX512 y FOX20 de ABB, que son empresas con gran prestigio en la industria de energía, eligiendo finalmente el equipo FOX20. La elección del equipo FOX20 se hizo considerando dos aspectos significativos: cubrir requerimientos de nuestro diseño y costo del equipo.

Se descartó el FOX512, que utiliza tecnología WDM para multiplexar las señales a transmitir, siendo suficiente emplear la tecnología TDM. Asimismo,

se descartó el equipo LFH2000 a pesar de ser similar al FOX20, debido a su mayor costo. Las principales características del equipo FOX20 son:

- Sistema de transmisión modular de hasta 20 canales, para datos, telefonía y transmisión de señales de teleprotección.
- Equipo para ser montado en rack de 19”.
- Altos niveles de aislamiento en las interfaces mediante separación galvánica adecuada.
- Alta seguridad de transmisión.



1. Módulo de Alimentación.
2. Módulo de Emisión.
3. Módulo de Recepción.
4. Módulo de Multiplexor / Demultiplexor.
5. Módulo de Alarmas y Oscilador.
6. Interfaces (datos, teleprotección y telefonía).

La siguiente figura muestra en detalle la configuración y diseño del equipo FOX 20.

FIGURA 13: EQUIPO DE TRANSMISIÓN DE FIBRA ÓPTICA FOX20

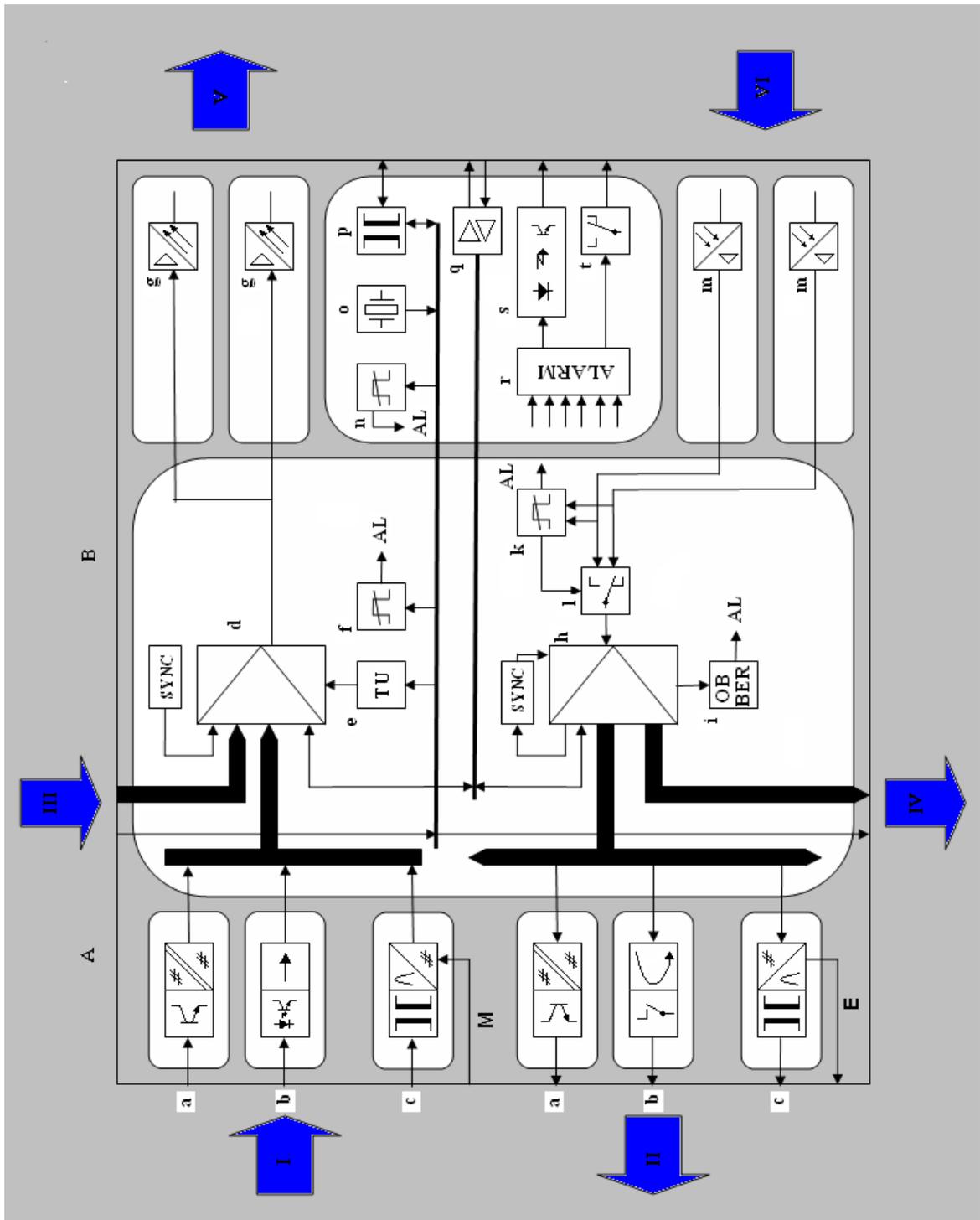


FIGURA 4-4: CONFIGURACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA FOX 20

El equipo FOX 20 se compone del equipo básico (B) y de los módulos de interfaz (A).

En el equipo básico (B), se puede ver de izquierda a derecha en la dirección de transmisión los bloques funcionales multiplexor (d), conmutador de reloj (e), detector de pérdida de reloj (f) y finalmente el emisor óptico (g).

En la dirección de recepción, sigue al receptor óptico (m) la supervisión de señal (l). Posteriormente en el demultiplexor (h), la señal de recepción es distribuida entre las tarjetas de interfaz. Un circuito de supervisión (i) bloquea los datos cuando se constata una alarma de sincronización, de paridad o tasa de error de bit.

En el módulo de alarma se reúnen todas las alarmas (r) y se controlan las salidas de alarma (s, t). En este grupo funcional se encuentran también el oscilador para la generación local de reloj (o), así como el reloj de entrada y salida de 2048 KHz (p) y el interfaz con el canal de servicio (q).

En el módulo de supervisión (n) se supervisa y se señala la pérdida del reloj de 2048 KHz local o externo. En caso de un equipo FOX 20 con doble módulo de alimentación, la supervisión de la tensión de alimentación será igualmente efectuada en este módulo.

El diseño del enlace de comunicaciones por fibra óptica entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan contará con dos equipos básicos (B), uno para cada subestación.

4.3.1.1. Multiplexor / Demultiplexor y Convertidor de Código (N4AR).

El multiplexor TDM digital en el módulo muldex trabaja de acuerdo al principio de coincidencia nula. Esta unidad intercala bit por bit en una trama de 32 bits, los bits de datos de 20 canales. Los diversos Bits de esta trama tienen las siguientes funciones:

- 8 bits Palabra de sincronización.
- 1 bit Control de paridad.
- 1 bit Control (prueba de bucle).
- 1 bit Señalización de alarma remota.
- 1 bit Sincronización de reloj de 8 KHz.
- 20 bits Información proveniente de las interfases con el usuario.

La señal del multiplexor tiene una velocidad de 2048 Kbit/s.

La señal de datos en uno de los 20 canales del FOX 20 proviene ya sea de un módulo de interfaz del FOX 20 (figura parte A) o de un FOX 20 vecino a través de la entrada / salida externa de 64 Kbit/s (figura parte B), o inclusive de la adición digital de ambos trenes de pulsos en caso de que ambos equipos sean sincrónicos en frecuencia.

A través del conmutador de reloj (TU) el multiplexor será alimentado con el reloj correcto, el cual puede provenir de una de las siguientes fuentes:

- Del oscilador local (Quarzo) (o)
- Del equipo Fox 20 vecino (Drop and Insert)
- De un oscilador externo ajeno al sistema
- Derivado de la señal de recepción

La función de señal de reloj será supervisada (f), los disturbios eventuales serán señalizados y se generará una alarma. En el convertidor de códigos (d) la señal de datos de 2048Kbit/s en formato NRZ será transformada al código MCMI el cual es más adecuado para la transmisión a través de fibra óptica. De esto resulta una duplicación de la tasa de bits.

El módulo de emisión óptica (g) esta equipado con un diodo láser para fibra monomodo. La señal óptica será transmitida a 4096Kbit/s.

En los módulos de emisión equipados con diodo láser se supervisa la temperatura del láser y la elevación de corriente del láser y cuando estos valores se encuentran fuera de la tolerancia se genera una alarma. En el receptor óptico (m) la señal convertida en una señal eléctrica y regenerada en amplitud y duración en un módulo PIN-FET. La pérdida de señal óptica de

recepción así como la tasa de error de Bits de la señal entrante son supervisadas (k, i) y señalizadas y en caso de fallas la alarma es activada.

El demultiplexor transforma la señal entrante proveniente del receptor óptico, con código MCM I de 4096KBit/s en una señal de datos NRZ de 2048Kbit/s. Un circuito de sincronización reconoce la palabra de sincronización de 8 Bits y efectúa la sincronización con el reloj de la estación opuesta.

En el circuito de supervisión (i) se controla la sincronización, paridad así como la tasa de error de Bits de la trama. En caso de alcanzarse valores límites, los módulos de interfaz (a) son bloqueados automáticamente, con el fin de evitar que se produzcan falsas salidas (OB, Bloqueo de Operación).

Desde el demultiplexor (h), los Bits de información son distribuidos entre los módulos de interfaz A, quedando al mismo tiempo disponibles en salidas separadas de 64Kbits/s para una conexión en tránsito a un equipo FOX 20 vecino.

4.3.1.2. Unidades de emisión / recepción óptica.

Para nuestro diseño del enlace de comunicaciones, tomando en cuenta que la distancia que hay entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan es de 50Km, se utilizará un emisor/receptor óptico para el sistema de transmisión FOX 20 en la ventana de 1550nm.

4.3.1.3. Unidad de alarma y oscilador (N4AS).

- **Concepción del sistema de alarma**

La concepción del sistema de alarma del equipamiento óptico de línea cumple con las normas CCITT G. 956, mientras que para la parte de multiplexaje, donde corresponde, sigue las normas CCITT G. 732. Se hace una distinción entre alarma urgente (P) y alarma no urgente (D).

El despliegue de alarmas se efectúa en forma visual mediante LED en las platinas frontales de los módulos. En el módulo interfaz de alarmas, las alarmas P y D son tratadas en forma centralizada a través de barras de suma de alarmas separadas.

Los criterios de alarmas están además disponibles a través de relés de alarmas o bien opto acopladores. Dependiendo de la configuración del equipo y del modo de operación, así como de la jerarquía atribuida a las fallas (prioridades), los estados de fallas generan una P o D. Con P se inician acciones de bloqueo, exceptuando el caso de falla del reloj de emisión.

- **Grupos funcionales y su criterio de alarma.**

Emisor óptico con diodo láser.

- Sobretemperatura en el láser.
- Elevación de la corriente de alimentación del láser.

Receptor óptico.

- Pérdida de la señal óptica de recepción.
- Tasa de error de Bit en la señal óptica de recepción $>10^{-3}$, $>10^{-5}$.

Multiplexor.

- Pérdida de la alimentación del reloj externo 8/64/2048 KHz.

Demultiplexor.

- Recepción de la señal AIS.
- Tasa de error de bit en la trama $>10^{-3}$, $>10^{-5}$.
- Bloqueo en caso de falla de paridad o pérdida de la sincronización de la trama.

Alimentación.

- Tensión baja o sobrecarga en el lado secundario.

Interfaz de alarma.

- Pérdida de la alimentación interna o externa de reloj de 2048 KHz.

Interfaz de protección.

- Prueba de bucle no exitosa, pérdida del reloj de recepción o de los datos de recepción así como pérdida de alimentación.
- **Supervisión remota del FOX 20.**

Variante 1: Transmisión de una simple suma de alarmas.

La aparición de una P o D local puede originar una señal (suma de alarmas) a ser retransmitida con alarma remota, a través del canal de transferencia de alarmas. Es posible hacer una evaluación selectiva de dirección.

Variante 2: Transmisión selectiva de informaciones de alarma.

En el módulo de alarma /oscilador existen 16 criterios de alarmas individuales a través de salidas con opto acopladores para utilización en un equipo externo de supervisión remota y convertido en telegrama serial puede ser transmitido a una estación central de evaluación a través del interfaz de datos CCITT V.11 del FOX 20.

4.3.1.4. Tarjetas de Interfaz.

- Interfaz de datos.

Las señales digitales de datos son convertidas mediante un muestreo en una señal de 64KBit/s.

Los datos a ser transmitidos pueden estar también disponibles en forma sincrónica como señal de datos de 64KBit/s o un múltiplo entero de esta velocidad (N3BE).

El diseño del enlace de comunicaciones entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan utilizará dos interfaces N3BD y dos

interfaces N3BE del fabricante ABB, siendo una interfaz de cada tipo para cada subestación.

Interfaz de datos asíncronos (N3BD).

Con esta interfaz se pueden transmitir datos asíncronos de hasta 9600 baudios en forma directa, es decir sin modulación o conversión digital/analógica. Por tarjeta de interfaz queda disponible un canal de datos. Las entradas y salidas están de acuerdo a las normas CCITT interfaz V.24/V.28 y son además compatibles con las interfaces de la familia de módulos de telecontrol de ABB (ED-1000, PROCONTROL, S.P.I.D.E.R.).

Interfaz de submultiplexaje para datos sincrónicos/asincrónicos (N3BE).

La interfaz de submultiplexaje reúne hasta 8 canales asincrónicos de datos lentos y transmite la información multiplexada por un canal normal del FOX 20. En el modo de operación sincrónico se puede reunir hasta 4 canales de datos sincrónicos. A través de 4 salidas de reloj hay 6 tasas de reloj que se pueden escoger (1200, 2400, 4800, 9600, 19200 y 64000Hz). La cantidad de subcanales y su correspondiente capacidad de transmisión pueden ser fácilmente adaptadas a los requerimientos mediante programación por conmutadores.

Todas las conexiones de las interfaces están galvánicamente separadas y cumplen con las normas V.11 / RS 422 y V.10 / RS 423. La compatibilidad con la norma V.24 / RS 232-C está también disponible.

- Interfaz de telefonía.

La digitalización de señales analógicas se realiza de acuerdo al principio de la modulación delta adaptativa. Este procedimiento se caracteriza por su excelente comportamiento –casi único- contra fallas de transmisión (fallas de Bit) y es especialmente adecuada para multiplexaje de canal Bit por Bit. La alta frecuencia de muestreo de los canales de 64KHz garantiza una buena calidad de transmisión.

El diseño del enlace de comunicaciones entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan utilizará dos interfaces PAX-PAX con señalización E&M (N3BF) del fabricante ABB, una para cada subestación.

Interfaz PAX-PAX con E & M (N3BF).

La interfaz PAX-PAX sirve para la transmisión a 2 o 4 hilos de una señal telefónica con canal de señalización E & M entre centrales. La señalización en el lado de emisión puede llevarse a cabo a través de contactos libres de potencial o de un llaveo a tierra. En el lado de recepción está disponible un contacto libre de potencial.

- Interfaces de protección.

El diseño del enlace de comunicaciones entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan utilizará 4 interfaces de protección digital N3BC del fabricante ABB para cada subestación. Debido a que el equipo de teleprotección que se requiere para cada subestación debe tener cuatro comandos. Pudiéndose seleccionar cada uno de los comandos independientemente, para que trabajen en esquemas de disparo permisivo o disparo directo.

Interfaz de protección digital (N3BC).

La interfaz para teleprotección sirve para la transmisión de una orden remota de disparo (por ejemplo proveniente de la protección de distancia). En el lado de emisión, la entrada galvánicamente aislada es adaptable para las tensiones de batería de la estación desde 24V hasta 200V. En el extremo de salida, un relé de estado sólido provee un contacto libre de potencial.

La evaluación del mando en el extremo de recepción garantiza una tasa de falso disparo extremadamente baja con probabilidad despreciable de pérdida de mando y con un tiempo de respuesta inferior a 2ms. Esto permite que el equipo pueda ser aplicado para disparo directo y disparo condicionado.

Para supervisar la disponibilidad operacional, cada canal de protección ejecuta periódicamente y en forma automática (aprox. cada hora) una prueba de bucle. Si la prueba no es exitosa, se genera una alarma. Cuando el sistema de supervisión del FOX 20 reconoce una falla en la transmisión (sincronización, tasa de error de bit y paridad) esto genera automáticamente una alarma con bloqueo de las salidas de los mandos de protección.

4.3.2. Cableado del enlace de comunicaciones.

4.3.2.1. Cableado en la línea de alta tensión.

El diseño del enlace de comunicaciones de fibra óptica entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan utilizará cableado ADSS, el cual irá a través de las torres de alta tensión de la red de transmisión eléctrica de 220KV que tiene una longitud de 75.937 Km.

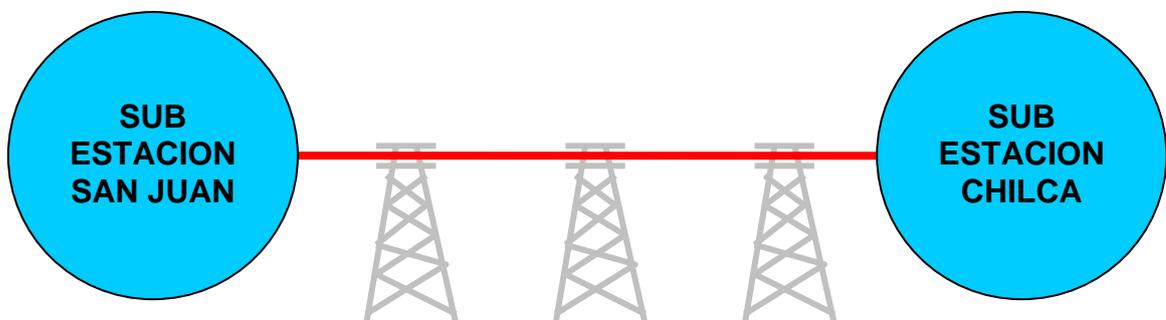


FIGURA 4-5: CABLEADO LÍNEA DE TRANSMISIÓN

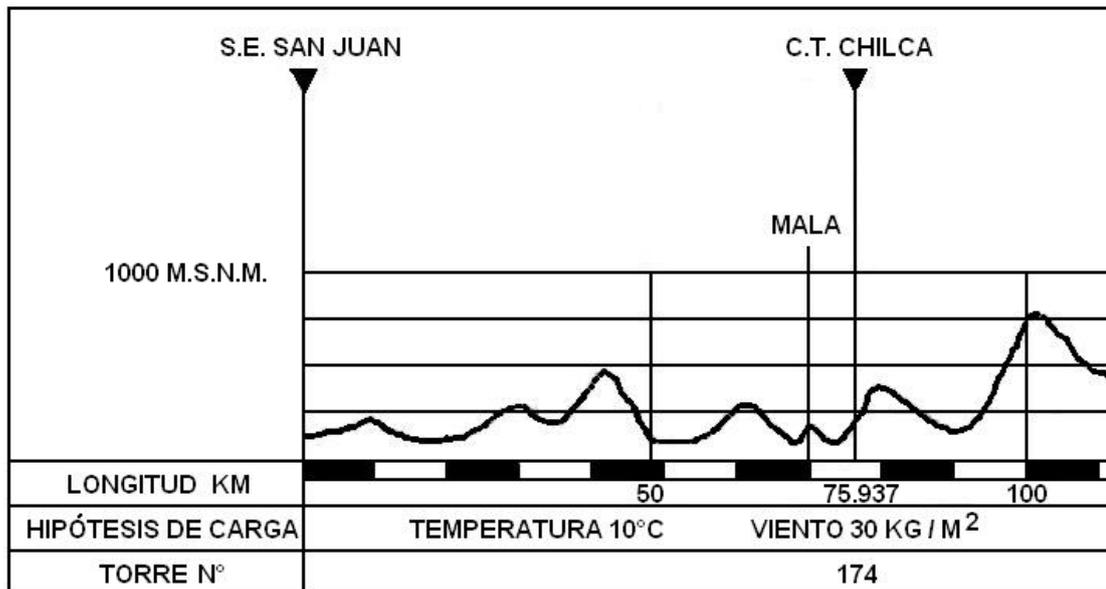


FIGURA 4-6: PERFIL LÍNEA DE TRANSMISIÓN 220KV

- **Cálculos del diseño.**

Para determinar la opción correcta del cable óptico ADSS, es necesario definir determinadas características de aplicación, siendo estas: la longitud de vacío entre postes o torres, la limitación a la flecha máxima de cable (espacio libre), las condiciones ambientales de carga (temperatura, velocidad del viento, etc.) y el número de fibras por cable.

Para nuestro diseño del enlace de fibra óptica entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan elegiremos el cable ADSS que cumpla con las siguientes características:

- Número de fibras ópticas: 3 pares (1 par para transmisión y recepción del enlace a diseñar y los otros 2 pares para futuros proyectos).
- Fibra óptica monomodo en tercera ventana 1550nm (Atenuación: dB/Km. a 1550nm 0,3 máx.).
- Distancia lineal total de 75.937Km entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca.
- Longitud de vacío entre las 197 torres existentes en la línea de transmisión de alta tensión de 220KV, entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca, es en promedio de 387.4336 metros.
- Flecha de instalación 1% la longitud del trecho como máximo.
- Condiciones ambientales de carga: NESC leve. (ver anexo 2).

Para determinar la distancia máxima total entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca, debemos determinar la flecha y la tracción del cable ADSS a instalar.

La flecha se divide en tres componentes: flecha vertical (FV), desplazamiento horizontal (DH) y Flecha resultante (FR).

La flecha resultante del cable es la combinación de la flecha resultante de carga vertical (peso del cable mas el hielo) y la carga horizontal (presión del viento), es importante especificar que la forma de flecha del cable es significativa durante una carga de tempestad.

La flecha vertical esta ligada al espacio libre y la distancia entre conductores, el desplazamiento horizontal está asociado con cuestiones de "Lista de dominio" y con la prevención de contacto del cable óptico auto-sustentado con estructuras de soporte y conductores adyacentes.

El siguiente cuadro contiene una tabla típica de flecha y tracción, con flecha de instalación de 1.0% la longitud del trecho.

Distancia lineal entre torres (mts)	Flecha (mts)	Tracción (Kg)
61	0,61	150
91.5	0,91	227,27
122	1,22	304,54
152,5	1,52	381,81
183	1,83	454,54
213,5	2,13	531,81
244	2,44	609,1
274,5	2,75	681,82
305	3,05	759,1
335.5	3,36	831.82
366	3,66	909.09
396.5	3,96	981.81
427	4,27	1059.08
457.5	4,58	1131.8

FIGURA 4-7: TABLA DISTANCIA VS FLECHA / TRACCIÓN

Para la línea de transmisión de alta tensión de 220KV entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca, se ha considerado el 1% de la distancia lineal total de la misma como flecha máxima de instalación. Obteniendo una distancia

real total de 76,696.37 metros entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca. (ver anexo 3).

Necesitaremos para el enlace de fibra óptica entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca de 76.69637Km de cable ADSS con 6 fibras ópticas.

- **Tipo y características del cable.**

Según las características requeridas para nuestro cable ADSS, elegiremos el cable **Transmission Design** de **Alcoa Fujikura S.A. (AFL)** que son los únicos fabricantes de cables aéreos de hasta 7000 metros de longitud para la instalación en líneas de transmisión de alto voltaje. (ver anexo 4). Esto hace que nuestro diseño del enlace tenga menos empalmes y la transmisión de la señal sea más eficiente, perdiendo menos potencia.



FIGURA 4-8: CABLE TRANSMISSION DESIGN

- **Empalmes.**

Para nuestro enlace de comunicaciones entre la Subestación Eléctrica de San Juan y la Central Térmica de Chilca necesitamos cubrir 50Km. de

distancia por esto el cable ADSS será empalmado por fusión y puesto en cajas de empalme herméticas.

Los empalmes por fusión son permanentes y se realizan con máquinas empalmadoras, manuales o automáticas, que luego de cargarles las fibras sin coating y cortadas a 90° realizan un alineamiento de los núcleos de una y otra, para luego fusionarlas con un arco eléctrico producido entre dos electrodos. Llegan a producir atenuaciones casi imperceptibles (0.01dB a 0.10dB).

Las cajas de empalme que elegiremos para nuestro diseño serán las **FIBREGUARD 500** marca **PLP**, que a diferencia de otras cajas de empalme son más livianas y de fácil instalación, operación y mantenimiento para tendido aéreo de cables ADSS.

Estas cajas cuentan con un exclusivo y rápido sistema de cierre manual del cabezal y de los puertos. La re-entrada a los puertos se instala sin necesidad de materiales adicionales.

Acepta una extensa gama de diámetros de cables ADSS, gracias a sus amplios puertos de acceso principal o para derivaciones. Además cuenta con un sistema de almacenamiento y fijación de buffers totalmente accesible al usuario, para su rápida identificación.



FIGURA 4-9: CAJA DE EMPALME FIBREGUARD

Tomando en cuenta la distancia real total entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca es de 76.696.37Km y la longitud máxima del cable ADSS que es de 7000 metros, se harán 9 empalmes en el cableado ADSS y se utilizarán 9 cajas de empalmes.

- **aéreos.** **Accesorios de suspensión para amarres**

Para poder sostener el cable ADSS por las torres de alta tensión de la línea de transmisión entre la Central Térmica de Chilca y la Subestación Eléctrica de San Juan será necesario contar con los siguientes accesorios de suspensión:

- Soporte para bajada de cable (tower guide clamp). (2 unidades).
- Unidad de suspensión intermedia (tangent support). (392 unidades, 2 por cada torre).
- Amarre Terminal (dead end). (2 unidades).

- Espiral (spiral vibration damper). (2 unidades).

Todos los accesorios de suspensión para amarres aéreos son de la **marca ALF**, siendo las cantidades de los accesorios aproximadas. (ver anexo 5).

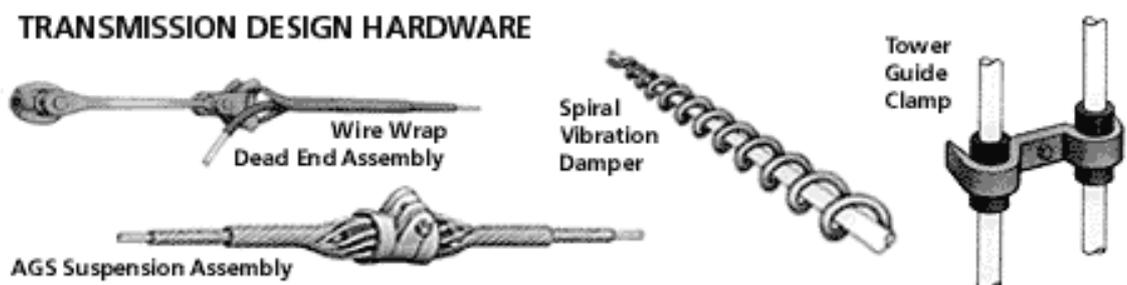


FIGURA 4-10: ACCESORIOS DE SUSPENSIÓN PARA CABLEADO ADSS EN LÍNEA DE TRANSMISIÓN.

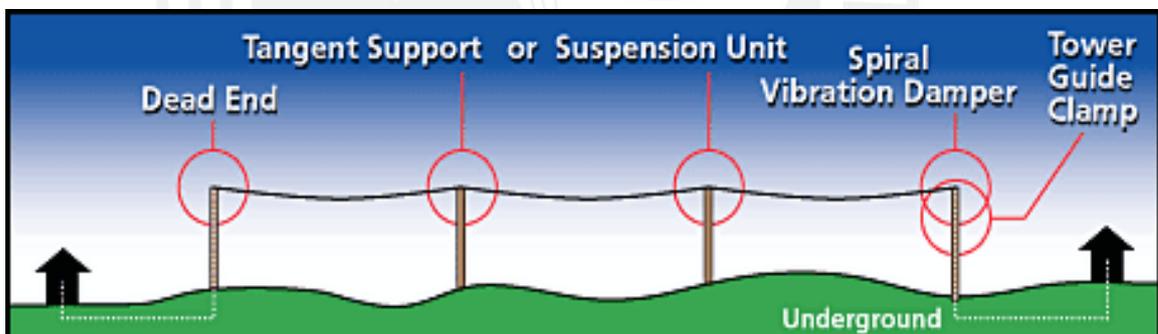


FIGURA 4-11: ESQUEMA DE PUESTA DE ACCESORIOS DE SUSPENSIÓN EN LA LÍNEA DE ALTA TENSIÓN.

4.3.2.2. Cableado de acometida.

El cableado de acometida abarcará, desde la caja de empalme terminal ubicada en el extremo de la línea de transmisión de alta tensión, hasta el distribuidor de fibras ópticas que se ubicará dentro de la sala de control de la

subestación o central. Pasando el cable de acometida por el patio de llaves de la subestación o central, según sea el caso.

- **Cálculos del diseño.**

Para determinar la opción correcta del cable de acometida, es necesario definir determinadas características del patio de llaves de la S.E. San Juan y la C.T. Chilca:

- Ambos patios de llaves, desde la sala de control hasta el inicio de la línea de transmisión, tienen una distancia máxima de 200m de longitud.
- Los dos patios de llaves están a la intemperie, habiendo gran humedad en el ambiente, debido a la cercanía del mar.

El diseño del enlace de comunicaciones por fibra óptica contará con un cable de acometida que cumpla con las siguientes características:

- Número de fibras ópticas: 3 pares.
- Fibra óptica monomodo en tercera ventana 1550nm (Atenuación: dB/Km. a 1550nm 0,7 máx.).
- Cable adecuadamente protegido contra la humedad.

Necesitaremos para el diseño del cableado de acometida 2 cables de acometida de 200m, con 6 fibras ópticas (cada cable para un patio de

llaves). El cable bajará desde la caja de empalmes terminal, ubicada en la última torre, hasta el piso, en un tubo de PBC sólido y de ahí irá hasta la sala de control por una zanja en el piso, de 70cm de profundidad.

Se empalmará por fusión el cableado de acometida con el cableado ADSS y se utilizarán 2 cajas de empalme Fibreguard 500 de PLP como cajas terminales (una para la S.E. San Juan y la otra para la C.T. Chilca).

- **Tipo y características del cable.**

Según las características requeridas para nuestro cableado de acometida elegiremos el cable **Dielectric Drop Cable** de **OFS**, cable diseñado especialmente para reducir costos de instalación. El tubo central único permite la misma protección contra humedad que un cable de tubos múltiples además de reducir tamaño, material y costo.



FIGURA 4-12: CABLE DIELECTRIC DROP

4.3.2.3. Cableado interior.

El cableado interior de la S.E. San Juan y de la C.T. Chilca, viene a ser el cableado en la sala de control de cada una de ellas y abarca desde el

distribuidor de fibras hasta el módulo transmisión/recepción del equipo FOX 20 de ABB.

- **Distribuidor de fibras ópticas.**

Para el diseño del cableado de acometida utilizaremos 2 distribuidores de fibras ópticas. Uno para la sala de control de la S.E. San Juan y otro para la C.T. Chilca.

Estos distribuidores son de la marca **Optronics** modelo **1U ST monomodo**, para 6 terminales de fibra óptica monomodo con conectores ST.



FIGURA 4-13: DISTRIBUIDOR DE FIBRA ÓPTICA 1U ST MONOMODO OPTRONICS

- **Cálculos del diseño.**

Para determinar la opción correcta del cable interior, es necesario definir determinadas características de las salas de control de la S.E. San Juan y de la C.T. Chilca:

- En cada sala de control, estará un equipo de fibras ópticas FOX 20 separado a 10m como máximo del distribuidor de fibras ópticas.
- Las salas de control son cerradas, protegidas de la humedad y cuentan con las condiciones ambientales adecuadas para la instalación de los equipos y componentes de comunicación.

Para el diseño del cableado interior de fibra óptica de cada sala de control, elegiremos el cable interior que cumpla con las siguientes características:

- Número de fibras ópticas: 2.
- Fibra óptica monomodo 9/125 (Atenuación: dB/Km. a 1550nm 0,7 máx.).

Utilizaremos para el diseño del cableado interior, 2 cables interiores (jumpers) de 10m, cada uno con 2 fibras ópticas (para transmisión y recepción). Un cable para cada sala de control.

- **Tipo y características del cable.**

Según las características requeridas para nuestro cableado interior de las salas de control, elegiremos el **jumper ST-ST monomodo 9/125 Duplex** (par de fibras), marca **Optronics** de 10m de longitud.



FIGURA 4-14: JUMPER ST-ST MONOMODO 9/125 DUPLEX

4.4. Cálculos y pruebas del enlace por fibra óptica.

4.4.1. Cálculos del enlace por fibra óptica.

Para una correcta planificación de las instalaciones de cables con fibras ópticas es necesario considerar la atenuación total del enlace y el cálculo del margen del enlace con cable de fibra óptica seleccionado.

La atenuación total del cableado será: $a_t = La_L + n_e a_e + n_c a_c$

Donde:

L = longitud del cable en Km.

a_L = coeficiente de atenuación en dB/Km

n_e = número de empalmes

a_e = atenuación por empalme

n_c = número de conectores

a_c = atenuación por conector

Para nuestro diseño del enlace de fibra óptica tenemos los siguientes datos:

$L = 76,696.37\text{Km}$ cable ADSS, 200m cable de acometida y 20m cable interior.

$a_L =$ máximo 0.3dB/Km para fibra del cable ADSS y 0.7dB/Km para fibra en cable acometida e interior.

$n_e = 11$

$a_e = 0.05\text{dB}$ (máxima pérdida en empalme por fusión).

$n_c = 2$

$a_c = 0.5\text{dB}$ (máximo para conectores ST)

Por lo que tenemos: $a_t = 76.69637*0.3 + 0.22*0.7 + 11*0.05 + 2*0.5$

$$a_t = 24.712911\text{dB.}$$

El enlace será proyectado para un margen de potencia igual a la máxima atenuación antes de ser necesario un repetidor: $P_M = P_t - P_u$

Donde:

$P_M =$ Margen de potencia en dB (máxima atenuación permisible)

$P_t =$ Potencia del transmisor en dB

$P_u =$ Potencia de umbral en dB (dependiente de la sensibilidad del receptor)

Para nuestro enlace de fibra óptica tenemos: $P_t = -3.5\text{dBm}$ $P_u = -52\text{dBm}$

Por lo tanto: $P_M = P_t - P_u = -3.5 + 52 = 48.5\text{dB}$

El margen de enlace M_e en dB será: $M_e = P_M - a_t = 48.5 - 24.712911 = 23.787089$

23.787089dB, será la atenuación máxima adicional permisible para degradaciones futuras del enlace.

4.4.2. Pruebas del enlace de fibra óptica.

Es de suma importancia probar los enlaces de fibra y se deben mantener registros de los resultados de estas pruebas. Se utilizan varios tipos de equipo de prueba para fibra óptica. Dos de los instrumentos más importantes son los Medidores de Pérdida Óptica y los Reflectómetros Ópticos de Dominio de Tiempo (OTDR).

Estos medidores prueban el cable óptico para asegurar que el cable cumpla con los estándares TIA para la fibra. También verifican que la pérdida de potencia del enlace no caiga por debajo del presupuesto de pérdida del enlace óptico.

Los OTDR pueden brindar mucha información detallada de diagnóstico sobre el enlace de fibra. Pueden utilizarse para detectar las fallas en los empalmes de la fibra o los puntos de ruptura de la fibra si hubiera.

4.5. Costos.

Los costos considerados para la implementación del enlace de comunicaciones entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca, son costos de equipos, de materiales, de ingeniería y de montaje.

4.5.1. Costos de equipos y materiales.

Los costos de equipos y materiales son aproximados y puede variar según la fecha de cotización de los mismos.

Los equipos y/o materiales disponibles en el Perú se consideran con costo CIF, y los que se requieran adquirir del extranjero son considerados precios FOB.

ITEM	DESCRIPCION	MARCA	MODELO	UND.	CANT.	COSTO UNIDAD	MONEDA		COSTO FINAL UND.	COSTO TOTAL
1	Cableado ADSS Transmission Design	AFL	AE0069C521BB7	metro	77000	2.50	Dólar	FOB	3.5	269,000.00
2	Caja de empalmes para cableado ADSS	AFL	FIBREGUARD 500 80050012	UND	11	203.00	Dólar	FOB	284.20	3,126.20
3	Soporte para bajada de cable (tower guide clamp)	AFL	AGW 469/561	UND	2	35.00	Dólar	FOB	49.00	98.00
4	Unidad de suspensión intermedia (tangent support).	AFL	ASU512/536	UND	392	35.00	Dólar	FOB	49.00	19,208.00
5	Amarre Terminal (dead end)	AFL	ADELE559061C	UND	2	50.00	Dólar	FOB	70.00	140.00
6	Espiral (spiral vibration damper)	AFL	AVD 462/563	UND	2	32.00	Dólar	FOB	44.80	89.60
7	Cable de acometida con 6 fibras ópticas monomodo 9/125 Dielectric Drop cable	OFS	Dielectric Drop cable AT-3BE12TT06	metro	400	0.95	Dólar	FOB	1.33	532.00
8	Distribuidor para 6 terminales de fibra óptica monomodo con conectores ST	OPTRONICS	1U ST monomodo 36-1U6STSM	UND	2	116.00	Dólar	FOB	162.40	324.80
9	Jumper ST monomodo Duplex de 10m.	OPTRONICS	ST-monomodo 9/125 STUSTU09D100	UND	2	29.00	Dólar	FOB	40.60	81.20
10	Equipo de transmisión de fibra óptica FOX 20	ABB	FOX20	UND	2	11,000	Dólar	FOB	15,400	30,800.00
11	Interfaz de datos asíncronos	ABB	N3BD	UND	2	230.00	Dólar	FOB	322.00	644.00
12	Interfaz de submultiplexaje para datos sincrónicos/asincrónicos	ABB	N3BE de FOX20	UND	2	240.50	Dólar	FOB	336.70	673.40
13	Interfaz de telefonía PAX-PAX señalización E&M	ABB	N3BF de FOX20	UND	2	312.00	Dólar	FOB	436.80	873.60
14	Interfaz de protección digital	ABB	N3BC de FOX20	UND	8	340.00	Dólar	FOB	476.00	3,808.00
15	Materiales para canaleta cable de acometida			GLB	2	300.00	Dólar	CIF	357.00	714.00
										330,112.80

4.4.2. Costos de ingeniería y montaje.

Los costos de la ingeniería y montaje del proyecto son aproximados, pueden variar según el personal calificado a contratar y a la economía del país.

INGENIERIA											
INGENIERIA DE DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES										8,000.00	
INGENIERIA DEL CABLEADO DE COMUNICACIONES											
	Nº	días	haber / día	viático / día	seguro / día	mov / día	Total haberes	Total viáticos	Total mov	Total seg	
INGENIERO	1	10	56.00	0	1.91	0.00	560.00	0.00	0.00	57.35	
JUNIOR	1	30	25.00	0	1.01	0.00	750.00	0.00	0.00	30.29	
DIBUJANTE	1	30	24.36	0	0.99	0.00	730.83	0.00	0.00	29.73	
							2040.83	0.00	0.00	136.42	2,177.24
MONTAJE											
CABLEADO ADSS											
	Nº	días	haber / día	viático / día	Seguro / día	mov / día	Total haberes	Total viáticos	Total mov	Total seg	
INGENIERO SUPERVISOR	1	5	56.00	4	1.91	0.00	280.00	20.00	0.00	57.35	
TÉCNICO	2	10	25.00	2	1.01	2.00	500.00	80.00	8.00	60.57	
AYUDANTE	6	10	20.00	2	0.86	2.00	1200	240.00	8.00	155.53	
TRANSPORTE CABLE ADSS	1	10	800.00	0.00	0.00	0.00	8000	40.00	0.00	0.00	
							9980	380.00	16.00	273.46	10,649.46
CABLEADO DE ACOMETIDA											
	Nº	días	haber / día	viático / día	Seguro / día	mov / día	Total haberes	Total viáticos	Total mov	Total seg	
INGENIERO SUPERVISOR	1	2	56.00	4	1.91	0.00	112.00	8.00	0.00	57.35	
TÉCNICO	1	4	25.00	2	1.01	2.00	100.00	16.00	8.00	30.29	
AYUDANTE	2	4	20.00	2	0.86	2.00	160.00	32.00	8.00	51.84	
OBRERO	2	4	12.00	2	0.63	2.00	96.00	32.00	8.00	37.88	
TRANSPORTE CABLE ACOMETIDA	1	2	150.00	0.00	0.00	0.00	300.00	8.00	0.00	0.00	
							768.00	96.00	24.00	177.36	1,065.36
CABLEADO Y PUESTA EN SERVICIO EQUIPOS SALA DE CONTROL											
	Nº	días	haber / día	viático / día	Seguro / día	mov / día	Total haberes	Total viáticos	Total mov	Total seg	
INGENIERO SUPERVISOR	1	6	56.00	4	1.91	0.00	336.00	24.00	0.00	57.35	
TÉCNICO	2	6	25.00	2	1.01	2.00	300.00	48.00	8.00	60.57	
							636.00	72.00	8.00	117.93	833.93
TOTAL										22,725.99	

4.4.3. Costo total.

El costo total del diseño e implementación del enlace de comunicaciones entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca será de **352,838.79 dólares americanos.**

4.4.4. Costo de mantenimiento.

El mantenimiento que se hará al enlace de comunicaciones entre la S.E. San Juan y la C.T. Chilca, abarcará a los equipos de comunicaciones instalados en la salas de control de las mismas.

Estos equipos son tanto los multiplexores como las interfases de datos, telefonía y teleprotección del sistema de transmisión por fibra óptica FOX 20.

Se recomienda que el mantenimiento de estos equipos, se efectúe cada seis meses y sea realizado por personal calificado.

MANTENIMIENTO SALAS DE CONTROL									
	Nº	días	haber / día	viático / día	mov / día	Total haberes	Total viáticos	Total mov	
INGENIERO SUPERVISOR	1	4	56.00	4	0	224.00	16.00	0.00	
TÉCNICO	2	4	25.00	2	2	200.00	16.00	16.00	
						424.00	32.00	16.00	472.00

4.5. Cronograma de Actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	
EVENTO	TIEMPO
Ingeniería / Adquisición de equipos y materiales	30 días
Adquisición de equipos y materiales	60 días
Montaje Cableado ADSS	10 días
Montaje Cableado de acometida	4 días
Cableado y puesta en servicio equipos en sala de control	6 días
Total	110 días

CONCLUSIONES

Del diseño del enlace de comunicaciones privado entre la Central Térmica de Chilca y la subestación Eléctrica de San Juan utilizando la tecnología de fibra óptica, llegamos a las siguientes conclusiones:

- Se tendrá disponibilidad del enlace de comunicación las 24 horas del día, todos los días del año y con un ancho de banda suficiente.
- El enlace de comunicaciones será altamente confiable, ya que la tecnología de fibra óptica es inmune a interferencias electromagnéticas y la atenuación de la señal a transmitir es mínima.
- El enlace de comunicaciones cubrirá los requerimientos iniciales para los servicios de teleprotección, SCADA y telefonía. Y podrá también cubrir futuros servicios que se requieran, gracias al gran ancho banda de la fibra óptica.
- El costo de implementación del enlace de comunicaciones es económicamente factible y el costo de mantenimiento será mínimo.

FUENTES

FIDEL ROSALES MONROY

2002 La fibra óptica se cuelga del cable. [en línea] México [consultado 2005/09/15]
<<http://www.enterate.unam.mx/Articulos/abril/fibraoptica.htm>>

XAVIER CIRAC

2000 Los protocolos y redes WDM junto con la tecnología óptica revolucionan las comunicaciones de banda ancha. [en línea] [consultado 2005/09/14]
<<http://www.leadernetwork.com/Leader/Web/Documentacion.nsf/b286f47456750c2bc125690d0048a805/0be7f7e7afd2f9d2c1256894005bdf99OpenDocument>>

RAÚL QUINTANA

2003 Tipos de multiplexación. Transmisión señal, modulación. Multiplexión por división de tiempo o de frecuencia. Multiplexado estadístico o asíncrono. Circuitos digitales. [en línea] EEUU [consultado 2005/10/19]
<<http://html.rincondelvago.com/tipos-de-multiplexacion.html>>

MARTÍN ZAPATA

2004 La fibra óptica. [en línea] España [consultado 2005/10/12]
<<http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/fibra.htm>>

ANÓNIMO

2003 Medios de transmisión. [en línea] EEUU [consultado 2005/09/14]
<http://html.rincondelvago.com/medios-de-transmision_2.html>

BMP INGENIEROS S.A.

2004 Radioenlace Digital por Microondas. Equipamiento y Administración del sistema. [en línea] Perú [consultado 2005/08/22]
<http://www.pcm.gob.pe/portal_ongei/publica/metodologias/Lib5085/expo4toc.htm>

ANÓNIMO

2003 Dispositivos Microondas. [en línea] Buenos Aires [consultado 2005/08/20]
<<http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/comunicaciones/microondas/index.php>>

JORGE MOSCOSO SÁNCHEZ

2003 Comunicaciones por satélite y microondas. [en línea] Buenos Aires [consultado 2005/08/21]
<<http://www.monografias.com/trabajos12/comsat/comsat.shtml>>

AC ASPID COM

2005 Productos telecomunicaciones. [en línea] España [consultado 2005/10/13]
<<http://www.aspid.pt/es/partners.asp?lang=es>>

FIDEL AGUIRRE

2004 Multiplexación. [en línea] España [consultado 2005/11/5]
<<http://www.tic.udc.es/~fidel/docs/teaching/mt/Tema5%20Multiplexacion.pdf>>

ANÓNIMO

2003 Codificadores. [en línea] España [consultado 2005/10/21]
<http://ceres.ugr.es/~alumnos/luis/f_onda_t.htm>

APLEIN INGENIEROS S.A.

2004 Sistemas de telecomunicaciones y teleprotección. [en línea] España [fecha de actualización 2004/02/09] [consultado 2005/11/7]
<<http://www.apleiningenieros.com/telepro.htm>>

ANÓNIMO

2003 Modulación. [en línea] España [consultado 2005/10/3]
<<http://bips.bi.ehu.es/~inma/psc/tema3.pdf>>

ANÓNIMO

2004 Modulación digital. [en línea] España [consultado 2005/10/4]
<<http://www.personal.us.es/jluque/Libros%20y%20apuntes/1995%20Modulacion%20digital.pdf>>

ANÓNIMO

2004 Introducción a los sistemas SCADA. [en línea] Argentina [consultado 2005/11/26]
<<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/industrial/sistemasinteligentes/UT4/4.htm>>

DANIEL BUSTAMANTE

2005 Telemando por Onda Portadora. [en línea] Brasil [consultado 2006/02/11]
<http://www.cerpch.efei.br/artigos/pags_28_29_30.pdf>

WIKIPEDIA

2003 Modulación PCM. [en línea] España [consultado 2005/12/3]
<http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_impulsos_codificados>

FIBERCO

2003 La fibra óptica. [en línea] España [consultado 2006/03/6]
<<http://www.fibra-optica.org/>>

TOMASI, Wayne

2004 Advanced electronic communications systems. 4a. ed.
New York: Prentice Hall.

KEISER, Gerd

2000 Optical fiber communications. 3a. ed.
New York: McGraw-Hill.

PALAIS, Joseph

1998 Fiber optic communications. 2a. ed.
New York: Prentice Hall.

SIEMENS

2004 Manual de equipos de comunicación Siemens para la industria de energía.

WIKIPEDIA

2005 Fibra Óptica. [en línea] España [consultado 2006/02/16]
<http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica>

ANÓNIMO

2003 Principios y conductores de fibra óptica. [en línea] Argentina
[consultado 2005/11/27]
<<http://orbita.starmedia.com/ygalarza/Ciencia.html>>

LUIS GUERRERO OJEDA

2003 Codificación de voz para CDMA. [en línea] España [consultado
2005/12/8]
<www.portalgsm.com/documentacion_extendida/100_0_17_0_C24/-51>

ANÓNIMO

2004 Modulación. [en línea] España [consultado 2005/12/21]
<<http://www.tid.es/presencia/publicaciones/diccio/m3.htm>>

WIKIPEDIA

2003 Modulación PCM. [en línea] España [consultado 2005/12/23]
<<http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n>>

ASEA BROWN BOVERI

2003 Manual de sistema de transmisión por fibra óptica FOX 20 de ABB para
la industria de energía.

NSW

2001 [Sistemas de cables aéreos](http://www.nsw.com/spa/products_services/aerial_cable_systems/cables_accessories/). [en línea] Alemania [consultado 2006/03/15]
<http://www.nsw.com/spa/products_services/aerial_cable_systems/cables_accessories/>

SELTA

2004 Terminales de Onda Portadora PLC. [en línea] España [consultado
2006/04/11]
<<http://www.selta.es/files/sten.htm>>

ANÓNIMO

2003 Estudio de la contaminación electromagnética. [en línea] España
[consultado 2005/11/13]
<<http://64.233.161.104/search?q=cache:IMek4nutOkEJ:www.ayto-alcaladehenares.es/docs/urbanismo/pgo/Estudio%2520de%2520la%2520contaminaci%25F3n%2520electromagn%25E9tica.pdf+campos+electromagneticos+subestaciones+electricas&hl=es>>

ANÓNIMO

1994 Instalaciones Eléctricas. [en línea] La Plata. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de ingeniería. [consultado 2006/02/11]

<<http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/ie-index.htm>>



GLOSARIO

ABB:	Asea Brown Boveri.
ADSS:	All Dielectric Self Supported. Cable dieléctrico auto soportado.
AM:	Amplitud Modulada.
APD:	Avalanche Photo Diode, diodo detector óptico.
ATDM:	Asynchronous Time Divide Multiplex, multiplexación estadística o asíncrona.
CBX:	Computerized Branch Exchange.
CCITT:	Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía, organización de la IUT.
CDM:	Code Divide Multiplex, multiplexación por división de código.
COES-SINAC Nacional.	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional.
CPU:	Central Process Unity.
C.T. :	Central Térmica.
DEMUX:	Demultiplexor.
EIA:	Asociación de Industrias Electrónicas.
E&M:	Señalización Ear and Mouth.
FDM:	Frequency Divide Multiplex, multiplexación por división de frecuencia.
FM:	Frecuencia Modulada.

FSK:	Frequency Shift Keying, modulación binaria de frecuencia.
ITU O UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
LED:	Diodo Emisor de Luz (Light Emitting Diode), fuente óptica.
MCMI :	Modified Coded Mark Inversion.
MUX:	Multiplexor.
NRZ :	Non Return Zero.
OPGW:	Optical Ground Wire.
PABX:	Private Automatic Branch Exchange.
PAX:	Private Automatic Exchange.
PIN-FET:	Receptor integrado constituido por un fotodiodo PIN.
PLC:	Programmable Logic Controller, controlador lógico programable.
PSTN:	Public Switched Telephone Network, red telefónica pública conmutada.
QAM:	Quadrature Amplitude Modulation, modulación por Amplitud en Cuadratura.
QAPM:	Quadrature Amplitude Phase Modulation, modulación de amplitud y fase en cuadratura.
QPM:	Quadrature Phase Modulation, modulación de fase en cuadratura.
RX:	Receptor.
SAC:	Señalización por Canal Asociado.
SCADA:	Supervisory Control And Data Acquisition, (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).
SCC:	Señalización por Canal Común.
S.E.:	Subestación Eléctrica.
SSB:	Single Side Band, banda lateral única.

- ST: Straight tip, punta recta. Tipo de conector de bayoneta para fibra óptica, originalmente fabricado por AT&T que se ha convertido en un estándar de facto.
- TDM: Time Division Multiplex, multiplexación por división de tiempo.
- TIA: Asociación de la Industria de Telecomunicaciones.
- TX: Transmisor.
- TV: Televisión.
- UTR: Unidad Terminal Remota.
- WDM: Wavelength Division Multiplex, multiplexación por división en longitud de onda.

