

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**SISTEMA DE COMUNICACIONES POR ONDA PORTADORA
ENTRE SUBESTACIONES ELECTRICAS PARA LA TRANSMISIÓN
DE VOZ, DATOS Y SEÑALES DE TELEPROTECCIÓN SOBRE
LINEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

ENZO MARTÍN QUINTANILLA YATACO

PROMOCIÓN

2009-II

LIMA-PERÚ

2013

**SISTEMA DE COMUNICACIONES POR ONDA PORTADORA
ENTRE SUBESTACIONES ELECTRICAS PARA LA TRANSMISIÓN
DE VOZ, DATOS Y SEÑALES DE TELEPROTECCIÓN SOBRE
LINEAS DE TRANSMISIÓN DE ALTA TENSIÓN**

Mis agradecimientos a:
Dios todopoderoso por guiarme, y por ser la luz de mi camino.
A mis padres, amigos y familiares por apoyarme en
todo momento y circunstancia.

SUMARIO

En el presente trabajo se describe una de las soluciones de telecomunicaciones aplicada en el sector eléctrico como son los Sistema de Comunicaciones por Onda Portadora los cuales permiten la trasmisión y recepción de voz, datos y señales de teleprotección empleando como medio a las líneas de transmisión de alta tensión que interconectan a Subestaciones Eléctricas.

En tal sentido, se plantea los objetivos y alcances del presente informe. Se analiza la necesidad de contar con servicios de comunicaciones en el Sector Eléctrico, en particular en los lugares donde no se cuenta con medios de comunicaciones convencionales.

En el marco teórico se ha resumido la información relacionada a subestaciones eléctricas, sistemas de control y protección, además se describe a los sistema de comunicaciones por onda portadora, sus principales componentes, aparatos constitutivos y modos de operación así como otros conceptos que permitan entender su operación.

Luego se aborda los criterios para realizar la implementación de enlaces de onda portadora y se ve su aplicación en el caso del sistema de comunicaciones Cajamarquilla – Callahuanca.

Finalmente se realiza un análisis de costos y de tiempos de implementación del enlace de onda portadora entre las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1 Objetivo del Trabajo	2
1.2 Alcances	2
1.3 Evaluación del Problema	2
1.4 Limitaciones del trabajo	3
1.5 Síntesis del trabajo	3
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	4
2.1 Subestación Eléctrica	4
2.1.1 Principales elementos de una subestación eléctrica	5
2.2 Líneas de Transmisión de Alta Tensión	6
2.3 Sistema de Control y Automatización de Subestaciones Eléctricas	7
2.3.1 Arquitectura de los SAS	7
2.4 Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).....	8
2.5 COES – SINAC.....	11
2.6 Sistema de protección de líneas de transmisión utilizando telecomunicaciones ..	11
2.6.1 Información a Transmitir por las Protecciones	13
2.6.2 Acción de Teleprotección	14
2.6.3 Modos de Funcionamiento de la Teleprotección	14
2.7 Sistema de Telefonía Privada	16
2.7.1 Centra Telefónica Privada (PBAX).....	16
2.7.2 Sistemas de Transmisión Telefónica.....	17

2.8	Normas Aplicables en el Diseño de Equipos de Onda Portadora.....	18
2.9	Modulación en banda lateral única y portadora suprimida (SSB).....	19
2.10	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM).....	19
2.11	Modulación de amplitud en cuadratura (QAM).....	20
2.12	Señal Piloto.....	20
2.13	Sistemas de Comunicaciones por Onda Portadora.....	20
2.13.1	Modo de transmisión.....	21
2.13.2	Uso de frecuencias.....	21
2.13.3	Adaptación óptima a las condiciones de transmisión.....	22
2.14	Componentes del Sistema de Onda Portadora.....	24
2.14.1	Equipo Terminal de Onda Portadora.....	25
2.14.2	Trampas de Onda.....	29
2.14.3	Condensadores de Acoplamiento.....	31
2.14.4	Unidad de Acoplamiento.....	31
2.14.5	Cables de Alta Frecuencia o RF.....	32
2.15	Tipos de Acoplamiento en Enlaces de Onda Portadora.....	33
2.15.1	Acoplamiento Fase a Tierra.....	33
2.15.2	Acoplamiento fase a fase.....	34
2.15.3	Acoplamiento inter-circuito.....	34

CAPÍTULO III

	PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	37
3.1	Evaluación de alternativas.....	37
3.1.1	Enlaces de Microondas.....	37
3.1.2	Enlaces por Fibra Óptica.....	38
3.1.3	Enlaces de Microondas.....	38
3.1.4	Enlaces de Onda Portadora.....	38
3.2	Criterios para la Implementación de Enlaces de Onda Portadora.....	39
3.2.1	Cálculo de Atenuación de la Línea de Transmisión.....	39
3.3	Ubicación de los Canales de OP en el Espectro de RF.....	39

3.4	Sistema de Comunicaciones por Onda Portadora entre las Subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca.....	40
3.4.1	Plan de Frecuencias	41
3.4.2	Cálculo de Atenuación	41
3.4.3	Cálculo de Máximo Atenuación Permisible	46
3.4.4	Enlace de Onda Portadora S.E. Cajamarquilla – S.E. Callahuanca	48
3.4.5	Equipamiento de la S.E. Cajamarquilla	49
3.4.6	Equipamiento de la S.E. Callahuanca.....	51
CAPÍTULO IV		
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		52
4.1	Estimación de costos	52
4.2	Cronograma.....	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		54
ANEXO A		
TABLA DE DATOS TÉCNICOS		56
ANEXO B		
GLOSARIO DE TÉRMINOS		61
BIBLIOGRAFÍA		64

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica el contar con medios de comunicación confiables es uno de los factores más importantes para la gestión y desarrollo del sector eléctrico. Esto exige contar con tecnologías que garanticen las comunicaciones entre subestaciones eléctricas y sus centros de control permitiendo el monitoreo del estado y rendimiento de las redes eléctricas.

En muchas ocasiones las subestaciones eléctricas suelen encontrarse en lugares donde difícilmente existe algún medio de comunicación. Para estos casos los sistemas de comunicaciones por onda portadora son una alternativa de comunicación versátil y confiable y económica. Estos sistemas emplean las líneas de alta tensión que existen entre subestaciones como medio de comunicación para el envío y recepción de señales de telecontrol, teleprotecciones y, en general, permite el acceso remoto a las subestaciones lo cual resulta imprescindible para la prestación de un suministro eléctrico competitivo, seguro y de calidad, basado en la monitorización de las infraestructuras eléctricas en tiempo real.

El envío de la información se da según el método de banda lateral única (SSB) con supresión de la portadora, la cual tiene la ventaja de alcanzar grandes distancias para la transmisión de la información, aprovechando la energía al máximo y con un ancho de banda mínimo. Además emplea modulación de canales múltiples (OFDM).

Las frecuencias de servicio para estos sistemas se encuentran en el rango de 24 a 500 kHz y el ancho de banda puede llegar hasta 32 kHz cubriendo la demanda de tráfico requerida en subestaciones eléctricas.

El presente trabajo describe los principios de funcionamiento del Sistema de comunicaciones de onda portadora el cual aprovecha la infraestructura existente entre subestaciones lo que lleva a una reducción de costos de implementación comparado con otras tecnologías (fibra óptica, enlaces de microondas o satelitales) conservando el grado de confiabilidad y flexibilidad requerido por los sistemas eléctricos.

Asimismo se aborda los criterios para la implementación de un enlace de onda portadora y los principales equipos que lo componen y finalmente se analiza el caso del enlace entre las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca.

CAPÍTULO I DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se expondrá los objetivos y alcance del presente informe, la necesidad e importancia de establecer enlaces comunicaciones entre subestaciones eléctricas, la metodología para la solución del problema y las ventajas del sistema de onda portadora con respecto a otras soluciones.

1.1 Objetivo del Trabajo

Los objetivos del presente informe suficiencia son los siguientes:

- Describir el funcionamiento de los sistemas de comunicaciones por Onda Portadora.
- Presentar a nivel de módulos y componentes, la descripción y funcionamiento de los aparatos constitutivos del sistema de comunicaciones por onda portadora.
- Mostrar las ventajas de emplear los sistemas de comunicaciones de onda portadora en el sector electricidad.

1.2 Alcances

El presente trabajo se enfoca en los sistemas de onda portadora y sus componentes.

Así mismo se describe el equipamiento y funcionamiento del sistema de onda portadora entre las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca.

Por último se establece los criterios para la implementación del enlace de onda portadora entre las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca.

1.3 Evaluación del Problema

En el ámbito del negocio de generación, transporte y distribución de la energía eléctrica, el telecontrol, las teleprotecciones y, en general, el acceso remoto a las subestaciones eléctricas resulta imprescindible para la prestación de un servicio final competitivo, seguro y de calidad, basado en la monitorización de las infraestructuras eléctricas en tiempo real.

Estos servicios requieren de una red de comunicaciones que ha de satisfacer unos requisitos específicos que hacen inviable el uso de redes públicas: funcionamiento en tiempo real, alta disponibilidad, seguridad, velocidad de comunicación dimensionada a medida de los protocolos de comunicación y sus características, carácter geográficamente disperso de la red eléctrica, subestaciones de difícil acceso en donde los medios terrestres convencionales de comunicación en muchas ocasiones no son viables.

Son las particularidades del servicio eléctrico las que condicionan que estos requisitos sólo sean alcanzables mediante elevadas inversiones para necesidades muy concretas, aunque siempre se busca la tendencia a soluciones lo más robustas posibles en confiabilidad, alta calidad y bajo coste.

Las infraestructuras de comunicaciones relacionadas con la explotación eléctrica nacieron asociadas a las propias infraestructuras eléctricas, en ocasiones incluso compartiendo los medios físicos utilizados (transmisión por ondas portadoras).

Posteriormente, la multiplicación de técnicas de despliegue de red y medios de transmisión (microondas, fibra óptica, etc.) permitió diversificar las soluciones de acceso al núcleo de la red eléctrica en función de las características concretas de cada punto objetivo.

La criticidad y la alta disponibilidad, anteriormente citadas, como requisitos imprescindibles de comunicaciones, desencadenan el planteamiento de soluciones que aporten un medio de transmisión siempre disponible, confiable y cuya implementación sea viable técnica y económicamente.

1.4 Limitaciones del trabajo

El informe describirá las particularidades de los sistemas de comunicaciones de onda portadora, principales componentes y se realizará el planteamiento de solución para el enlace de comunicaciones entre las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca.

No profundizará en el análisis del sistema protección para la línea que interconecta ambas subestaciones.

No se abordará el detalle de los sistemas de Telecontrol y Telefonía.

1.5 Síntesis del trabajo

El informe consta de dos partes principales:

En la primera parte (Marco teórico) se explica los conceptos más importantes relacionados a subestaciones eléctricas, telecontrol, protección de líneas de transmisión, además se describe a los sistemas de onda portadora principales componentes y modos de operación. Esto sirve para comprender la solución que se muestra en la segunda parte del informe.

- En la segunda parte (Planteamiento de la solución del problema) se menciona los principales criterios que deben considerarse para la implementación de enlaces de onda portadora, y su aplicación para el establecimiento del enlace de comunicaciones entre las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca.
- Complementariamente, en la tercera parte se muestra el cronograma de trabajo y los costos involucrados en un proyecto de aplicación.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En este capítulo se exponen las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión del sistema descrito en el presente informe.

2.1 Subestación Eléctrica

Una subestación eléctrica es la exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, en el cual la energía se transforma a niveles adecuados de tensión para su transporte, distribución o consumo, con determinados requisitos de calidad. Está conformada por un conjunto de equipos utilizados para controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección.

Una subestación puede estar asociada con una central generadora, controlando directamente el flujo de potencia al sistema, con transformadores de potencia convirtiendo la tensión de suministro a niveles más altos o más bajos o puede conectar diferentes rutas de flujo al mismo nivel de tensión. Algunas veces una subestación desempeña dos o más de estas funciones.

Las funciones de la subestación eléctrica son:

- Explotación: La subestación tiene como meta el dirigir el flujo de energía de una manera óptima, tanto desde el punto de vista de pérdidas energéticas, como de la fiabilidad y seguridad en el servicio
- Interconexión: Se encarga de la interconexión de las diferentes líneas que forman una red eléctrica, de igual o diferente tensión, así como también de la conexión de un generador a la red.

Seguridad del sistema eléctrico en caso de fallas.

Básicamente una subestación consiste en un número de circuitos de entrada y salida, conectados a un punto común, el barraje de la subestación, siendo el interruptor el principal componente de un circuito y complementándose con los transformadores de instrumentación, seccionadores y pararrayos, en lo correspondiente a equipo de alta tensión, y con sistemas secundarios como son los de control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares.

Los niveles de tensión de las subestaciones eléctricas se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Baja tensión: $U_m < 1 \text{ kV}$

- Media tensión: $1 \text{ kV} \leq U_m < 52 \text{ kV}$
- Alta tensión: $52 \text{ kV} \leq U_m < 300 \text{ kV}$
- Extra alta tensión: $300 \text{ kV} \leq U_m < 550 \text{ kV}$
- Ultra alta tensión: $800 \text{ kV} \leq U_m$

2.1.1 Principales elementos de una subestación eléctrica

Entre los principales equipos que componen un subestación eléctrica tenemos los siguientes (ver Figura 2.1):

a) Interruptores

Los interruptores automáticos son dispositivos mecánicos de interrupción capaces de conducir, interrumpir y establecer corrientes en condiciones normales, así como de conducir durante un tiempo especificado, interrumpir y establecer corrientes en condiciones anormales como son las de cortocircuito. Su función básica es conectar o desconectar de un sistema o circuito energizado líneas de transmisión, transformadores, reactores o barrajes. Estos equipos deben ser capaces de cortar la intensidad máxima de corriente de cortocircuito, por tanto su elección depende principalmente de la potencia de cortocircuito.

b) Seccionadores

Los seccionadores son equipos que permiten aislar eléctricamente los diferentes tramos de una instalación o circuito por necesidades de operación o por necesidad de aislar componentes del sistema (equipos o líneas de transmisión) para realizar su mantenimiento. En este último caso los seccionadores abiertos que aíslan componentes en mantenimiento deben tener una resistencia entre terminales a los esfuerzos dieléctricos en tal forma que el personal de campo pueda ejecutar el servicio de mantenimiento en condiciones adecuadas de seguridad. Los seccionadores sólo pueden ser utilizados fuera de carga.

c) Transformadores de tensión

Normalmente en sistemas con tensiones superiores a los 600 V las mediciones de tensión no son hechas directamente en la red primaria sino a través de equipos denominados transformadores de tensión. Estos equipos tienen las siguientes finalidades:

- Aislar el circuito de baja tensión (secundario) del circuito de alta tensión (primario).
- Procurar que los efectos transitorios y de régimen permanente aplicados al circuito de alta tensión sean producidos lo más fielmente posible en el circuito de baja tensión.

Los tipos de transformadores de tensión pueden ser: transformadores inductivos y transformadores capacitivos. Para los sistemas donde se emplea comunicación por onda portadora la utilización del transformador de tensión capacitivo es necesaria.

d) Transformadores de corriente

Los transformadores de corriente son utilizados para efectuar las mediciones de corriente en sistemas eléctricos. Tienen su devanado primario conectado en serie con el circuito de alta tensión. La impedancia del transformador de corriente vista desde el lado del devanado primaria es despreciable comparada con la del sistema en cual estará instalado, aún si se tiene en cuenta la carga que se conecta en su secundario. En esta forma, la corriente que circulará en el primario de los transformadores de corriente está determinada por el circuito de potencia.

Los equipos de protección necesitan de los datos brindados a través de los transformadores de tensión y corriente para poder actuar eficazmente.



Figura 2.1 Subestación Eléctrica

2.2 Líneas de Transmisión de Alta Tensión

La red de transporte de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.

Una línea de transporte de energía eléctrica o línea de alta tensión es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias. Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de acero, cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las torres de alta tensión. Estos conductores están sujetos a tracciones causadas por la combinación de agentes como el viento, la temperatura del conductor, la temperatura del viento, etc.

La capacidad de la línea de transmisión afecta al tamaño de estas estructuras

principal es. Por ejemplo, la estructura de la torre varía directamente según el voltaje requerido y la capacidad de la línea. Las torres pueden ser postes simples de madera para las líneas de transmisión pequeñas hasta 46 kV. Se emplean estructuras de postes de madera en forma de H, para las líneas de 69 a 231 kV. Se utilizan estructuras de acero independientes, de circuito simple, para las líneas de 161 kV o más. Al estar estas formadas por estructuras hechas de perfiles de acero, como medio de sustentación del conductor se emplean aisladores de disco o aisladores poliméricos y herrajes para soportarlos.

2.3 Sistema de Control y Automatización de Subestaciones Eléctricas

Un sistema de control está formado por un conjunto de dispositivo, funciones de medida, registro, señalización, regulación, control manual y automático de los equipos de patio y relés de protección, los cuales verifican, protegen y ayudan a gobernar un sistema de potencia.

La función principal de un sistema de control es supervisar, controlar y proteger la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Durante condiciones anormales y cambios intencionales de las condiciones de operación, el sistema de control deberá, hasta donde sea posible, asegurar la continuidad de la calidad del servicio de energía eléctrica.

Debido al avance de los sistemas de supervisión y de recolección de datos, el control de subestaciones ha evolucionado rápidamente desde sistemas completamente manuales de operación local, o convencionales, a sistemas completamente automáticos de operación remota, con varias etapas intermedias como son los sistemas automatizados de subestaciones (SAS).

Los sistemas de automatización de subestaciones se basan en el uso de IED's (Intelligent Electronic Devices o Dispositivos Electrónicos Inteligentes), los cuales son dispositivos autónomos e independientes con facilidades de comunicación e integración mediante protocolos normalizados, que emplean uno o más microprocesadores con capacidad de recibir y enviar información (datos) y comandos desde o hacia una fuente externa.

2.3.1 Arquitectura de los SAS

La estructura jerárquica de control de la subestación se encuentra definida por niveles los cuales se pueden visualizar en la Figura 2.2 la cual tiene una configuración distribuida en la cual los equipos (hardware) y/o funciones y programas (software) se encuentran localizados en forma descentralizada en la subestación.

a) Nivel 0

Conformado por los equipos de patio (interruptores, seccionadores, transformadores

de potencia y de instrumentación, reactores, banco de capacitores, etc.) y por los servicios auxiliares de la subestación (13,2 kV, 208/120 Vca, 125 Vcc, grupos electrógenos, inversores, etc.)

b) Nivel 1

Este nivel está conformado por los controladores de campo e IED's que sirven como maestros para la adquisición de datos, cálculos, acciones de control y procesamiento de información relacionada con los dispositivos de campo y servicios auxiliares de la subestación y por la interfaz de operación local, la cual proporciona un nivel básico de acceso al personal de operación y mantenimiento para la supervisión y el control de los equipos de campo asociados al controlador respectivo.

c) Nivel 2

Este nivel corresponde al sistema de procesamiento del SAS, al almacenamiento de datos y a la interfaz de operación o IHM (Interfaz Humano - Maquina), con la cual se tiene la visualización parcial o total de la subestación con el fin de tomar decisiones para su comando, estos se encuentran localizados en la sala de control de la subestación. El procesador o controlador de Nivel 2 sirve como una estación central de procesamiento de la información de la subestación de forma que tal que ésta pueda ser utilizada por la interfaz de operación de la subestación y pueda ser almacenada para análisis futuros, para mantenimiento y para generación de reportes,

d) Nivel 3

El nivel 3 corresponde a los sistemas remotos de información o centros de control remoto donde se encuentra el sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System), desde los cuales se pueden monitorear y controlar los principales equipos de la subestación y supervisar el sistema interconectado. El grado de control se define según las necesidades de las empresas.

Para la transferencia de información con el centro de control remoto, el sistema de control de la subestación puede acoplarse al sistema de comunicación por intermedio redes WAN (Wide Area Network) y usando protocolos propietarios o protocolos abiertos como DNP 3.0, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104 o IEC61850. El medio de comunicación puede ser por onda portadora por línea de potencia, fibra óptica por el cable de guarda de las líneas de transmisión (OPGW, microondas, satélite o redes telefónicas.

2.4 Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)

Las líneas de transmisión sirven para conectar a las centrales de generación eléctrica, subestaciones y las líneas de distribución, ello en la medida que se encuentran alejadas unas de las otras.

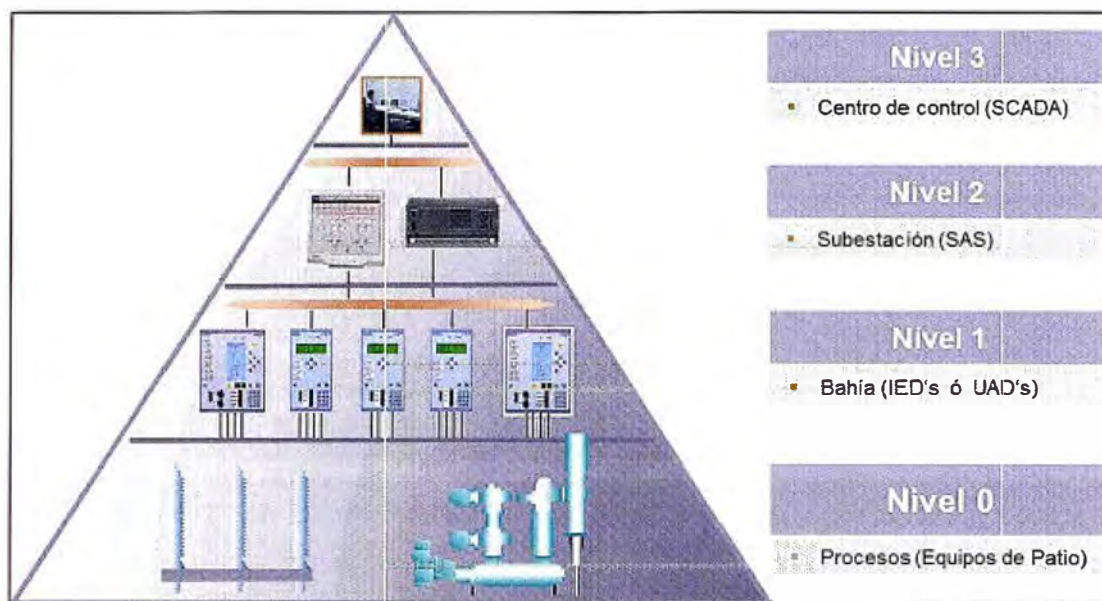


Figura 2.2 Arquitectura de los Sistemas de Automatización de Subestación

En ese sentido, cabe la posibilidad que dos poblaciones cercanas puedan tener cada una de ellas un sistema eléctrico propio, de hecho, en el caso de nuestro país, hasta el año 2000 existían dos grandes sistemas, los cuales no estaban interconectados entre sí: el Sistema Interconectado Centro–Norte (SICN) y el Sistema Interconectado del Sur (SISUR). No fue hasta noviembre del referido año, en que ambos sistemas se interconectan a través de la línea de transmisión Mantaro–Socabaya, dando origen al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (Ver Figura 2.3).

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) comprende todas las instalaciones y actividades del sector eléctrico que se encuentran conectadas a través de las líneas de transmisión.

La interconexión tiene efectos beneficiosos, de los cuales cabe resaltar:

- Mayor confiabilidad de suministro: gracias a la interconexión eléctrica, la energía que consumimos puede proceder de distintos puntos del sistema interconectado y no solo de las centrales cercanas, lo que disminuye la dependencia en determinadas fuentes o centrales eléctricas.
- Mayor eficiencia: como consecuencia de la interconexión se presenta una mejor asignación de los recursos, pues se consume, en orden de prioridad, de la energía más económica a la más costosa, accediéndose a una mayor diversificación tanto de ubicaciones como de tecnologías.
- Mayor electrificación: la interconexión permite la ampliación del suministro y, en consecuencia, la electrificación de una mayor cantidad de usuarios, así como la mayor facilidad para otros usuarios cercanos para conectarse al sistema.
- Precios menores y menos volátiles: finalmente, la mayor disponibilidad de centrales y generación económica derivará en precios menores y menos volátiles.

En la Tabla N° 2.1 se señalan las principales empresas de transmisión eléctrica que operan en el país, indicando las principales características de cada línea de transmisión del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN):

TABLA N° 2.1 Principales empresas de transmisión eléctrica

Zona	Línea	Titular	Tensión nominal (kV)	Número de temas	Longitud (km)
Norte	S.E. Malácas (Talara) - S.E. Piura Oeste	REP	220	1	103,8
	S.E. Chiclayo Oeste - S.E. Guadalupe 1	REP	220	1	83,7
	S.E. Guadalupe 1 - S.E. Trujillo Norte	REP	220	1	103,4
	S.E. Chimbote 1 - S.E. Paramonga Norte	REP	220	2	220,3
	S.E. Paramonga - S.E. Vizcarra	ETESSELVA	220	1	145,3
	S.E. Paramonga - S.E. Huacho	REP	220	2	55,6
	S.E. Huacho - S.E. Zapallal	REP	220	2	103,9
	S.E. Chavarría - S.E. Santa Rosa	REP	220	2	8,8
	S.E. Paragsha II - S.E. Huánuco	REP	138	1	86,2
	S.E. Huánuco - S.E. Tingo María	REP	138	1	88,2
	S.E. Pachachaca - La Oroya Nueva	ISA PERU	220	1	21,2
	S.E. Oroya - Carhuamayo	ISA PERU	220	1	76,1
	S.E. Carhuamayo - Paragsha	ISA PERU	220	1	43,3
	S.E. Paragsha - Vizcarra	ISA PERU	220	1	121,1
Interconexión	S.E. Campo Armiño (Mantaro) - S.E. Cotaruse	TRANSMANTARO	220	2	292,1
	S.E. Cotaruse - S.E. Socabaya	TRANSMANTARO	220	2	310,9
Sur	S.E. Cerro Verde - S.E. Repartición	REP	138	1	30
	S.E. Repartición - S.E. Mollendo	REP	138	1	55
	S.E. Quencoro - S.E. Dolorespata	REP	138	1	8,4
	S.E. Tintaya - S.E. Ayaviri	REP	138	1	82,5
	S.E. Ayaviri - S.E. Azángaro	REP	138	1	42,4
	S.E. Socabaya - S.E. Moquegua (Montalvo)	REDESUR	220	2	106,7
	S.E. Moquegua (Montalvo) - S.E. Tacna	REDESUR	220	1	124,4
	S.E. Moquegua (Montalvo) - S.E. Puno	REDESUR	220	1	196,6
Total					2509,9

Nota: orden de norte a sur

Fuente: Anuario Estadístico 2008 - MINEM

Cabe precisar que entre las principales empresas de transmisión en el país se encuentran:

a) Consorcio Transmantaro: Empresa concesionaria de la línea de transmisión eléctrica Mantaro–Socabaya para la unión de los sistemas interconectados Centro-Norte y Sur, también realiza actividades de construcción, operación y mantenimiento de redes de transmisión de energía como desarrollo de sistemas, actividades y servicios de telecomunicaciones.

b) Red de Energía del Perú (REP): Esta empresa cuenta con diversas subestaciones y kilómetros de circuitos de transmisión que unen alrededor de 19 departamentos del país incluida la interconexión entre Perú y Ecuador. Los departamentos de transmisión para las operaciones de REP son 4: departamento de transmisión norte, centro, este y sur.

c) REDESUR: Empresa concesionaria para la actividad de transmisión en el sur del país. Presta el servicio de transmisión eléctrica a las ciudades de Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno.

d) ETESSELVA: Empresa concesionaria que opera una línea de transmisión compuesta

por 3 segmentos:

- Línea de transmisión 220 kV Aguaytía - Tingo María (Línea L-2251)
- Línea de transmisión 220 kV Tingo María - Vizcarra (Línea L-2252)
- Línea de transmisión 220 kV Vizcarra - Paramonga Nueva (Línea L-2253).

2.5 COES – SINAC

El Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES - SINAC) es una entidad privada que está conformado por todos los Agentes del SEIN (Generadores, Transmisores, Distribuidores y Usuarios Libres) y sus decisiones son de cumplimiento obligatorio por los Agentes. Su finalidad es coordinar la operación de corto, mediano y largo plazo del SEIN al mínimo costo, preservando la seguridad del sistema, el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, así como planificar el desarrollo de la transmisión del SEIN y administrar el Mercado de Corto Plazo. Además, el COES es el encargado de realizar el planeamiento de la transmisión, mediante la realización de un plan vinculante (obligatorio) de transmisión.

2.6 Sistema de protección de líneas de transmisión utilizando telecomunicaciones

El objetivo de un sistema de protección en subestaciones eléctricas es reducir la influencia de una falla hasta tal punto que no afecte su funcionamiento o se produzcan daños relativamente importantes en él, ni tampoco ponga en peligro a seres humanos.

Esto sólo se puede conseguir cubriendo de una manera ininterrumpida los sistemas de potencia mediante el uso de esquemas de protección y relés de tal forma que se remueva del servicio algún elemento del sistema cuando sufre un cortocircuito o cuando empieza a operar de manera anormal.

Las protecciones trabajan en conjunto con los interruptores los cuales desconectan el equipo luego de la orden del relé.

Otra función importante de los sistemas de protección consiste en proveer la mayor información posible sobre el evento: fecha y hora, localización, tipo de falla, su magnitud y tiempos de operación de los mismos relés e interruptores. Su importancia radica en aportar los datos para estimar las causas, si existió la falla o se trata de un disparo erróneo, si es temporal o definitiva y si se reconecta o no el equipo desconectado antes de hacer más pruebas.

Por razones de estabilidad y selectividad es importante asegurar una respuesta rápida (también llamado disparo) y casi simultánea en ambos extremos de una línea de transmisión con el fin de aislar una falla en cualquier punto de la línea. Se requiere igualmente un disparo simultáneo con el fin de reducir daños en los equipos de la subestación, evitar daños en los ejes de grandes unidades térmicas y poder utilizar los recierres de alta velocidad.



Figura 2.3 Mapa del Sistema Interconectado Nacional

2.6.1 Información a Transmitir por las Protecciones

Entre los sistemas de protecciones de extremos de una línea de alta tensión deberán intercambiarse dos clases de información:

- Información de variables de estado, que serán medidas permanentemente.
- Información de órdenes, enviadas en forma instantánea y única.

Dentro del primer grupo se encuentran las protecciones diferenciales, para lo cual es necesario que los equipos de ambos extremos de línea intercambien la información en forma permanente.

La toma de decisión de las protecciones dependerá de la diferencia detectada en cada extremo, lo que se asume como representación de falla.

En este caso basta con un enlace de comunicaciones que permita el diálogo para lo cual puede utilizarse:

- Radioenlaces digitales punto a punto en SHF (típicamente información de protecciones intercambiada a 64 Kbps).
- Transmisión digital por fibra óptica (típicamente intercambiando información a 64 Kbps).
- Onda portadora sobre línea de alta tensión (intercambiando información en modo analógico hasta 9600 Bd y en modo digitales hasta 64 Kbps).

En estos casos el contenido de información es mayor que cuando solamente se transmiten órdenes (protección de distancia), por lo cual la calidad del canal de comunicaciones debe asegurar valores de SNR ≥ 20 dB en condiciones adversas o tasas de error de BER= 10^{-7} , según se trate de canales analógicos o digitales, respectivamente.

En los enlaces de comunicación analógicos vía onda portadora, el ancho del canal deberá ser de 4 KHz enteramente dedicado, para poder utilizar velocidades hasta 9600 Bd.

En los enlaces de comunicaciones digitales se dispondrá de canales PCM normalizados según UIT-T en 64 Kbps o normalizados según EIA en 56Kbps.

Dentro del segundo grupo se encuentran la protección de distancia y la de tierra direccional, para lo cual es necesario el envío de órdenes únicas e instantáneas, de un extremo al otro de la línea.

Estas órdenes pueden enviarse por la emisión de una frecuencia (tono) o por la combinación de varias frecuencias (tono codificado).

La elección de un tipo u otro dependerá de la seguridad con que se pretenda recibir la orden en el extremo opuesto y del tiempo de transmisión máximo permitido.

En este caso deberá utilizarse además del enlace de comunicaciones, equipos de teleprotección que transmitan la orden de las protecciones y efectiven el comando en el

extremo opuesto.

El contenido de información es menor que en el primer grupo (protección diferencial), por lo cual la calidad del canal de comunicaciones debe asegurar valores de $SNR \geq 15$ dB en condiciones adversas o tasas de error $BER=10^{-6}$, según se trate de canales analógicos o digitales, respectivamente.

En los enlaces de comunicaciones analógicos vía onda portadora se utilizará sólo una porción del mismo para este fin, por lo cual el valor de ruido en el canal será menor y podrán obtenerse mejores valores de SNR. Como consecuencia la velocidad de transmisión será menor que en el primer grupo, debiendo verificarse que el tiempo de transmisión sea suficiente

En los enlaces de comunicaciones digitales se utilizarán equipos de teleprotección digitales independientes (a 64 Kbps por ejemplo) o tarjetas integradas al propio equipo de comunicaciones.

2.6.2 Acción de Teleprotección

La teleprotección tiene por objeto lograr el accionamiento sincronizado de las protecciones distanciométricas de ambos extremos de línea, para cualquier ubicación del cortocircuito en el 100% de la longitud total. Permite así la efectividad del recierre monofásico (acción de apertura y cierre rápida del interruptor para disipar una falla de cortocircuito), en el tiempo muerto ajustado, ante fallas de tal tipo y de rápida acción. En el caso de fallas para las que no se permita el recierre (polifásicas), la teleprotección asegura la actuación en el tiempo mínimo, en ambos extremos de la línea.

Las diferentes condiciones de ocurrencia de órdenes se pueden visualizar en la Tabla N° 2.2.

TABLA N° 2.2 Casos de órdenes de Teleprotección

Extremo emisor	Extremo Receptor	Consecuencia
Se genera una orden	Se recibe y acepta la orden	Acción ejecutada
Se genera una orden	No se recibe el comando	Acción perdida
No se genera una orden	Se recibe un comando y se lo acepta	Acción indeseada
No se genera una orden	No se recibe una orden	No existe acción

2.6.3 Modos de Funcionamiento de la Teleprotección

Los modos de funcionamiento de sistema de teleprotección varían si el enlace de comunicaciones es analógico o digital:

a) Analógica

- **Operación:** En la operación en estado estacionario, sin órdenes de disparo de la protección, se producirá la transmisión de una frecuencia de guardia que es conveniente

que sea coincidente con la de señalización del equipo de onda portadora, de forma de aprovechar al máximo el ancho de banda de 4 kHz para transmitir el resto de la información.

Al producirse una orden proveniente de las protecciones, se deberá interrumpir la señal de guardia y se generará la frecuencia de disparo.

La ubicación de esta señal (una o varias) se superpondrá a la señal de voz (uso alternativo) en alguna de estas dos posibilidades:

- En la porción de voz de 0,3 a 2 kHz (o 2,4 kHz)
- En todo el canal de 0,3 a 3,4 kHz

Según se trate de un canal de banda partida o de un canal enteramente dedicado a telefonía.

- **Evaluación y Procesamiento de las Señales:** Debe requerirse que todo el procesamiento y análisis de:

- Emisión de señales en sí mismas
- Filtrado y depuración de órdenes
- Evaluación de la información recibida
- Valores elevados de ruido en el canal

Sea realizado en forma digital a través de un procesador, mediante la técnica DSP (procesamiento digital de señales).

Dentro de sus funciones debe incluirse la realización de un lazo de prueba automático, que en forma periódica verifique el enlace de teleprotección. Este lazo de prueba debe fundamentalmente contar con dos requisitos:

- No poder impartir disparos bajo ninguna condición.
- Poder efectuar la verificación sin sacar de servicio el enlace de teleprotección
- Realizarse periódicamente sin instrucción manual.

Adicionalmente deben requerirse un mínimo de características a los equipos de teleprotección, de forma de minimizar errores:

- En caso de existir fallas en módulos del equipo, no debe generar mal funcionamiento en el mismo.
- La extracción y/o re-inserción de cualquier módulo, no debe producir disparos falsos.
- Eventuales microcortes (flickering) de la alimentación, no deben producir disparos falsos.

b) Digital

- **Operación:** El envío de órdenes en la teleprotección digital debe realizarse mediante una transmisión full duplex a través de un canal PCM del multiplexor digital, con interfaz G.703 o X.21. Este canal del multiplexor deberá ser dedicado para cada equipo de

teleprotección.

Una alternativa del caso óptico y con el fin de evitar los riesgos de la multiplexación, se puede utilizar fibras ópticas dedicadas exclusivamente a la teleprotección e independientes del resto de información.

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

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

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

- Interfaz en el lado de protecciones (conteniendo los circuitos de entrada y salida de órdenes).
- Interfaz de línea G.703 o X.21, (para la conexión a los multiplexores del sistema de comunicaciones).
- Interfaz de fibra óptica, (en el caso de utilizar fibras dedicadas).

Es recomendable emplear ambas las interfaces para comunicaciones, dado que de esa forma es posible duplicar los caminos de envío de las órdenes con un mismo equipo de teleprotección.

2.7 Sistema de Telefonía Privada

El sistema de telefonía privado surge de la necesidad que tienen las empresas de intercomunicarse entre dependencias de la misma sede o entre sedes.

Cuando una empresa elige un sistema de telefonía busca lo siguiente:

- Unir todas las secciones o los departamentos del edificio o sedes en lugares diferentes por medio de una red de telefonía propia y que no suponga un aumento de accesos telefónicos ni del coste en el consumo telefónico.
- Reducir y racionalizar el gasto (con un número reducido de enlaces se comparte el servicio a todos los teléfonos)
- Incorporación de una serie de nuevas prestaciones (desvíos de llamadas, transferencias de llamadas, restricciones de acceso al nº de teléfonos, etc.)

2.7.1 Centra Telefónica Privada (PBAX)

Para establecer múltiples comunicaciones entre usuarios es necesario un sistema que

centralice y organice los procedimientos necesarios para llevar a cabo dichas comunicaciones, a esto se le llama central telefónica.

La central telefónica, también llamada PABX (Private Automatic Branch Exchange), es un sistema telefónico privado, que por lo general pertenece a una empresa, para permitir las conexiones entre los teléfonos internos y conectarse a la PSTN (red telefónica pública conmutada) a través de líneas troncales.

Las centrales telefónicas se unen entre ellas a través de una interconexión y señalización de usuarios de un lugar a otro y de acuerdo con un protocolo de comunicación (ver Figura 2.4).

2.7.2 Sistemas de Transmisión Telefónica

Los sistemas de transmisión telefónica pueden dividirse en analógicos, digitales e IP:

a) Telefonía Analógica

Dentro de los sistemas analógicos se encuentran los sistemas monocanales en baja frecuencia, en los que se transmite un canal telefónico (0.3 – 3.4 kHz) sin efectuar ningún tipo de proceso de señal, salvo la amplificación cuando sea necesaria, con transmisión a 2 o a 4 hilos, y los sistemas multicanales en alta frecuencia, denominados también sistema por corriente portadoras o sistemas MDF (Multiplexado por División de Frecuencia), en los que utilizando técnicas de multiplexación analógica se agrupan varios canales para su transmisión por un portador determinado, siendo sistemas a 4 hilos, físicos o equivalentes.

- **Protocolo E&M:** El sistema E&M es un protocolo de enlace entre centrales o entre centrales y equipos (por ejemplo multiplexores) que utiliza como mínimo 2 hilos de señalización y 2 hilos de audio. Se emplea para conectar varias centrales telefónicas entre sí de manera que pueden enviarse llamadas de una a otra. Se llaman E&M porque por un grupo de pares (Ear = Oído) van los datos de conexión, tiempo de llamada, etc. y por la otra (Mouth = Boca) va la voz de la llamada.

Existen 02 tipos de conexiones analógicas conocidas como FXS y FXO:

- **FXS:** La interfaz Foreign eXchange Subscriber o FXS es el puerto por el cual el abonado accede a la línea telefónica, ya sea de la compañía telefónica o de la central de la empresa. En otras palabras, la interfaz FXS provee el servicio al usuario final. Los puertos FXS son, por lo tanto, los encargados de:

- Proporcionar tono de marcado.
- Suministrar tensión (y corriente) al dispositivo final.

- **FXO:** La interfaz Foreign eXchange Office o FXO es el puerto por el cual se recibe a la línea telefónica. Los puertos FXO cumplen la funcionalidad de enviar una indicación de colgado o descolgado conocida como cierre de bucle.

b) Telefonía Digital

En los sistemas digitales se realiza una multiplexación en el tiempo MDT (Multiplexado por División en el Tiempo). Para lo cual se codifican las señales correspondientes a los distintos canales a transmitir, asignándole a cada código un tiempo determinado en base al régimen binario con el que se pretenda realizar la transmisión.

Las PBAX digitales disponen de mecanismos de interconexión más sofisticados. Son habituales los enlaces mediante líneas digitales E1 (2 Mb/s) o T1 (1.5 Mb/s).

c) Telefonía IP

La telefonía IP, es un servicio de telecomunicaciones que posibilita a cualquier usuario efectuar llamadas telefónicas sobre redes que utilizan el protocolo de comunicación IP

Las centrales telefónicas IP convierten la voz en paquetes de datos y estos son transmitidos por las redes Ethernet. A esta aplicación se le conoce como voz por IP (VoIP), donde el número IP (Protocolo de Internet) es la dirección que identifica a cada dispositivo dentro de la red.

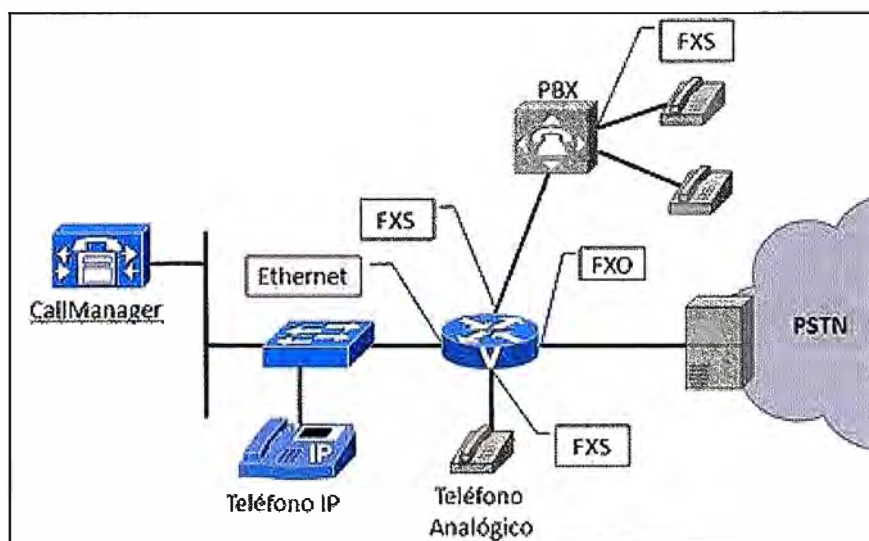


Figura 2.4 Sistema de Telefonía

2.8 Normas Aplicables en el Diseño de Equipos de Onda Portadora

Los módulos y equipos componentes de los sistemas de onda portadora deben ser diseñados, fabricados y sometidos a pruebas bajo de acuerdo con las normas IEC o sus equivalentes ANSI vigentes:

- IEC 60495: "Single sideband power-line carrier terminals"
- IEC 60663: "Planning of (single – sideband) power line carrier systems"
- ITU-T / Recomendación V.24: "Lista de definiciones para los circuitos de enlace entre el equipo terminal de datos y el equipo de terminación del circuito de datos"
- IEC 60834: "Teleprotection equipment of power systems – Performance and testing"

- IEC 60255: "Electrical relays"
- IEC 60481: "Coupling devices for power line carrier Systems"
- IEC 60353: "Line traps for a.c. power systems"
- IEC 61000: "Electromagnetic Compatibility (EMC)"
- CCIR: "Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones"
- CCITT: "Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía"
- UIT: "Unión Internacional de Telecomunicaciones"

2.9 Modulación en banda lateral única y portadora suprimida (SSB)

La modulación en banda lateral única (BLU) o (SSB) (del inglés *Single Side Band*) es una evolución de la modulación AM. La portadora se suprime en su totalidad y se quita una de las bandas laterales (ver Figuras 2.5 y 2.6). Sus principales ventajas son:

Se requiere la mitad del ancho de banda que en la modulación AM convencional, y bastante menos potencia de transmisión.

El 100% de la potencia transmitida corresponde a la potencia de la banda lateral.

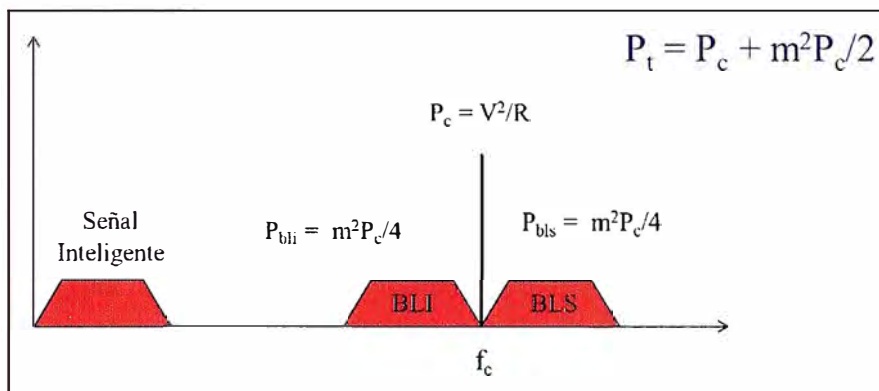


Figura 2.5 Espectro de una señal AM

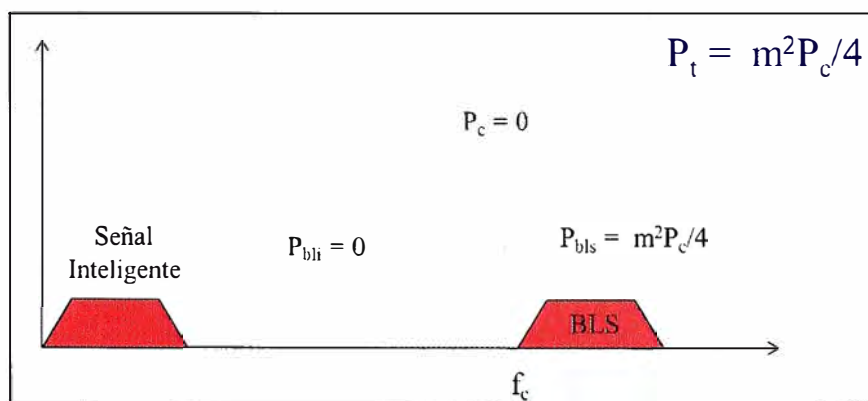


Figura 2.6 Espectro de una señal SSB

2.10 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM)

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales (en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias (ver Figura 2.7), donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o PSK.

La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente al desvanecimiento debido a las condiciones meteorológicas y frente a las interferencias de RF.

Debido a las características de esta modulación, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen positivamente a la recepción, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia.

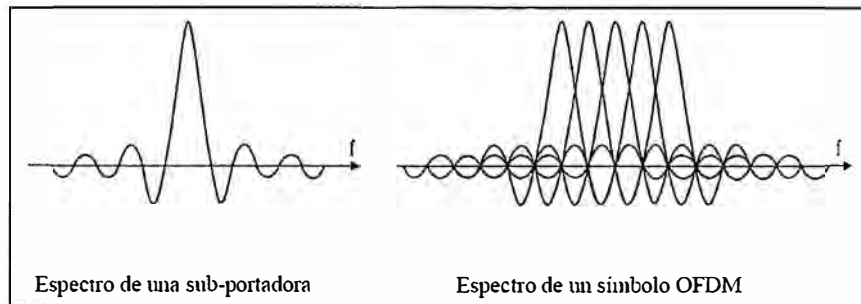


Figura 2.7 Espectro de una señal SSB

2.11 Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

La modulación de amplitud en cuadratura (conocida también como QAM por las siglas en inglés de Quadrature amplitude modulation) es una técnica digital que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora, tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje (ver Figura 2.8). Esto supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora en eficiencia de ancho de banda que se consigue con esta modulación.

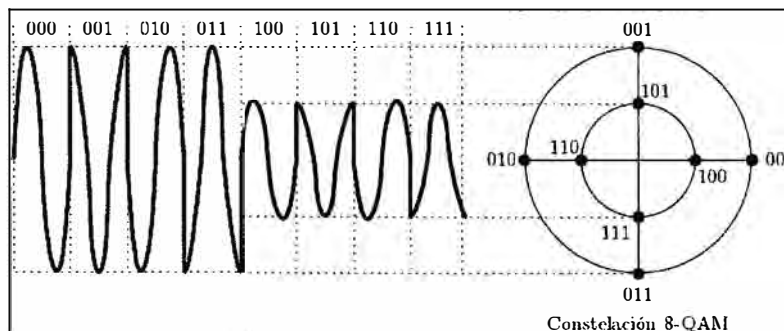


Figura 2.8 Espectro de una señal SSB

2.12 Señal Piloto

En las telecomunicaciones, una señal piloto es una señal, por lo general de una sola frecuencia, transmitida a través de un sistema de comunicaciones para la supervisión, el control, la ecualización, la continuidad, la sincronización, o con fines de referencia.

2.13 Sistemas de Comunicaciones por Onda Portadora

Considerando la existencia de la línea de transmisión que une entre sí dos subestaciones eléctricas y que requiere un intercambio de información, fue desarrollado

el sistema de onda portadora por línea de alta tensión (Power Line Carrier o PLC) que hace uso de la misma línea de alta tensión como medio de telecomunicaciones.

Los campos de aplicación más importantes de esta técnica son (ver Figura 2.8):

- La comunicación entre subestaciones en las que no existe una conexión de fibra óptica o no sería rentable.
- Sistema principal o de respaldo para la transmisión de señales de teleprotección en paralelo a una línea de fibra óptica.

El sistema de onda portadora presenta las siguientes características:

- Confiabilidad: El empleo de una línea de transmisión de energía diseñada de una manera muy estricta brinda una alta confiabilidad del soporte físico de transmisión del sistema de comunicaciones.
- Costo: Debido a la existencia del medio físico de intercambio de información como son las líneas de transmisión, la implementación del sistema de onda portadora es económica, sobre todo cuando el volumen de información a transmitir es bajo.
- Mantenimiento: Los equipos constitutivos de un sistema PLC son relativamente sencillos lo que permite que el mantenimiento no se muy dificultoso. Adicionalmente, las subestaciones donde se ubican los equipos cuentan con propia infraestructura y su acceso es sencillo.

2.13.1 Modo de transmisión

Las señales de comunicaciones se transmiten utilizando el método de banda lateral única (modulación de amplitud) con portadora suprimida, presenta las siguientes ventajas:

- Alcanza grandes distancias debido a la máxima utilización de la energía del transmisor para la transmisión de señales
- Emplea el menor ancho de banda posible y por lo tanto una utilización óptima del espectro de frecuencias.

Para la modulación digital, se utiliza la modulación OFDM. La información a transmitir se divide en bloques (de aprox. 700 bit). A continuación, la información de un bloque es distribuido a portadoras individuales. Cada portadora es modulada en QAM.

Las características del canal de transmisión como el SNR y la respuesta en frecuencia no son constantes con la frecuencia. La modulación OFDM hace posible la transmisión de la mayor información en las frecuencias con una elevada SNR, y menos (o ninguna) información en las frecuencias con SNR ruido baja.

2.13.2 Uso de frecuencias

La comunicación se lleva a cabo en el rango de frecuencia de 24 kHz a 500 kHz. Las posiciones de las bandas de frecuencia de transmisión y recepción operarán tanto en

bandas contiguas como con separación de bandas dependiendo de la disponibilidad del espectro de frecuencias.

El ancho de banda de HF puede ser seleccionado de 2 kHz hasta 32 kHz, y es dividido a través del equipo terminal de onda portadora, vía software, en sub-canales para los servicios a transmitir.

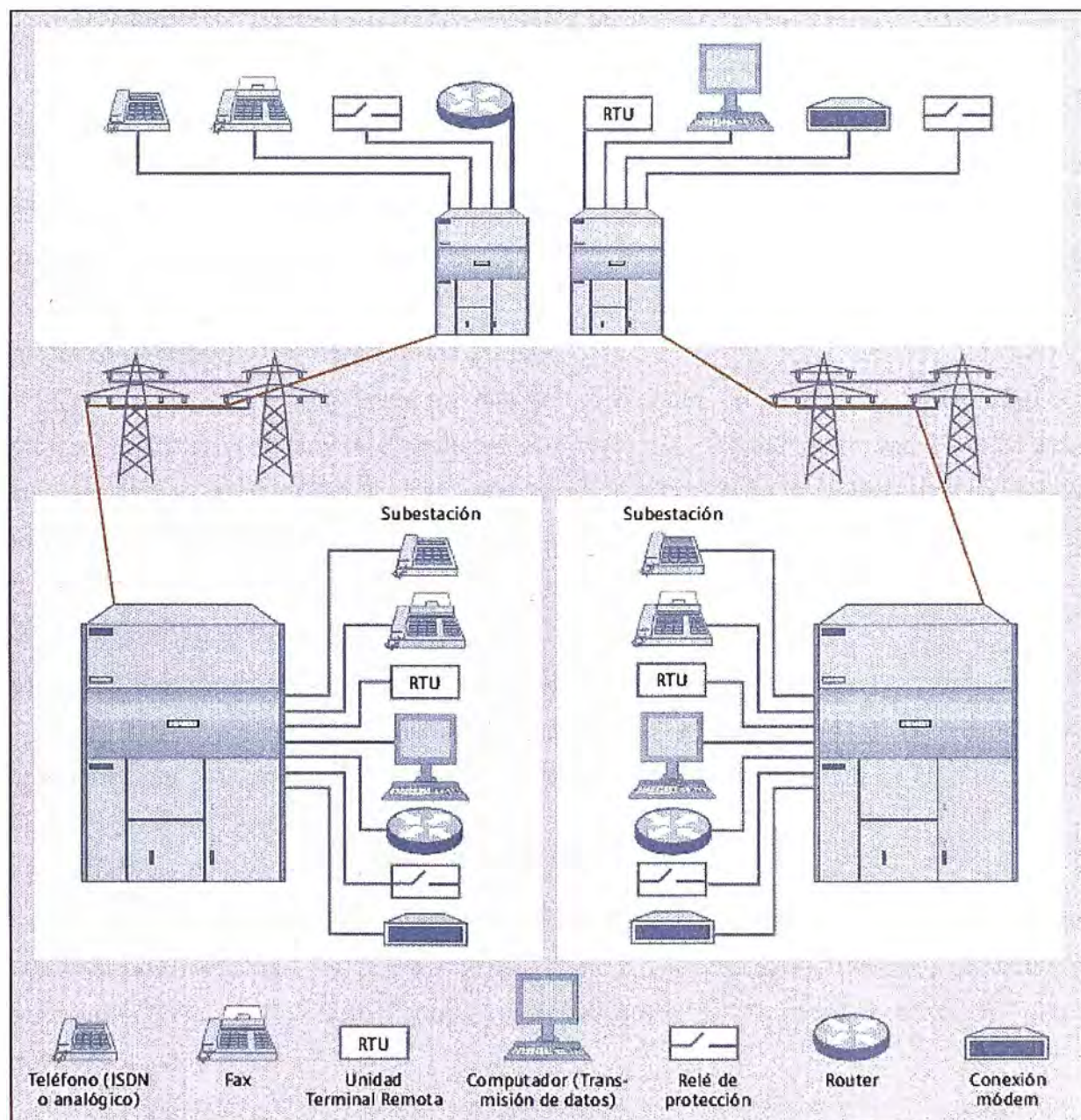


Figura 2.9 Aplicación de los Sistemas de Onda Portadora

2.13.3 Adaptación óptima a las condiciones de transmisión

El sistema de onda portadora depende fuertemente de las características eléctricas de la línea de transmisión y de sus parámetros por lo que las características de sus equipos deben coincidir con las características propias de la línea de alta tensión. Además pueden presentar altos niveles de interferencia y atenuación debido a líneas de transmisión muy largas las cuales están sujetas a diversas condiciones de temperatura,

humedad, viento, hielo etc. Para contrarrestar estos efectos, los equipos terminales de onda portadora cuentan dispositivos de transmisión potentes los cuales pueden ajustarse y adaptarse a las necesidades exactas de la ruta de transmisión, además permiten adaptar y priorizar la cantidad de datos a transmitirse, asegurando la transmisión a través de los canales más importantes incluso en condiciones climáticas desfavorables.

Los ajustes de frecuencia, así como los niveles, deben ser programables. Deberá estar implementado un ajuste automatizado de frecuencias acorde a los servicios definidos, como así también, una distribución automática de la potencia total disponible para cada señal o servicio individual. La frecuencia piloto deberá ser automáticamente seleccionada por el equipo de onda portadora y no en forma manual, con el objetivo de garantizar un uso óptimo del ancho de banda establecido. Se define los siguientes conceptos:

a) Control automático de ganancia (AGC)

Cuando se utiliza una línea de alta tensión como un medio de transmisión, la atenuación del enlace de comunicaciones está en función del estado de red eléctrica y de las condiciones meteorológicas. Las variaciones resultantes en la atenuación tienen que ser compensadas por el receptor a través del control automático de ganancia (AGC, Automatic Gain Control). La desviación de la amplitud de la señal de piloto es utilizada como la variable de control.

b) Control automático de frecuencia (AFC)

Las desviaciones de frecuencias entre la señal de envío y recepción son compensadas por el control automático de frecuencia (AFC, Automatic Frequency Control) en dispositivo de recepción.

c) Ecuilización automática de canales (ACE)

Distorsiones de atenuación pueden surgir dentro de un canal transmisión debido a la respuesta de frecuencia de la línea de transmisión. Se emplean ecualizadores de línea para compensar estas distorsiones. La ecualización de línea se realiza de forma automática en la recepción.

Con la ecualización automática de canales (ACE, Automatic Channel Equalization), las características de frecuencia del medio de transmisión se miden y son compensados. Para los canales de voz y datos, la ecualización se lleva a cabo por separado. El canal de voz se ecualiza completamente de forma automática, incluso cuando las características de la línea de alta tensión cambian, por lo que siempre hay un canal de transmisión de óptimo disponible.

d) Compresión de voz

La compresión de voz es imprescindible para conseguir un buen aprovechamiento de

la red. Pero la calidad no debe verse afectada, razón por la cual los equipos de onda portadora permite ajustar la velocidad de datos a las exigencias de cada caso.

Para evitar que se perjudique la calidad de la voz, la banda comprimida de voz se transmite de modo transparente a los terminales conectados en línea sin realizar más compresiones ni descompresiones.

e) Cancelador Automático de Diafonía (AXC)

En los equipos de onda portadora, una parte de la señal de transmisión es reflejada hacia la entrada o recepción del sistema. Este efecto es preocupante sobre todo en la operación de las bandas adyacentes de transmisión y recepción. Para reducir dicho efecto y evitar interferencias en la señal de recepción, la función AXC (Automatic Crosstalk Canceller) está integrado en el módulo procesador de los equipos de onda portadora y permite una adaptación continua para cambios de las condiciones de la línea.

2.14 Componentes del Sistema de Onda Portadora

El sistema de onda portadora por línea de alta tensión está conformado por los siguientes equipos (ver Figura 2.8):

- Equipos terminales de onda portadora
- Trampas de Onda.
- Condensadores de Acoplamiento.
- Unidad de Acoplamiento.
- Cable coaxial.

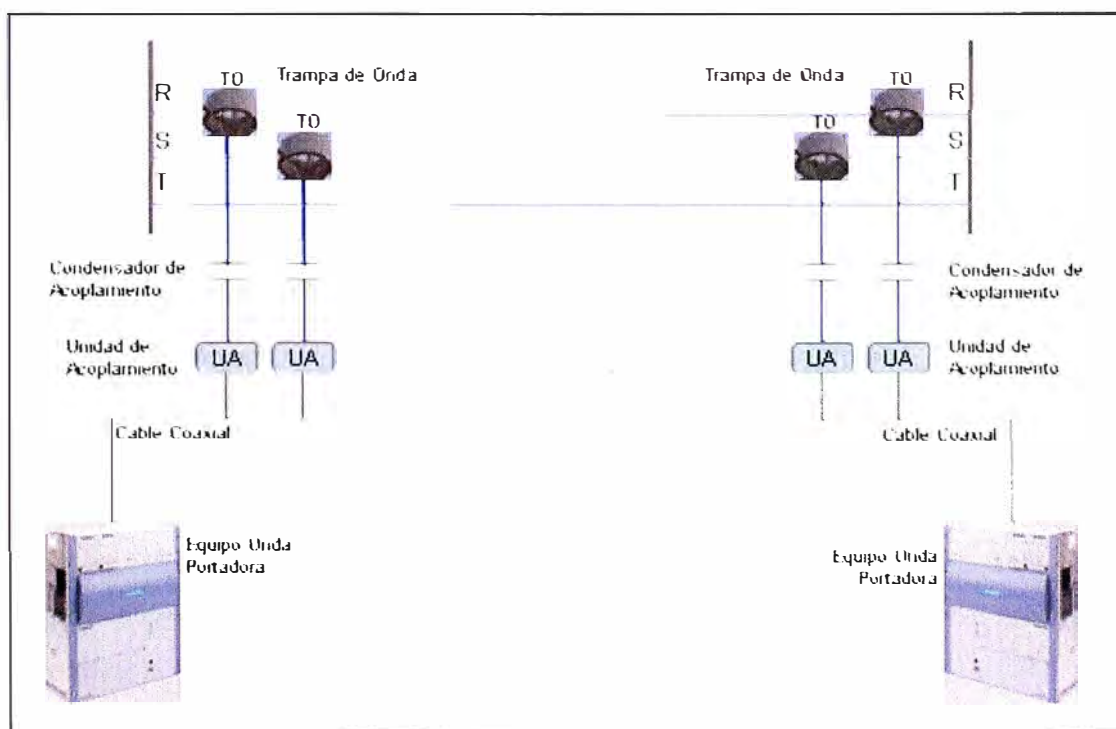


Figura 2.10 Componentes del Sistema de Onda Portadora

Las prestaciones de cada uno de los equipos y elementos antes mencionados,

deberán cumplir con los lineamientos de las normas IEC respectivas:

- IEC 60353.
- IEC 60358.
- IEC 60481.
- MIL C17.
- IEC 60495.

Todos los equipos y elementos deben estar diseñados para que, más allá de las especificaciones técnicas de las normas aplicables, permitan obtener las siguientes prestaciones:

a) Disponibilidad

Deberán poseer altos valores de MTBF (tiempo medio entre fallos) y de ser necesario, componentes duplicados.

b) Flexibilidad

El sistema deberá ser capaz de adecuarse fácilmente a cambios y adecuaciones que se generen en el futuro y al crecimiento del mismo.

c) Seguridad

El sistema estará diseñado para evitar la pérdida del enlace de onda portadora, aceptándose, en el peor caso, la degradación de las características del mismo antes que su pérdida definitiva.

d) Experiencia de uso

Deberá requerirse que el equipamiento sea de diseño y uso comercial, tal que se encuentre dentro de las condiciones de seguridad:

- Poseer un mínimo de tiempo de uso comercial comprobado.
- No constituir un diseño y/o tecnología de antigua generación.

También se debe contar con los protocolos de prueba requeridos por la normativa antes mencionada, realizados en laboratorios independientes de reconocido prestigio internacional.

2.14.1 Equipo Terminal de Onda Portadora

El equipo de onda portadora es un terminal multiservicio que permite la operación conjunta de interfaces analógicas y digitales en el mismo sistema. Prima la disposición optimizada de servicios, dentro del ancho de banda total, por sobre las aplicaciones monocal o bicanal y es apto para la transmisión de teleprotección, control, voz, y datos sobre líneas de transmisión de alta tensión.

En estos equipos se realiza toda la configuración del sistema de onda portadora, tales como:

- Definición de las frecuencias de operación y ancho de banda

- Servicios digitales y analógicos a transmitir
- Ecuación de canal
- Ajuste de niveles de potencia de transmisión y recepción
- Umbrales de alarma.

En los equipos de onda portadora se puede distinguir a los sistemas analógicos (aPLC) y los sistemas digitales (dPLC). Los sistemas digitales permiten un aprovechamiento más eficaz de la banda de frecuencias, mientras que los sistemas analógicos ofrecen ventajas en las peores condiciones de transmisión (baja relación señal a ruido, bajo nivel de potencia de recepción, etc.). Al combinar ambos sistemas se obtiene gran flexibilidad en la red de comunicaciones ya que permite para transmitir los servicios que requieran en el marco del ancho de banda y la velocidad de transmisión disponibles.

Las características mínimas para especificar a los equipos de onda portadora son:

- Potencia de Salida
- Banda de frecuencia de operación.
- Impedancia característica de la salida de RF.
- Atenuación de retorno dentro del rango de frecuencia.
- Sensitividad del receptor.
- Velocidad de transmisión.
- Diafonía.
- Servicios a transmitir (datos síncronos, asíncronos, telefonía o teleprotección)

El equipo de onda portadora está formado por los siguientes componentes (ver Figura 2.10):

a) Módulo Central de Procesamiento de Señales (CSP)

El módulo de CSP es el componente central del equipo de onda portadora y tiene las siguientes funciones:

- Procesamiento digital de señales: Cumple la función de modulación, transmisión de datos y procesamiento de datos digitales y analógicos (a través de convertidores A/D y D/A).
- Unidad de control: Conformado por el micro controlador, la memoria, el reloj en tiempo real (RTC) y la memoria de eventos no volátil.
- Interfaz de datos: El cual puede ser programado para la transmisión de datos síncronos (X.21 y G703.1), datos asíncronos (RS232) o transmisión TCP / IP.
- Salida analógica de alta frecuencia (HF): Envía la señal de salida de HF a los módulos de transmisión.
- Entrada analógica: Recibe y procesa la señal entrada proveniente del módulo de

recepción.

La bomba de datos es otra función del módulo CSP, esta tiene tres modos de trabajos:

- Óptimo: Realiza la mejor adaptación del camino de transmisión y así garantiza la tasa de bits más alta.
- Rápido: Garantiza el tiempo más rápido para la sincronización.
- Dinámico: Se adapta a las condiciones del enlace.

El módulo CSP con el fin de asegurar que no se tengan desviaciones de frecuencias, realiza un control automático de frecuencia de tal manera que desviaciones de frecuencias entre la señal de envío y la señal de recepción son compensadas por este control.

b) Multiplexor Versatil (vMux)

El módulo vMUX es un multiplexor versátil integrado dentro del equipo de onda portadora el cual recopila diferentes servicios de datos y voz, permite comprimirlos para luego transmitirlos a través de PLC.

El vMUX también es un multiplexor estadístico con control de prioridad mediante el cual los canales de datos pueden transmitirse en el modo de "garantizado" (los canales siempre se transmiten) o en el modo "mejor esfuerzo" (los canales serán transmitidos si hay capacidad de transmisión disponible) logrando así el aprovechamiento óptimo de la capacidad de transmisión disponible. El control de prioridad garantiza una transmisión segura de los canales de datos síncronos y asíncronos más importantes, así como de los canales de voz incluso en condiciones ambientales desfavorables.

El multiplexor versátil integrado en el terminal de onda portadora cuenta con las siguientes funciones:

- Transmisión de datos asíncronos (RS232)
- Transmisión de datos síncronos (X.21 y/o G703.1)
- Transmisión de datos Ethernet (TCP / IP)
- Transmisión de datos analógicos

c) Módulos de Interfaces de voz (VFx)

Los módulos de interfaces analógica VFx son usados para la conexión de señales analógicas en rango de frecuencias desde 300 Hz hasta un máximo de 3840 Hz.

Los siguientes equipos de comunicaciones pueden ser conectados a través de los módulos VFX:

- Sistemas PABX de 2 y 4 hilos con señalización E&M a través de enlaces independientes.
- Sistemas PABX de 2 hilos con señalización a través del enlace de voz FXO

- Terminal de abonado FXS de 2 hilos
- Modem de datos de 4 hilos
- Señales de equipos de teleprotección de 04 hilos.

d) Unidad de Procesamiento de Teleprotección (PU)

Es el módulo de control central del equipo de teleprotección integrado. Al recibir los comandos de teleprotección provenientes del relé a través del módulo de interfaz de comandos (IFC) los convierte en tonos de una frecuencia definida que luego son enviados al módulo CSP para finalmente ser transmitidos al otro extremo de la línea de transmisión por medio del enlace de onda portadora. En el extremo de recepción se reciben las órdenes entrantes, son convertidas por el modulo PU en órdenes de protección "binarios" y enviados al módulo IFC para la salida del comando hacia el relé.

Además de la función de codificación y decodificación de la señales de teleprotección, el módulo PU también realiza diversas funciones de monitoreo. En un estado de operación normal de la línea de transmisión no hay comandos de teleprotección a transmitir por lo que una señal de guarda es enviada a la subestación remota.

La pérdida de la señal de guarda dispara una alarma en el extremo receptor y hace que las salidas de relé del equipo se bloqueen. Este estado de alarma sólo puede ser cancelado mediante la recepción de la señal de guarda nuevamente.

e) Módulo de Interfaz de Comandos (IFC)

La interfaz de comandos de teleprotección posee 4 entradas binarias para recibir información de los dispositivos de protección. Además cuenta con 4 interruptores de bobina o relés que operan para retransmitir las señales de teleprotección provenientes de la subestación remota hacia los relés de protección.

f) Modulo Amplificador de Transmisión (AMP)

En este módulo se amplifica la potencia de la señal proveniente del módulo CSP para luego ser enviado al filtro de transmisión de línea.

Para evitar una sobre modulación a la salida del amplificador se conducen los valores de tensión y corriente a una sección del circuito donde el exceso de los valores límites estipulados son detectados. En dicho caso, se activa un bucle de regulación que actúa fijando la señal de salida del amplificador a un valor máximo permitido.

g) Filtro de Transmisión de Línea (TXF)

La función del filtro de línea es proteger al módulo amplificador de transmisión de la inducción generada por otros transmisores en la misma línea y de las señales de impulsos peligrosos.

h) Transformador de Línea (LT)

El módulo LT consiste básicamente en el transformador de línea, un transformador de

filtro, un divisor de voltaje. Su función es adaptar las señales para el módulo de recepción (RXF) y permitir tomar mediciones seguras de la señal de transmisión.

i) Módulo Receptor (RXF)

Su función es seleccionar las señales de HF, a ser procesadas por el modulo CSP, solo en la banda de recepción.

El módulo receptor RXF está conformado por un filtro de recepción de HF y un amplificador de HF. Además contiene un transformador en la entrada del circuito que asegura que la impedancia del filtro esté adaptada y que los circuitos del filtro estén conectados a tierra por un polo aislándose eléctricamente de las diferentes tensiones de tierra de la salida del transformador de Línea (LT). También cuenta con diodos limitador es en la entrada del circuito para proteger el módulo receptor contra tensiones de impulsos de alta potencia de las líneas de transmisión.

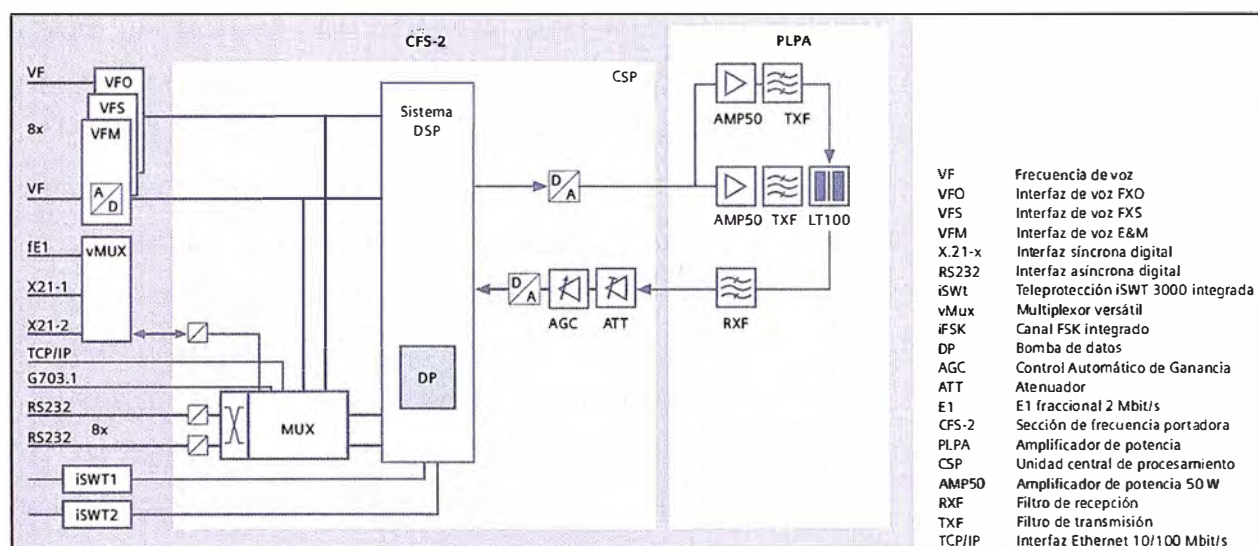


Figura 2.11 Diagrama de Bloques del Equipo Terminal de Onda Portadora.

2.14.2 Trampas de Onda

Las trampas de onda, también llamadas bobinas de bloqueo, son dispositivos que se conectan en serie en las líneas de alta tensión. Su impedancia, a la frecuencia asignada, debe ser despreciable de tal forma que no perturbe la transmisión de energía; pero debe ser relativamente alta para cualquier banda de frecuencia utilizada para comunicación por onda portadora. Por lo general, el rango de frecuencia utilizado para la comunicación por onda portadora es de 24 kHz – 500 kHz. La selección se realiza de acuerdo con las frecuencias ya usadas por la compañía de servicios y con la longitud de la línea.

La función principal de estos equipos es bloquear las señales transportadas en la portadora para que sólo pasen al equipo de comunicaciones y prevenir el paso de estas señales a la subestación.

Los requerimientos de bloqueo de la bobina están definidos por la impedancia característica de la línea de transmisión en la cual se instala el equipo de

comunicaciones. Dichos requerimientos de bloqueo se pueden especificar en términos de:

- Impedancia de bloqueo Z_b : Impedancia compleja de la bobina de bloqueo para un rango específico de frecuencia portadora.
- Resistencia de bloqueo R_b : Valor de la componente resistiva de la impedancia de bloqueo.

La trampa de onda consiste en una bobina principal, un pararrayos y un dispositivo de sintonización. En la Figura 2.11 se muestra el esquema con los diferentes componentes de una trampa de onda.

La bobina principal es una inductancia por la cual circula la corriente del circuito o línea de transmisión, a la frecuencia industrial.

El pararrayos protege a la trampa de onda contra sobretensiones transitorias que puedan presentarse a través de ella. Se conecta en paralelo con el dispositivo de sintonía y la bobina principal.

El equipo de sintonía sirve para obtener una impedancia de bloqueo para una o más frecuencias o para bandas de frecuencia.

Las trampas de onda se pueden montar de las siguientes formas:

- Suspendidas por cadenas de aisladores de los pórticos de las subestaciones.
- Sobre aisladores de poste.
- Sobre transformadores de tensión tipo capacitivo.

Las normas técnicas que se utilizan generalmente como base para la especificación de las trampas de onda son:

IEC 60353 Line Traps for a.c. power systems.

ANSI C93.3 Requirements for Power-Line Carrier Line Traps.

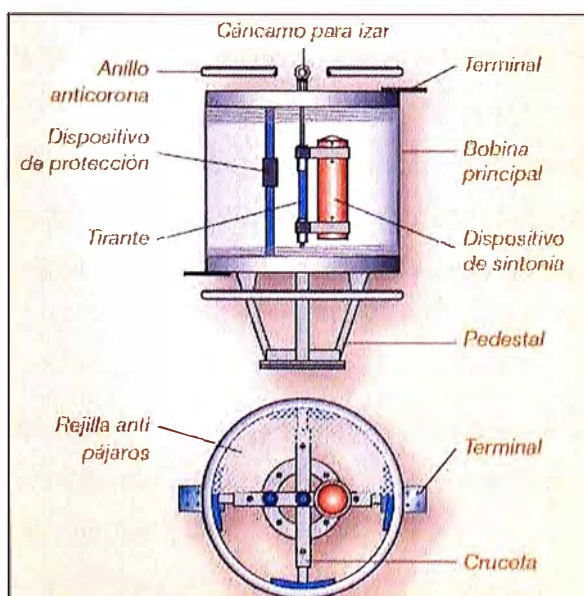


Figura 2.12 Componentes de la Trampa de Onda

Las características mínimas para especificar en las trampas de onda son:

- Voltaje nominal.
- Corriente permanente asignada.
- Inductancia.
- Banda de frecuencia a bloquear.
- Resistencia de bloqueo mínima.
- Corriente pico

2.14.3 Condensadores de Acoplamiento

El condensador de acoplamiento es el elemento que permite inyectar o acoplar señales de telecomunicaciones de alta frecuencia en las líneas de alta tensión y asimismo tomarlas de la misma, por lo cual su impedancia debe ser mínima a estas frecuencias. A la frecuencia del sistema de potencia (60 Hz) su impedancia es elevada.

Los transformadores de tensión capacitivos pueden cumplir las funciones de transformador de tensión y de condensador de acoplamiento.

Las características mínimas para especificar en los condensadores de acoplamiento son:

- Capacitancia nominal.
- Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial, 1 min
- Tensión de sostenimiento al impulso 1,2/ 50 μ s
- Banda de frecuencia.

2.14.4 Unidad de Acoplamiento

La Unidad de acoplamiento es un dispositivo constituido por un conjunto de elementos pasivos, que en conjunto con el condensador de acoplamiento forman un filtro sintonizado pasa alto y que dependiendo del valor del condensador de acoplamiento tiene una frecuencia de corte y permite la máxima transmisión de energía útil de la señal de HF (ver Figura 2.12).

Permite que la impedancia del sistema de potencia (del orden de 500 ohms) se acople a la impedancia del equipo terminal de onda portadora (del orden de 75 ohms).

Adicionalmente cuenta con los dispositivos para protección de sus elementos internos evitando la mayoría de las descargas y sobre tensiones hacia el equipo de comunicaciones.

Este dispositivo de acoplamiento va situado entre el condensador de acoplamiento y el cable de RF que une al terminal de onda portadora. Dicho dispositivo, asociado con el condensador de acoplamiento nos asegura:

- Una transmisión eficaz de señales portadoras entre el circuito de conexión, o cable de R.F. y la línea de energía.

- La seguridad del personal y la protección del equipamiento de baja tensión de la subestación contra los efectos de la tensión a la frecuencia de red eléctrica y las sobretensiones provocadas por cualquier tipo de disturbio. Está conformado por los siguientes elementos:

a) Unidad de Sintonía

Destinada a compensar la componente reactiva de la impedancia de los condensadores de acoplamiento de forma que se favorezca la transmisión eficaz de las señales a las frecuencias portadoras.

b) Transformador de Acoplamiento

Es el elemento que permite la adaptación de impedancias entre la línea de energía y el cable de R.F. así como proporcionar aislamiento galvánico entre los bornes primarios y secundarios del dispositivo de acoplamiento. Algunas veces, el primario de este transformador sirve para drenar a tierra la corriente a la frecuencia de la red, funcionando como bobina de drenaje.

c) Bobina de Drenado

Es el elemento que efectúa la conducción a tierra de la corriente a la frecuencia de la red, derivada por los condensadores de acoplamiento.

d) Descargador Primario

Efectúa la limitación de las sobretensiones transitorias que provienen de la línea de energía y que se presentan en los bornes del dispositivo de acoplamiento. Algunas veces se colocan descargadores de gas en el secundario del transformador de acoplamiento para disminuir las sobretensiones hacia el equipo.

e) Cuchilla de Tierra

Es el elemento que nos asegura la puesta a tierra directa y eficaz de los bornes primarios del dispositivo de acoplamiento para efectos de mantenimiento y pruebas.

Las características mínimas para especificar en las unidades de acoplamiento son:

- Pérdida de inserción máxima.
- Pérdida de retorno mínima.
- Banda de frecuencia.
- Tipo de acoplamiento
- Impedancia hacia el lado de la línea de transmisión
- Impedancia hacia el lado del terminal de onda portadora

2.14.5 Cables de Alta Frecuencia o RF

Los cables de RF permiten la conexión del equipo terminal de onda portadora (ubicado normalmente en una caseta o sala eléctrica) y los elementos de acople (ubicados en la parte externa de la subestación). Pueden ser de 75 ohm ó 150 ohm,

adicionalmente deberá tener buena robustez mecánica para soportar las difíciles condiciones ambientales de operación.

Las características mínimas para especificar en los cables de alta frecuencia son:

- Impedancia característica.
- Tipo de Armadura.
- Atenuación máxima dentro del rango de frecuencias.

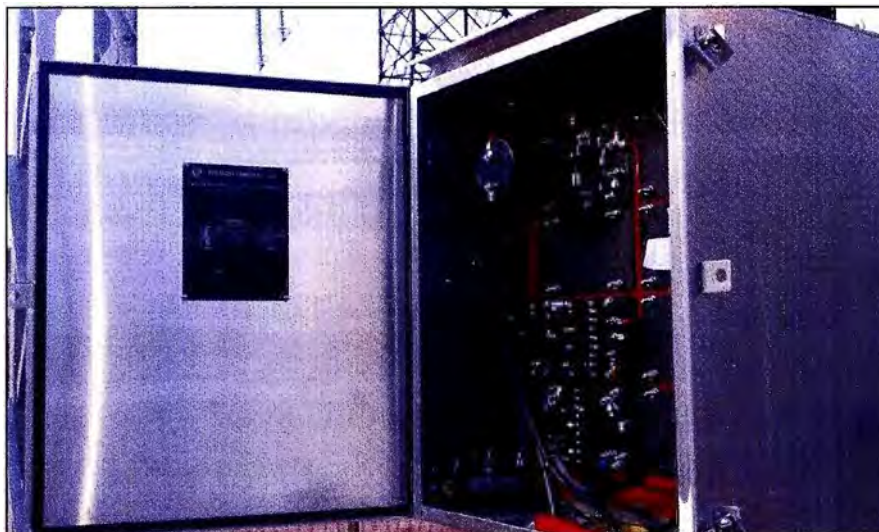


Figura 2.13 Unidad de Acoplamiento

2.15 Tipos de Acoplamiento en Enlaces de Onda Portadora

La elección de la configuración de los acoplamientos deberá realizarse teniendo en cuenta el grado de seguridad con que se prevé transmitir la información de acuerdo a:

- La importancia de la línea que se prevé proteger.
- La importancia del sistema eléctrico al cual pertenece.

Se tienen las siguientes configuraciones de acoplamiento:

2.15.1 Acoplamiento Fase a Tierra

Se caracteriza por enviar las señales de comunicaciones a través de sólo una las fases de la línea de transmisión (ver Figura 2.13).

El acoplamiento fase a tierra presenta como principal inconveniente que en caso de falla de uno de los elementos que forman parte del enlace de onda portadora en cualquiera de las subestaciones extremas de la línea, se pierde totalmente el medio de comunicación.

En general, se prefiere utilizar este tipo de acoplamiento donde la línea puede permanecer relativamente estable aun sin transmitirse un disparo de teleprotección.

Respecto del tema interferencia, esta forma de acoplamiento es más afectada que el caso de un acoplamiento fase a fase.

Las condiciones de instalación son más simples y más rápidas que en los tipos fase – fase o intersistema.

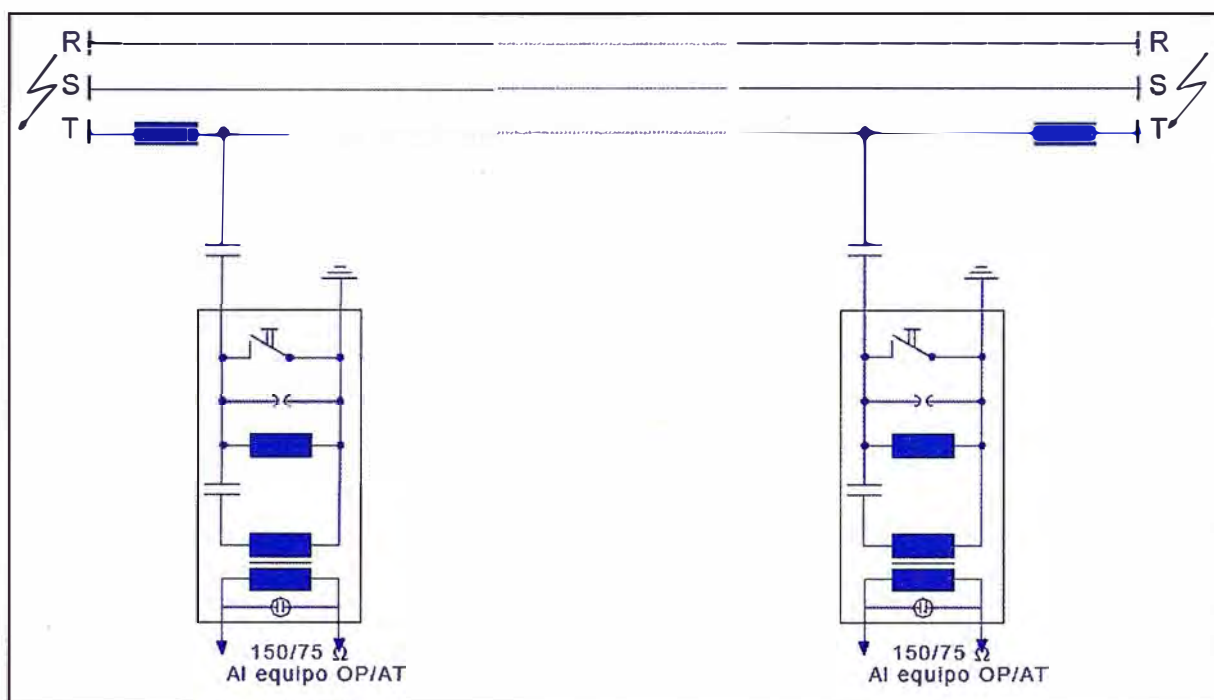


Figura 2.14 Acoplamiento Fase a Tierra

2.15.2 Acoplamiento fase a fase

Este tipo de acoplamiento es utilizado en líneas de gran importancia, donde el efecto de su costo no será determinante en su elección. Se caracteriza por enviar las señales de comunicaciones a través de dos fases de la línea de transmisión (ver Figura 2.14).

Su instalación es más compleja, pero presenta la gran ventaja que en caso de falla en alguno de los elementos del enlace de comunicaciones, así como de fallas por puesta a tierra en una de las fases, solamente se incrementa la atenuación y consecuentemente empeora la relación señal a ruido (SNR) pero sin pérdida del medio de comunicación.

Presenta una baja atenuación y es menos afectada por interferencias, lo que hace que posea mayor seguridad y sea recomendable su uso en la mayoría de las instalaciones.

La disposición de montaje más conveniente resulta la de dos filtros de acoplamiento independientes en configuración fase a tierra, con sus cables coaxiales independientes tendidos hasta el transformador balanceador ubicado en la Sala de Comunicaciones, próximo o dentro de los gabinetes de los equipos de OP. Esta solución presenta ventajas con respecto a ubicar el transformador en el exterior ya que mantiene la independencia de los circuitos hasta llegar a los equipos de OP.

2.15.3 Acoplamiento inter-circuito

Este tipo de acoplamiento podrá ser utilizado en el caso de una doble terna (ver Figura 2.15). Deberá adoptarse una de estas dos variantes:

- Un acoplamiento fase a tierra en cada una de las dos líneas, pero balanceados entre ellos como si fuera un acoplamiento fase a fase.

- Un acoplamiento fase a fase en cada una de las dos líneas, pero balanceando entre ellos como si fuera un doble bifásico.

La elección de una u otra configuración dependerá de la necesidad de seguridad en la transmisión de la información de esas líneas de transmisión.

La principal ventaja del acoplamiento inter-circuito radica en que si se transmite la información de ambas líneas por el sistema de onda portadora así configurado, se tendrá permanente comunicación aunque una de las dos líneas se encontrara fuera de servicio (redundancia de envíos).

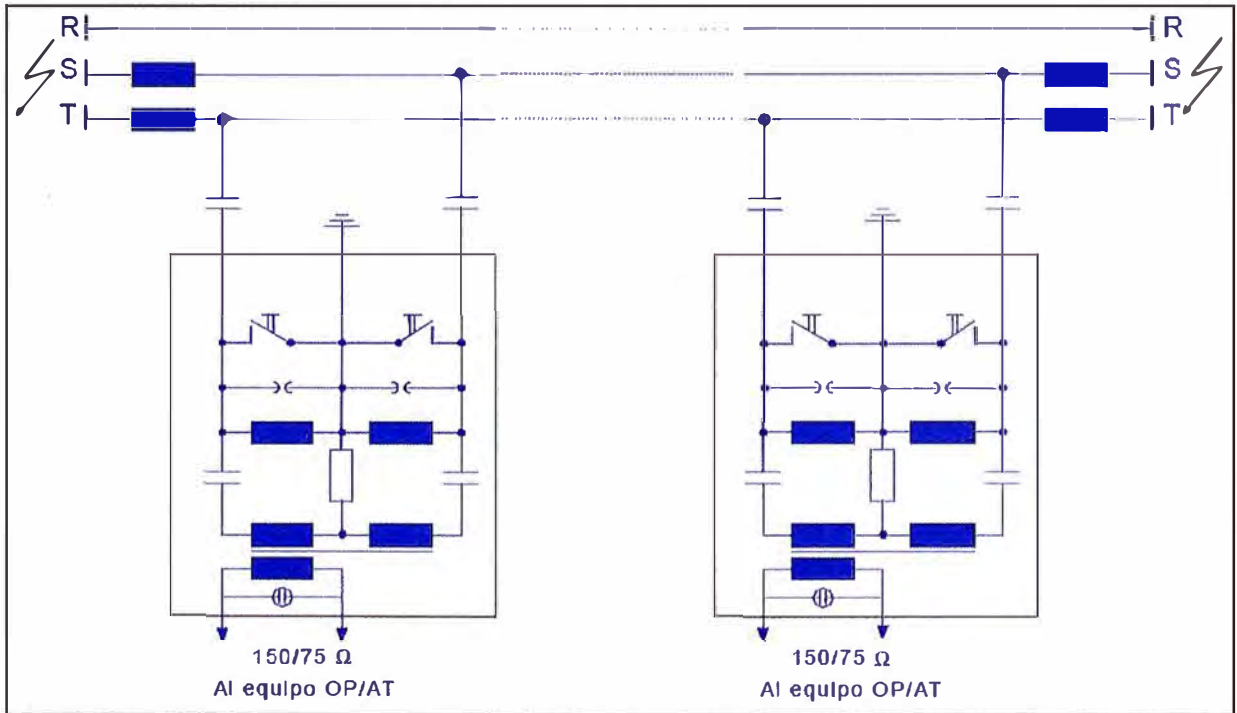


Figura 2.15 Acoplamiento Fase – Fase

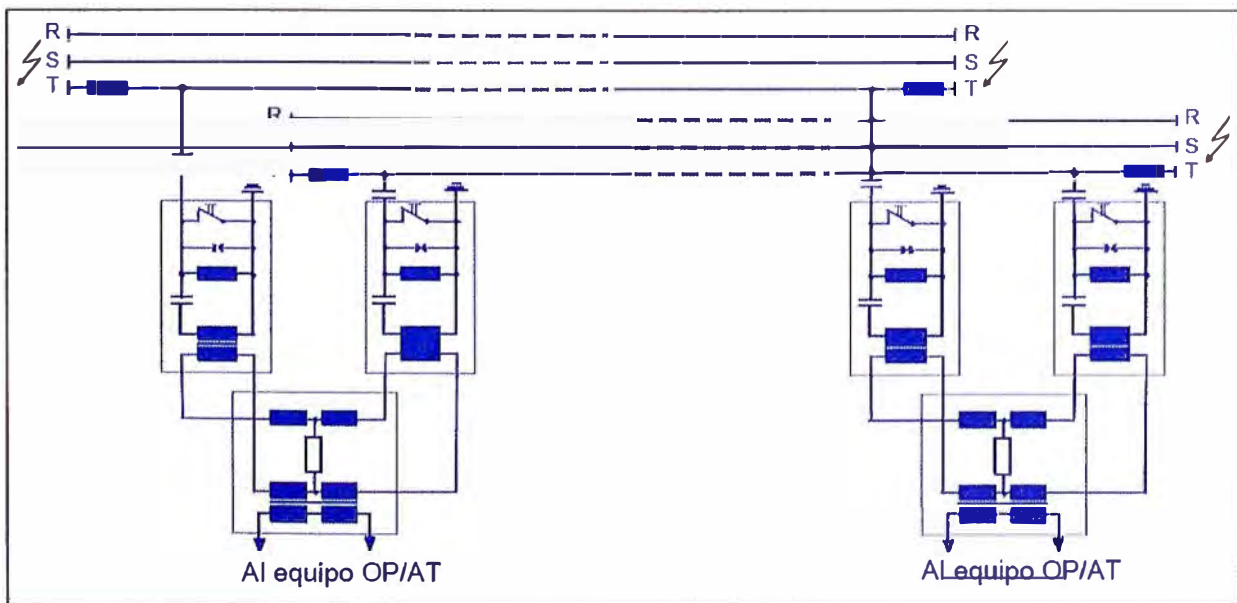


Figura 2.16 Acoplamiento Intersistema

En la Tabla N° 2.3 se puede ver las diferencias entre los tres tipos de acoplamiento:

TABLA N° 2.3 Tipos de Acoplamiento en Enlaces de Onda Portadora

Ítem	Tipo de Acoplamiento	Costos	Atenuación	Transmisión al interrumpirse una de las fases acopladas
1	Acoplamiento entre fase y tierra	Mínimo	Máxima	Ninguna garantía al cortarse la fase
2	Acoplamiento entre dos fases	El doble de lo empleado en 1	Menor que en 1	Garantía al cortarse la fase acoplada
3	Acoplamiento entre sistemas	El doble de lo empleado en 1	Menor que en 1	Garantía en caso de corto circuito y de puesta a tierra de un sistema

Por razones económicas se emplea con frecuencia el acoplamiento fase a tierra, el cual en general es técnicamente suficiente, siempre que no se trate de líneas con alto nivel de atenuación de señal o de grandes distancias. Sin embargo cuando se transporta señales de teleprotección es recomendable emplear el acoplamiento fase - fase o el intersistema sin importar al alto costo que puedan representar.

CAPÍTULO III PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En el sector eléctrico es de gran importancia y de carácter sensible el mantener bajo control y monitoreo constante al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) ya que a través de él se suministra energía eléctrica a todo el país, es necesario contar con medios de comunicación versátiles, de alta disponibilidad y fiables que permitan reportar los datos de SCADA de las subestaciones a los centros de control y a su vez al COES, el envío y recepción de señales de teleprotección para resguardo de las líneas de transmisión, realizar mandos y maniobras de manera remota en subestaciones desatendidas, así como extender los abonados telefónicos que permitan que los operadores de las subestaciones comunicarse rápidamente con los centros de control en caso de alguna emergencia.

Debido a la criticidad de algunas líneas de transmisión, como las que transportan energía directamente desde las generadoras eléctricas o las que alimentan cargas críticas como minas, grandes ciudades, etc., las empresas de transmisión eléctrica optan por implementar más de un enlace de comunicaciones los cuales brindan redundancia y mayor confiabilidad.

Históricamente, las infraestructuras de comunicaciones relacionadas con la explotación eléctrica nacieron asociadas a las propias infraestructuras eléctricas, en ocasiones incluso compartiendo los medios físicos utilizados (transmisión por ondas portadoras). Posteriormente, la multiplicación de técnicas de despliegue de red y medios de transmisión (microondas, fibra óptica, etc.) permitió diversificar las soluciones de acceso al núcleo de la red eléctrica en función de las características concretas de cada punto objetivo.

3.1 Evaluación de alternativas

3.1.1 Enlaces de Microondas

Dependiendo de la ubicación de los nuevos nodos de la red eléctrica, la geografía de la zona puede hacer inviable técnica y/o económicamente la implementación enlaces de comunicaciones por microondas, esto es debido a la accidentada geografía del Perú ya que se puede necesitar varias repetidoras para completar un enlace lo que incrementa los costos por los suministros, además debe realizarse la expropiación de terrenos donde se ubicarán las repetidoras.

3.1.2 Enlaces por Fibra Óptica

En el caso de subestaciones y líneas de transmisión de varias décadas de antigüedad, para migrar sus sistemas de comunicaciones a fibra óptica (con tecnología SDH o PDH) implica tener que dejarlas fuera de servicio por mucho tiempo desatendiendo las cargas eléctricas a las que abastecía, además debe realizarse una gran inversión para reemplazar los cables de guarda existentes por nuevos cables OPGW. Otro inconveniente que presenta los enlaces de fibra óptica OPGW sobre líneas de transmisión es que en caso de presentarse alguna descarga atmosférica sobre el cable de guarda, existe la posibilidad de que la fibra óptica que contenía resulte dañada lo cual conllevaría a un periodo considerable de corte de las comunicaciones hasta detectar la zona dañada, reemplazarla y restablecer el servicio.

3.1.3 Enlaces de Microondas

Una alternativa es implementar enlaces satelitales los cuales tienen la ventaja de poder instalarse y operar en lugares de difícil acceso, además pueden implementarse sin tener que interrumpir por mucho tiempo la operación de las redes eléctricas. Los inconvenientes que presentan estos sistemas es que son susceptibles a la lluvia y las interferencias radioeléctricas, existe un retardo de propagación (crítico para las teleprotecciones), están sujetos a pagos que deben hacerse mensualmente al operador satelital por el determinado ancho banda que se contrata (lo que implica un mayor costo de operación) y además crea una dependencia hacia estos operadores para el monitoreo y correcto funcionamiento de los enlaces de comunicaciones y por ende de las redes eléctricas.

3.1.4 Enlaces de Onda Portadora

Otra alternativa son los enlaces de onda portadora que aprovechan la infraestructura propia de las subestaciones eléctricas y líneas de transmisión como medio de comunicación lo que brinda independencia a los operadores de energía eléctrica. Su principal limitante es la baja capacidad de transmisión comparado con los otros sistemas, pero teniendo en cuenta que la información a transmitir es principalmente la asociada a datos de SCADA, telecomando, señales de teleprotección y telefonía entre subestaciones eléctricas, se cubre la demanda requerida.

Debido a la criticidad de algunas líneas de transmisión, como las que transportan energía directamente desde las generadoras eléctricas o las que alimentan cargas críticas como minas, grandes ciudades, etc., las empresas de transmisión eléctrica optan por implementar más de un enlace de comunicaciones lo cual brinda redundancia y mayor confiabilidad, siendo los sistemas de onda portadora y fibra óptica los que usualmente se implementan en nuevos proyectos.

3.2 Criterios para la Implementación de Enlaces de Onda Portadora

3.2.1 Cálculo de Atenuación de la Línea de Transmisión

El cálculo de atenuación de los enlaces de onda portadora se realiza con programas especializados de los fabricantes de equipos que toman como referencia la norma IEC60663 (Planning of power line carrier systems). Los parámetros de la línea de transmisión:

- Longitud de la Línea
- Tipos de estructuras de las torres
- Vano de la línea por secciones
- Tipo de acoplamiento
- Inductancia y resistencia de bloque de las trampas de onda
- Transposiciones
- Resistividad del terreno (diferencias en las secciones)
- Presencia de hielo/nieve

En el cálculo se considera las condiciones de operación más adversas como lluvias, tormentas, bajas temperaturas, altos niveles de ruido en la línea, etc.

El resultado del cálculo es una curva “Atenuación vs Frecuencia de operación” que caracteriza a la línea de transmisión.

Es fundamental el análisis de este valor para determinar la potencia que requiere el equipo de Onda Portadora para una óptima calidad de transmisión de voz y datos.

Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos son teóricos, es decir, aproximaciones de los valores reales por lo que deberá considerar márgenes de seguridad para el dimensionamiento y configuración del sistema de comunicaciones.

3.3 Ubicación de los Canales de OP en el Espectro de RF

Dado el limitado rango del espectro de frecuencias donde es posible transmitir (entre 24 y 500 kHz) y debido a la cantidad de enlaces de onda portadora que pudiesen existir adyacentes al nuevo enlace, es necesario considerar ciertos criterios básicos en el diseño del sistema de comunicaciones de manera de optimizar el espectro:

- Detectar las frecuencias disponibles y existentes efectuando un barrido de frecuencias con un analizador de espectro o medidores de potencia.
- Detectar las frecuencias de enlaces de onda portadora existentes que se utilicen en las áreas próximas a las subestaciones extremas del nuevo enlace a diseñar.
- En la elección de las frecuencias a utilizar se debe tomar como referencia el cálculo de atenuación.

En general para los tramos de longitud de línea largos prevalecerá la utilización de frecuencias bajas donde la atenuación de línea es baja, mientras que para líneas de corta

longitud debería resultar conveniente el uso de frecuencias altas.

De cualquier forma estos criterios no son siempre aplicables y pueden ser modificados por las condiciones de no-homogeneidad de las líneas y otros efectos.

Es posible considerar la reutilización de aquellas frecuencias de enlaces que se encuentren distantes (espaciadas) hasta dos tramos de líneas de transmisión y tres subestaciones.

Debe confeccionarse un plan de frecuencias general que incluya las subestaciones involucradas, las frecuencias de cada enlace, el distanciamiento en frecuencia entre ellas, su denominación según el usuario que las disponga y las frecuencias y/o bandas a utilizar en para nuevos enlaces. Las frecuencias existentes de otros servicios, líneas que transcurran paralelas, etc. deben delinearse claramente como bandas conflictivas.

3.4 Sistema de Comunicaciones por Onda Portadora entre las Subestaciones

Cajamarquilla y Callahuanca

La empresa Votorantim Metais, propietario de la planta de Refinería de Zinc Cajamarquilla, ubicada en Chosica – Lima, contempla dentro de su plan de expansión el incremento de su capacidad de producción en 50%.

El suministro eléctrico de energía a la planta de Cajamarquilla se realiza desde la Subestación Cajamarquilla de Propiedad de la Empresa EDEGEL. Dicha subestación se encuentra conectado al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) a través de las líneas de transmisión en 220 kV L-2009 Cajamarquilla – Callahuanca y L-2015 Cajamarquilla – Chavarría.

El proyecto “Ampliación de la Subestación Cajamarquilla” involucra el seccionamiento de la línea transmisión en doble terna 2008 y 2009 existente de 220 kV que tiene como punto de suministro eléctrico a la Subestación de la Central Hidroeléctrica Callahuanca y como puntos de llegada a la Subestación Cajamarquilla (línea 2009) y la Subestación Chavarría (línea 2008).

El proyecto comprende que la línea en 220 kV Callahuanca - Chavarría (línea L-2008) se conecte a las barras de la subestación Cajamarquilla, por lo que se hace necesario ampliar el pórtico de llegada de la subestación de manera de anclar la nueva llegada de la línea proveniente de Callahuanca (L-2008) y su salida hacia la subestación Chavarría a través de la nueva línea 2014.

Con esto se busca aumentar la potencia entregada a la S.E. Cajamarquilla y por tanto a la planta de refinería de zinc.

Esta nueva configuración genera requerimientos funcionales para el correcto desempeño del sistema eléctrico que necesitan un sistema de comunicaciones de alta confiabilidad y disponibilidad.

Nos enfocaremos en el sistema de comunicaciones entre las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca

El sistema de comunicaciones del proyecto deberá satisfacer las siguientes necesidades:

- Habilitar la conexión de la RTU (Unidad Terminal Remota) de la subestación Cajamarquilla al Centro de Control para el envío de datos de SCADA.
- Proveer un sistema de teleprotección para la línea de doble terna Cajamarquilla – Callahuanca.
- Proveer telefonía a los operadores de las subestación Cajamarquilla utilizando la Central Telefónica existente en Callahuanca.

Debido a la importancia de la carga que alimenta la subestación Cajamarquilla a través de las líneas L-2008 y L-2009 (ver Figura 3.3) se requiere implementar un sistema de onda portadora de alta confiabilidad y redundancia. Para lograr esto se implementará 02 enlaces de onda portadora con acoplamiento intersistema lo cual aprovecha la existencia de 02 líneas transmisión para tener redundancia de medio de comunicación y además brinda redundancia de hardware.

3.4.1 Plan de Frecuencias

En la Figura 3.1 se muestra el plan de frecuencias de las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca en donde se visualiza las frecuencias ocupadas por otros enlaces de onda portadora.

En común acuerdo con la empresa Edegel y tomando como referencia el plan de frecuencias se determina las frecuencias de operación para los 02 enlaces de onda portadora intersistema como se puede ver en la Tabla N° 3.1:

TABLA N° 3.1 Frecuencias de operación de los enlaces de onda portadora

Enlace 1 (BW=16 kHz)		Enlace 2 (BW=16 kHz)	
Callahuanca	Cajamarquilla	Callahuanca	Cajamarquilla
Tx = 476 + 16	Tx = 428 + 16	Tx = 200 + 16	Tx = 232 + 16
Rx = 428 + 16	Rx = 476 + 16	Rx = 232 + 16	Rx = 200 + 16

3.4.2 Cálculo de Atenuación

Para cálculo de atenuación de los enlaces emplearemos el software WinTrak del fabricante Siemens para obtener el gráfico “Atenuación de Línea Vs. Frecuencia de Operación” que caracteriza a la líneas de transmisión LT 2008 y LT 2009 que une a las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca.

Para iniciar el cálculo se requieren los parámetros de la línea de transmisión (ver la Figura 3.2 y las Tablas N° 3.2, 3.3 y 3.4) así como las formas geométricas de las torres de alta tensión y longitud de la línea.

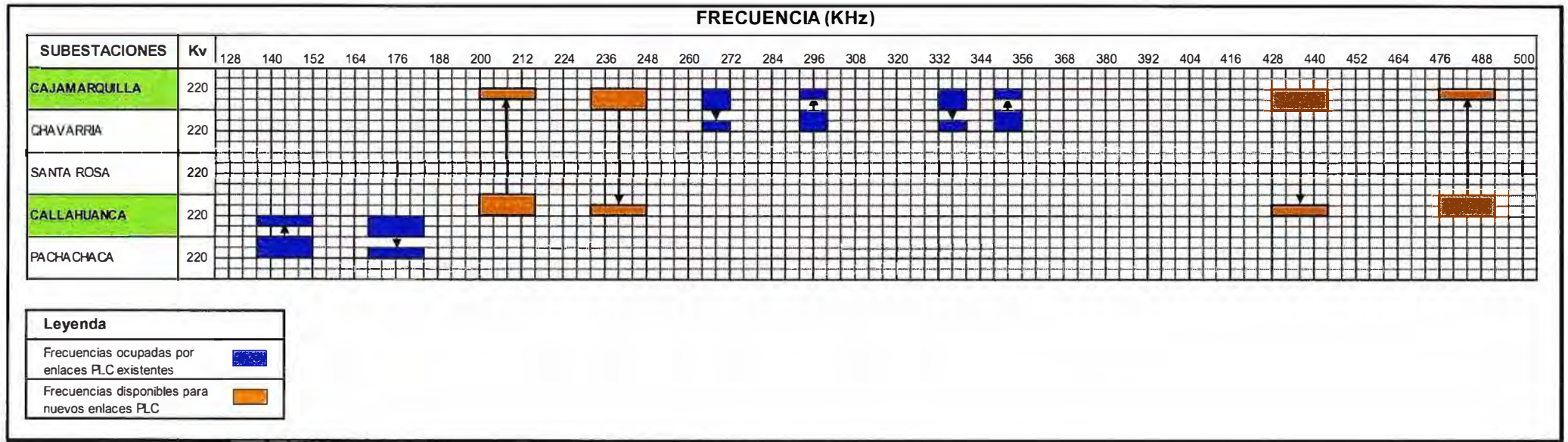


Figura 3.1 Plan de Frecuencias de las Subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca

a) Parámetros de la línea de transmisión de doble terna

- Voltaje de línea : 220Kv
- Longitud de línea : 35.466Km
- Diámetro de conductores de fase : 28.8mm
- Diámetro cable de guarda : 9.525mm
- Fases utilizadas : Fase S de cada línea
- Tipo de acoplamiento : Intersistemas
- Dispositivo de acoplamiento : Capacitancia externa 5.500 pF
- Trampa de Onda : 400 Ohm, 0.5mH
- Rango de frecuencias : 115 – 500Khz

TABLA N° 3.2 Disposición de la LT Callahuanca – Cajamarquilla 2008-2009

LINEA TRASMISION: 220 KV CALLAHUANCA - CAJAMARQUILLA (L. 2008/2009)						
N° ESTRUCTURA	VANO ADELANTE	COTA TERRENO	TIPO ESTRUCTURA		Flecha Conductor (m)	Flecha Cable guarda (m)
Central	257.00	1,385.00			4.22	3.59
1	375.00	1,431.30	T.A.2xE+0	SAE 1970	8.96	7.62
2	289.00	1,490.00	A60+0	SAE 1970	5.61	4.77
3	304.00	1,597.80	A60+0	SAE 1970	5.82	4.95
4	257.00	1,604.00	A10+0	SAE 1970	4.16	3.53
5	449.00	1,599.00	A10+0	SAE 1970	12.70	10.80
6	199.30	1,618.80	S+0	SAE 1970	2.50	2.13
7	873.90	1,614.20	A10+0	SAE 1970	48.08	40.87
8	386.40	1,598.56	A10+0	SAE 1970	9.40	7.99
9	487.50	1,595.01	A10+0	SAE 1970	14.96	12.72
10	1,143.00	1,601.96	A10+0	SAE 1970	83.37	70.87
11	1,337.30	1,792.50	A20+3	SAE 1970	112.57	95.69
12	951.90	1,786.63	A10+0	SAE 1970	57.37	48.77
13	1,622.80	1,889.99	A20+3	SAE 1970	169.29	143.90
14	1,940.70	1,553.50	BA20+6	SAE 1970	241.25	205.06
15	1,390.00	1,919.20	BA20+3	SAE 1970	131.81	112.04
16	1,492.50	1,338.46	A20+0	SAE 1970	142.16	120.84
17	1,994.00	1,588.07	BA20+15	SAE 1970	251.87	214.09
18	666.00	1,362.96	BA20+3	SAE 1970	28.35	24.10
19	1,100.00	1,245.50	A10+15	SAE 1970	76.75	65.24
20	708.40	1,108.85	A10+0	SAE 1970	32.58	27.70
21	1,402.50	1,288.18	A10+6	SAE 1970	123.99	105.39
22	234.30	1,213.78	A10+0	SAE 1970	3.47	2.95
23	164.40	1,237.63	S+3	SAE 1970	1.74	1.48
24	993.00	1,203.63	A10+0	SAE 1970	62.76	53.34
25	454.50	1,055.20	A10+0	SAE 1970	13.02	11.06
26	707.00	1,034.48	A45+3	SAE 1970	31.51	26.79
27	461.00	1,073.98	S+3	SAE 1970	13.49	11.47
28	574.70	1,013.28	S+0	SAE 1970	20.91	17.78
29	1,300.00	950.58	A10+3	SAE 1970	106.88	90.84
30	271.00	824.80	A10+3	SAE 1970	4.77	4.05
31	386.00	893.33	A30+0	SAE 1970	9.43	8.01
32	462.20	932.58	S+0	SAE 1970	13.45	11.43
33	1,249.00	925.03	A10+0	SAE 1970	98.28	83.54
34	979.30	977.54	A60+3	SAE 1970	60.65	51.56
35	413.40	1,073.14	A20+0	SAE 1970	10.94	9.30
36	935.50	996.64	A10+0	SAE 1970	56.30	47.86
37	1,070.60	799.00	A10+0	SAE 1970	72.23	61.39
38	785.00	748.39	A10+0	SAE 1970	39.24	33.35
39	898.12	868.07	A60±0	SBE 1983	51.35	45.37
40N	1,226.12	919.19	A30+3		107.94	93.97
41N	500.20	659.33	A5+6		16.15	14.31
42N	334.01	750.93	A5+6		7.60	6.76
43N	460.55	862.04	A30+0		14.94	13.26
44N	811.46	709.02	A30+0		47.05	41.40
45N	167.76	475.42	A30+0		4.74	5.44
PORTICO		436.99	PORTICO			

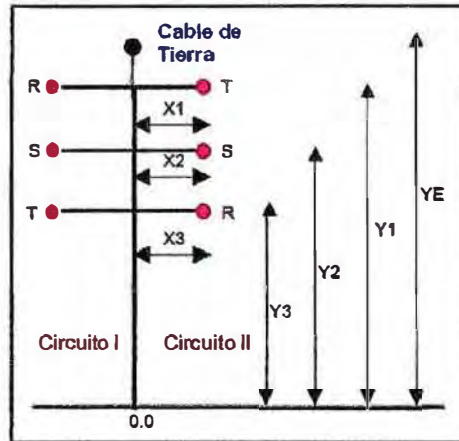


Figura 3.2 Geometría de las torres de alta tensión

TABLA N° 3.3 Datos geométricos de la LT Callahuanca – Cajamarquilla 2008-2009

ITEM	Tipo de torre		Y1	Y2	Y3	YE	X1	X2	X3	XE
1	SAE 1970	A10 + 0	29	22.5	16	32.2	3.8	3.8	3.8	1.6
2	SAE 1970	A10 + 3	32	25.5	19	35.2	3.8	3.8	3.8	1.6
3	SAE 1970	A10 + 6	35	28.5	22	38.2	3.8	3.8	3.8	1.6
4	SAE 1970	A10 + 15	44	37.5	31	47.2	3.8	3.8	3.8	1.6
5	SAE 1970	A20 + 0	26	19.5	13	29	3.4	3.4	3.4	2.3
6	SAE 1970	A20 + 3	29	22.5	16	32	3.4	3.4	3.4	2.3
7	SAE 1970	A30 + 0	26	19.5	13	29	4.7	4.7	4.7	2.0
8	SAE 1970	A45 + 3	29	22.5	16	32	4.3	4.3	4.3	3.2
9	SAE 1970	A60 + 0	26	19.5	13	29	4.8	4.8	4.8	3.7
10	SAE 1970	A60 + 3	29	22.5	16	32	4.8	4.8	4.8	3.7
11	SAE 1970	BA20 + 3	29	22.5	16	35.25	3.55	3.55	3.55	2.5
12	SAE 1970	BA20 + 6	32	25.5	19	38.25	3.55	3.55	3.55	2.5
13	SAE 1970	BA20 + 15	41	34.5	28	47.25	3.55	3.55	3.55	2.5
14	SAE 1970	S + 0	29	22.5	16	32.2	3.7	3.7	3.7	1.5
15	SAE 1970	S + 3	32	25.5	19	35.2	3.7	3.7	3.7	1.5
16	SBE 1983	A60 + 0	26	19.5	13	29	5.9	5.9	5.9	4.2
		A5+8	38	31.5	25	41	4.5	4.5	4.5	2.0

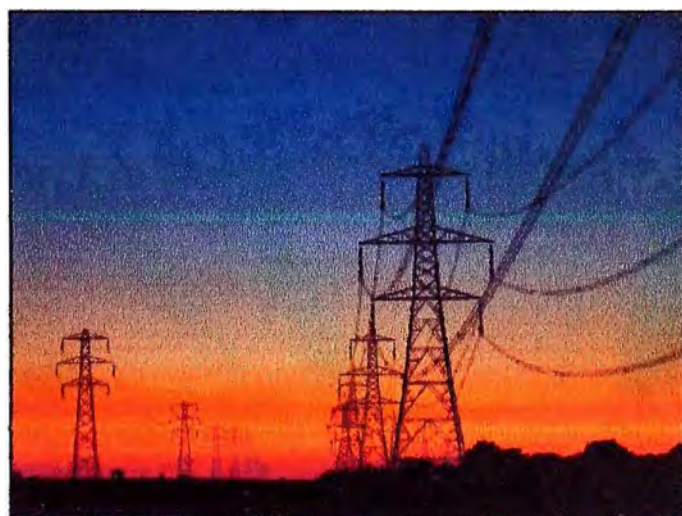


Figura 3.3 Línea de Alta Tensión de doble terna

b) Gráfico Atenuación de Línea Vs. Frecuencia de Operación

De la Figura 3.4 notamos que la máxima atenuación de la línea de transmisión será de 7 dB en la banda de frecuencias de 150 a 500 kHz.

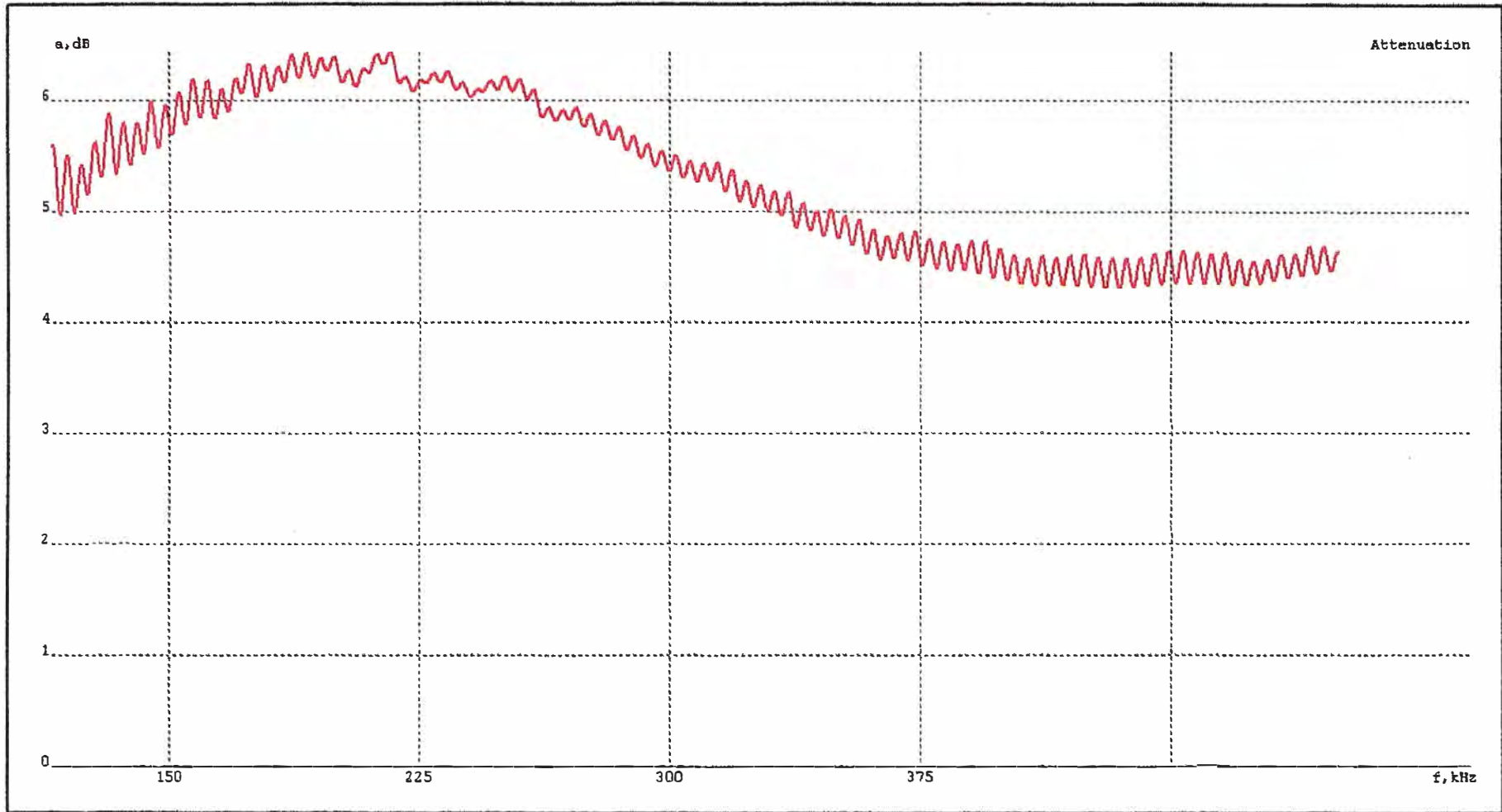


Figura 3.4 Gráfico de Atenuación de Línea Vs. Frecuencia de Operación

3.4.3 Cálculo de Máximo Atenuación Permissible

Para el cálculo de la máxima atenuación permissible que haga posible la transmisión de servicios por el enlace de onda portadora se debe calcular capacidad de transmisión requerida (o bomba de datos - DP) por estos servicios:

Calculation of the DP Bit rate when using the vMUX

Voice channels

kbps	Bit rate	Input	Group
Voice Ch 1	5.3	Vfx	
Voice Ch 2			
Voice Ch 3			
Voice Ch 4			
Voice Ch 5			
Voice Ch 6			
Voice Ch 7			
Voice Ch 8			

Asynchronous data channels

bps	Bit rate	Data Mode	UART
RS232-1	19200	guaranteed	8N1
RS232-2			
RS232-3			
RS232-4			
RS232-5			
RS232-6			
RS232-7			
RS232-8			

Synchronous data channels

bps	Bit rate
X21-1	
X21-2	

rFSK channels

	Baudrate	Data Mode	UART/Samplerate
rFSK 1			
rFSK 2			

Remote Monitoring

Enabled

RM	Yes
----	-----

Datapump Bit rate for vMUX: 26400 bps

DP rate for vMUX and ETH: 64000 bps

Ethernet channel

bps	Enabled	Calc Eth rate
ETH data	Yes	32990

Figura 3.5 Cálculo de la Capacidad de Transmisión Requerida por el enlace

De acuerdo a la Figura 3.5, la bomba de datos requerida para todos los servicios es de 64000 bps. Se ha considerado en el cálculo 01 canal de voz de 5.3 Kbps, 01 canal de datos asíncrono RS232 de 19200 bps, 01 canal de Ethernet de 32990 bps y la transmisión de señales de teleprotección (F6) habilitada.

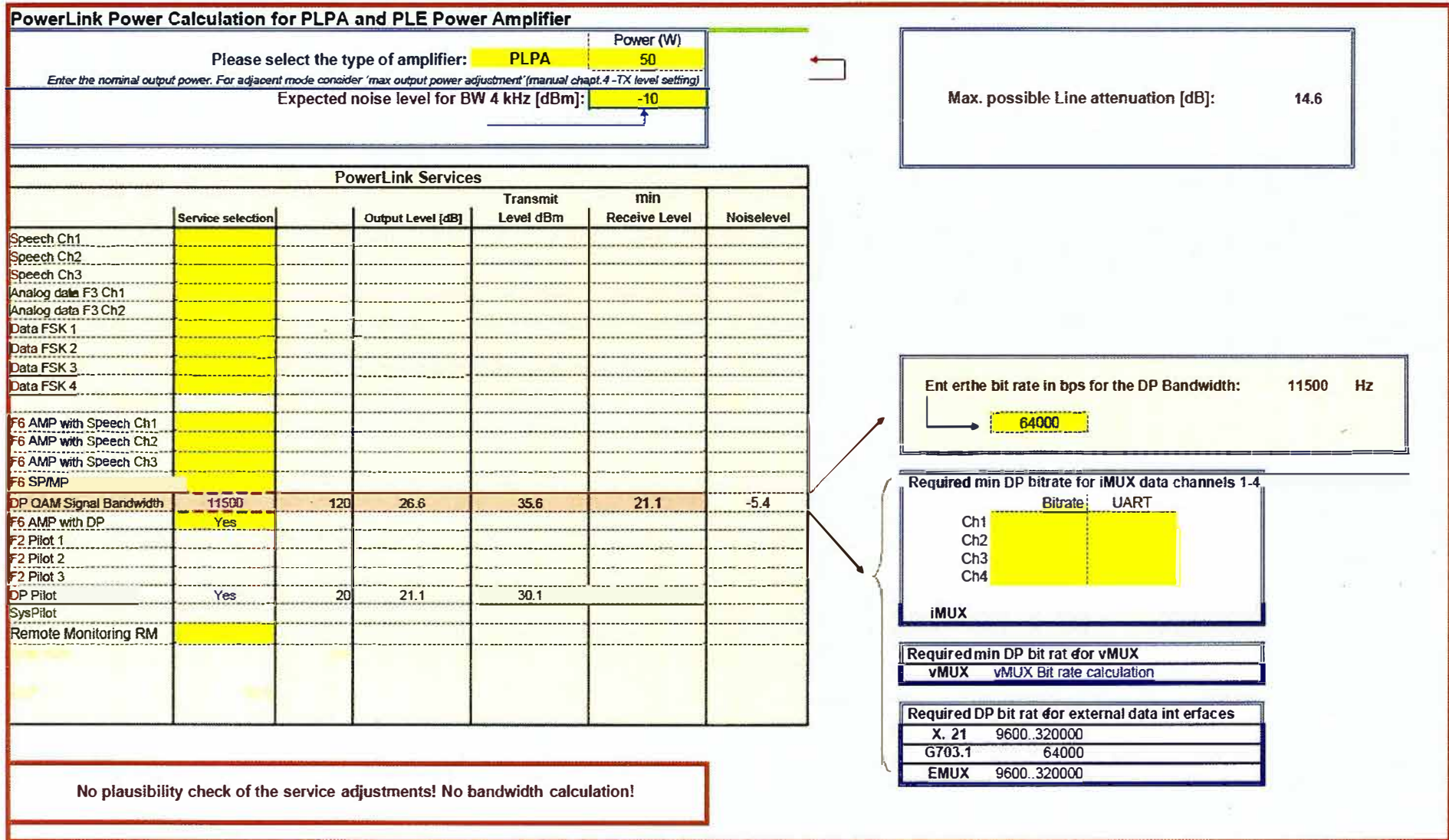


Figura 3.6 Calculo de la atenuación máxima posible para el enlace Cajamarquilla - Callahuanca

Usando una herramienta de cálculo de uno de los fabricantes de equipos de onda portadora (Siemens) podemos calcular la máxima atenuación permisible (ver Figura 3.6), para esto debemos ingresar la bomba de datos requerida (64000 bps), la potencia de salida del amplificador a 50 W (la menor posible provista por el mismo fabricante), el ancho de banda de la señal QAM de la bomba de datos seleccionado a 11,5 kHz y la función de teleprotección habilitada (“F6 AMP with DP”), tener en cuenta que el ancho de banda reservado para las señales de teleprotección debe ser de 4 kHz aunque esto puede cambiar dependiendo a cada fabricante. El valor de nivel de ruido esperado es determinado acorde a la norma IEC 60663 para un ancho de banda de 4 kHz (ver Tabla N° 3.5), para este caso es -10 dBm.

TABLA N° 3.5 Posiciones

Nivel de Tensión de la Línea (kV)	Nivel de ruido en dBm
< 220	- 25
> 220	- 10

De la Figura 3.6, el valor de atenuación máxima posible de la línea ($A_{L \text{ Max.}}$) para transmitir todos los servicios requeridos por el enlace de onda portadora es:

$$A_{L \text{ Max}} = 14.6 \text{ dB}$$

La atenuación obtenida en el cálculo realizado para la línea Cajamarquilla Callahuanca es 7 dB, la cual es menor que el valor máximo posible. Con esto se verifica la factibilidad del establecimiento del enlace de onda portadora para los parámetros elegidos.

De la Figura 3.6 obtenemos los siguientes valores:

TABLA N° 3.6 Posiciones

Descripción	Nivel
Salida RF en el Amplificador	35.6 dBm
Nivel de señal en recepción	21.1 dBm
Nivel de ruido en la recepción	-5.4 dBm

El valor de la relación señal a ruido (SNR) mínima para los enlaces es el siguiente:

$$SNR_{\text{Mínimo}} = (\text{Potencia Mínima Recibida}) - (\text{Nivel de Ruido}) \quad (3.1)$$

$$SNR_{\text{Mínimo}} = 21.1 - (-5.4) = 26.5 \text{ dB}$$

3.4.4 Enlace de Onda Portadora S.E. Cajamarquilla – S.E. Callahuanca

En cada subestación se instalará un (01) gabinete con dos equipos de Onda Portadora, cada uno de los cuales contará con 01 puerto Ethernet para la conexión hacia la RTU, 01 puerto RS232 y 01 puerto de voz.

La conexión a la RTU en la S.E. Cajamarquilla se hará con la finalidad de transmitir la información de esta subestación a la S.E. Callahuanca, en donde se utilizará el canal de

comunicaciones existente entre la S.E.Callahuanca y el Centro de Control (CCO) para comunicar finalmente la RTU de la SE Cajamarquilla con el CCO.

Este sistema de onda portadora también proveerá dos canales de voz FXS (uno por equipo) para entregar dos (02) anexos telefónicos (analógicos) a la subestación Cajamarquilla. Estos anexos serán provistos por la central telefónica existente en la S.E. Callahuanca. La ubicación de estos anexos serán: uno en la sala de comunicaciones y otro en la sala de control donde se encuentra el IHM (Interfaz Humano - Maquina) de la Subestación.

En la S.E. Callahuanca, se conectará la central telefónica existente con el nuevo sistema de onda portadora, a través de interfaces FXO, con la finalidad de proveer dos (02) abonados telefónicos a la S.E. Cajamarquilla. Para lo cual en la central telefónica deberá habilitarse los dos (02) puertos que serán canalizados a través del nuevo sistema de onda portadora para la conexión de los abonados telefónicos de la S.E. Cajamarquilla.

Los 02 enlaces de onda portadora proveerán un sistema de teleprotección con una capacidad de transmisión total de 08 comandos independientes (cada enlace de onda portadora transmitirá 04 comandos), los cuales transmitirán disparos a los relés de protección de las líneas 2009 y 2008 en caso de producirse alguna falla.

3.4.5 Equipamiento de la S.E. Cajamarquilla

a) Sala de Comunicaciones

El gabinete de comunicaciones correspondiente al enlace Cajamarquilla – Callahuanca contendrá los siguientes equipos (ver Figura 3.7):

- Dos (02) terminales de onda portadora cada uno con los siguientes servicios:
 - Un (01) puerto de datos Ethernet (32000 bps)
 - Un (01) puerto de voz para abonado extendido (FXS)
 - Un (01) puerto RS232
 - Un (01) módulo de teleprotección integrado con capacidad de transmisión de 04 comandos.
- Dos (02) contadores de disparos para el registro de eventos de transmisión de la teleprotección.

b) Equipos de patio

- Dos (02) unidades de acoplamiento para configuración intersistemas. Este equipo se instalará en patio de llaves y será diseñado para aplicaciones pasa alto con el objetivo de eliminar con mayor eficiencia el ruido de las frecuencias que no formen parte del enlace de comunicaciones del proyecto.
- Dos (02) trampas de onda para las características de la línea, y con un ancho de banda de 115–500Khz para los enlaces de onda portadora Cajamarquilla – Callahuanca.

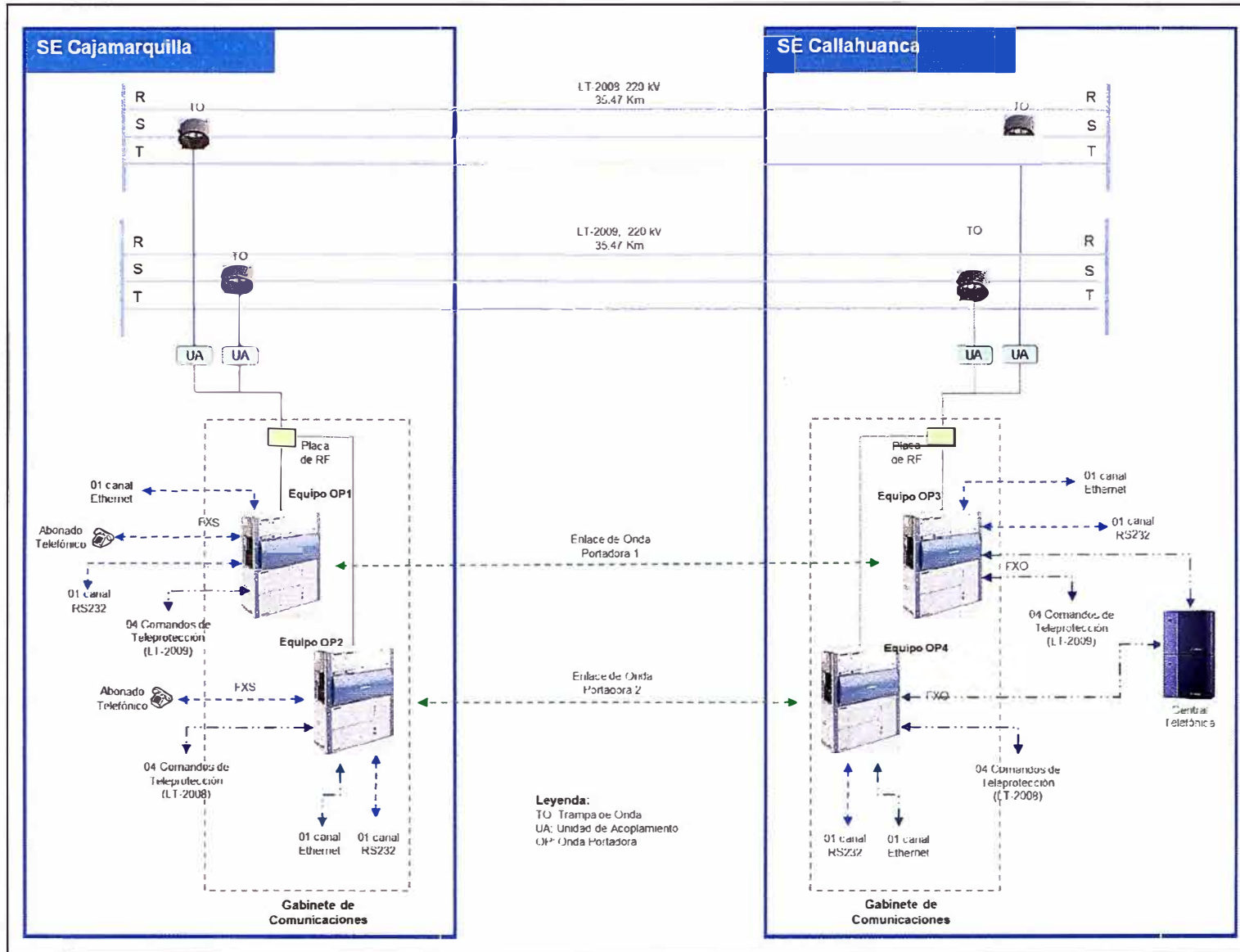


Figura 3.7 Arquitectura del Sistema de Comunicaciones Cajamarquilla - Callahuanca

- Cable coaxial necesario para conectar las unidades de acople instaladas en el patio de llaves con el gabinete de comunicaciones del equipo de onda portadora ubicado en la sala de comunicaciones de la subestación.

- Dos (02) condensadores de acoplamiento

3.4.6 Equipamiento de la S.E. Callahuanca

a) Sala de Comunicaciones:

El gabinete de comunicaciones correspondiente al enlace Cajamarquilla – Callahuanca contendrá los siguientes equipos (ver Figura 3.7):

- Dos (02) terminales de onda portadora cada uno con los siguientes servicios:

- Un (01) puerto de datos Ethernet (32000 bps)

- Un (01) puerto de voz para abonado extendido (FXO)

- Un (01) puerto RS232

- Un (01) módulo de teleprotección integrado con capacidad de transmisión de 04 comandos.

- Dos (02) contadores de disparos para el registro de eventos de transmisión de disparo.

b) Equipos de patio:

- Dos (02) unidades de acoplamiento para configuración intersistemas. Este equipo se instalará en patio y será diseñado para aplicaciones pasa alto con el objetivo de eliminar con mayor eficiencia el ruido de las frecuencias que no formen parte del enlace de comunicaciones del proyecto.

- Dos (2) trampas de onda para las características de la línea requeridas, y con un ancho de banda de 115 – 500Khz para los 2 enlaces de onda portadora que habrán entre Cajamarquilla y Callahuanca.

- Cable coaxial necesario para conectar las unidades de acople instaladas en el patio de llaves con el gabinete de comunicaciones del equipo de onda portadora ubicado en la sala de comunicaciones de la subestación.

- Dos (02) condensadores de acoplamiento.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se tocan los temas involucrados al presupuesto y al cronograma del proyecto de ingeniería.

4.1 Estimación de costos

En Tabla 4.1 se muestra el presupuesto para la adquisición de los equipos del sistema de comunicaciones por onda portadora entre las subestaciones Cajamarquilla y Callahuanca así como el costo de los servicios de montaje y puesta en marcha. Como los enlaces de onda portadora operarán sobre la infraestructura de las subestaciones y línea de transmisión, no se tomarán en cuenta los costos asociados a ellas.

TABLA 4.1 Presupuesto para Equipos de Onda Portadora (Elab. Propia)

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	UND	Precio Unitario USD	Precio Subtotal USD
	Equipo de Onda Portadora Incluye:				
1	- Teleprotección Integrada - 01 Puerto RS232 - 01 Canal de Voz (Analógico) - 01 Puerto de Ethernet	04	UND	21,000.00	84,000.00
2	Unidad de Acoplamiento	04	UND	4,000.00	16,000.00
3	Trampa de Onda	04	UND	7,000.00	28,000.00
4	Condensador de Acoplamiento	04	UND	6,000.00	24,000.00
5	Gabinete de Comunicaciones	02	UND	3,000.00	6,000.00
6	Cable Coaxial	02	PQT	2,400.00	4,800.00
7	Material menor de instalación	02	PQT	1,000.00	2,000.00
8	Ingeniería y memorias de Cálculo	1	UND	3,500.00	3,500.00
9	Montaje de Equipos y Puesta en Marcha	1	UND	30,000.00	30,000.00
Total USD					198,300.00

4.2 Cronograma

En la Tabla 4.2 se muestra el diagrama de tiempos para la implementación del proyecto.

TABLA 4.2 Diagrama de tiempos para la implementación (Elab. Propia)

Cronograma de Ejecución del Proyecto									
Hitos	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9
Inicio del Proyecto	X								
Elaboración de documentos de ingeniería	X	X							
Adquisición de equipos de comunicaciones			X	X	X				
Adquisición de equipos de Alta Tensión			X	X	X	X	X		
Montaje de Equipos								X	X
Puesta en Servicio									X

Una vez iniciado el proyecto debe realizarse visitas técnicas a los lugares a intervenir para tomar información de los equipos existentes y las condiciones de estos lugares.

Con la información recabada se elabora las memorias de cálculo, tablas de datos técnicos de los equipos, diagramas eléctricos y mecánicos entre otros documentos de ingeniería.

Luego que las especificaciones técnicas de los equipos sean aprobados por la empresa contratante, se procede a la compra de ellos. El tiempo promedio de adquisición de los equipos de comunicaciones (terminal de portadora, unidad de acoplamiento, cable coaxial y gabinete de comunicaciones) es de 03 meses y de los equipos de alta tensión (trampas de onda y condensador de acoplamiento) es de 05 meses.

El tiempo para la instalación y montaje de los equipos es de 02 a 03 semanas aproximadamente por cada subestación.

La configuración, pruebas en sitio y puesta en servicio del sistema de onda portadora debe hacerse en paralelo desde ambas subestaciones en paralelo, para esto se debe contar con la línea de transmisión completamente terminada y sin tierras temporales a lo largo de ellas. Estas actividades toman de 01 a 02 semanas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los enlaces de onda portadora utilizan las líneas de transmisión como vía de comunicación para datos y voz por lo que su implementación es económica con respecto a otras alternativas sobre todo cuando el volumen a transmitir es bajo.
2. Ofrecen la flexibilidad necesaria para transmitir todos los servicios que se requiere a través de la banda disponible. Los servicios pueden combinarse del modo que se desee en el marco del ancho de banda y la velocidad de transmisión disponibles.
3. Permiten la transmisión de las señales de teleprotección para el resguardo de las líneas de transmisión.
4. Sirven de medio de comunicación entre subestaciones en las que no existe una conexión de fibra óptica o no sería rentable implementarla
5. Se utilizan como sistema de respaldo para la transmisión de señales de protección en paralelo a una línea de fibra óptica.
6. La principal desventaja de estos sistemas es su limitada capacidad de transmisión, sin embargo esta es suficiente para cubrir los servicios de comunicación necesarios en las subestaciones eléctricas.
7. La capacidad de transmisión requerida en el enlace es directamente proporcional al nivel de SNR que debe obtenerse para cubrir dicho enlace
8. Debido al tipo de modulación que emplean estos sistemas es posible alcanzar grandes distancias de enlace y emplear el menor ancho de banda posible por lo que la utilización del espectro de frecuencias es óptima.
9. El terminal de onda portadora puede adaptar la cantidad de datos transmitidos a los cambios que se produzcan en las condiciones ambientales para obtener los mejores resultados posibles de transmisión.
10. Para la elección de las frecuencias de operación de los enlaces de onda portadora se debe verificar la disponibilidad en el espectro de frecuencias.
11. Se recomienda elaborar un plan de frecuencias donde figuren las frecuencias ocupadas de los enlaces de onda portadora existentes entre subestaciones que permita visualizar las frecuencias disponibles para nuevos enlaces.
12. Debe realizarse el cálculo de atenuación de la línea considerando las condiciones más adversas de operación. Para esto existe programas especializados de los

fabricantes que se basan en la norma IEC 60663.

13. Debe determinarse la SNR necesaria que garantice la transmisión de los servicios requeridos por el enlace.

14. La elección del tipo de acoplamiento debe implementarse dependiendo del grado de confiabilidad y redundancia que se necesita.

15. Si se requiere mayor capacidad de transmisión deberá incrementarse el ancho de banda del enlace, lo máximo permisible es 32 kHz.

16. En caso de contar con un reducido ancho de banda de enlace, se debe priorizar los servicios más importantes (por ej. teleprotección, SCADA) para garantizar su transmisión en las peores condiciones de operación de la línea.

17. Los equipos de patio deben diseñarse con las características eléctricas de la línea de transmisión y otros parámetros que garanticen el paso de las señales de comunicaciones en la banda de frecuencias de 100 kHz a 500 kHz.

ANEXO A
TABLA DE DATOS TÉCNICOS

a) Terminal de Onda Portadora

Ítem	Descripción	Propuesta
1.0	Datos Generales	
1.1	Fabricante	Siemens (Alemania)
1.2	Rango de Frecuencias	24 - 500 KHz
1.3	Ancho de Banda	16 KHz
1.4	Velocidad mínima de enlace	32Kbps
1.5	Tecnología	Digital
1.6	Sistema de Calidad	ISO9001
1.7	Modo de operación de los canales de datos	RS232 - (hasta 19,2Kbps)
1.8	Potencia de salida	50W
1.9	Sensitividad del receptor	-32dBm
1.10	Impedancia de salida	75 Ohm desbalanceada
1.11	Diafonía	≤ -55 (según IEC 60495)
2.0	Circuitos de voz	
2.1	Requerimientos de canales de voz	01 canal de voz de 2 hilos para abonado telefónico
2.2	Niveles relativos	
	- Transmisión a 4 hilos	-26 a +1 dB
	- Recepción a 4 hilos	-7 a +14 dB
	- Transmisión a 2 hilos	-22 a +5 dB
	- Recepción a 4 hilos	-11 a +10 dB
2.3	Módulo compansor incluido	Sí
2.4	Velocidad de transmisión por canal digital, incluyendo señalización	5.3kbps
2.5	Impedancia nominal	600 Ohm
3.0	Canales de Datos	
3.1	Tipo de canal configurable	Síncrono y Asíncrono
3.2	Número de puertos	- 01 puerto Ethernet 32.9 kbps
3.3	Canales Asíncronos	- 01 canal RS232 de 1200 hasta 19200 bps
3.4	Puerto de configuración remota	- 01 puertos Ethernet 10/100 Tx
4.0	Teleprotección Integrada	
4.1	Número de órdenes	4 órdenes independientes

4.2	Aplicación	Ordenes Permisivas u órdenes directas
4.3	Contactos de Entrada	
	- Tensión de ingreso de Órdenes	Voltaje DC (48 V, 127 V o 250V)
	- Acoplamiento	Optoelectrónico
	- Máxima Corriente	2 A
4.4	Contactos de salida de Orden	
	- Máxima Corriente	2 A
	- Máximo voltaje	300Vdc
	- Borneras de Entrada de Órdenes	Borneras seccionables

b) Unidad de Acoplamiento

Ítem	Descripción	Propuesta
1.0	Datos Generales	
1.1	Fabricante	TRENCH (CANADA)
1.2	Modelo	A9514
1.3	Ancho de banda	
	- Ajustable	Sí
	- Ajuste	8 KHz
	- Margen de ajuste	100 - 500 KHz
1.4	Impedancia asignada lado de línea, Z1	
	- Ajustable en campo	Sí
	- Margen de ajuste	250/600 Ohm Típica 300 Ohm
	- Impedancia asignada lado de equipo, Z2 asimétrica	50 / 75 Ohm
1.5	Pérdidas de retorno	≥12 dB
1.6	Pérdida de inserción	≤2 dB
1.7	Tipo de acople	Intersistemas
1.8	Material	Aluminio
1.9	Ingreso de cables	Parte inferior de la caja

c) Trampa de Onda

Ítem	Descripción	Propuesta
1.0	Datos Generales	
1.1	Fabricante	TRENCH (BRASIL)
1.2	Montaje	Suspendida del pórtico incluye barrera antipájaros
1.3	Resistencia de bloqueo mínima	400 Ohm

1.4	Corriente	1000 A
1.5	Corriente pico	80.3 kA
1.6	Banda de frecuencias a bloquear	115 - 500Khz
1.7	Inductancia	0.5mH
1.8	Voltaje nominal	220 kV
1.9	Pararrayos	9Kv

d) Cable Coaxial

Ítem	Descripción	Propuesta
1.0	Datos Generales	
1.1	Fabricante	DRAKA
1.2	País	ALEMANIA
1.3	Norma	EN 50117
1.4	Impedancia HF asimétrica	75 Ohm
1.5	Protección mecánica contra roedores y apantallamiento	Sí
1.6	Tipo de Cable	Asimétrico
1.7	Atenuación a 500 KHz	≤ 0,3 dB/100m

e) Condensador de Acoplamiento

Ítem	Description	Propuesta
1.0	Datos Generales	
1.1	Fabricante	AREVA
1.2	País de fabricación	E.E.U.U.
1.3	Altitud de instalación	< 1000 m.s.n.m.
1.4	Normas de fabricación	IEC
1.5	Temperatura ambiente máxima	35 °C
1.6	Temperatura ambiente mínima	08 °C
1.7	Humedad relativa máxima	98%
1.8	Condiciones sísmicas	
	- Aceleración horizontal	0.5g
	- Aceleración vertical	0.3g
2.0	Datos Nominales y Características	
2.1	Tipo de instalación	Exterior
2.2	Frecuencia nominal	60 Hz
2.3	Rango de Frecuencia de Comunicaciones	24 – 500 KHz
2.4	Características de tensión:	

	- Tensión nominal del sistema	220 kV
	- Tensión máxima del sistema	245 kV
	- Tensión máxima del equipo (Un)	245 kV
2.5	Nivel de aislamiento:	
	- Tensión de sostenimiento a frecuencia industrial, 1 min	460 kV
	- Tensión de sostenimiento al impulso 1,2/50 μ s	1050 kVp
2.6	Capacitancia Nominal	5000 pF
2.7	Aislador:	
	- Material	Porcelana
	- Línea total de fuga	> 7595 mm
	- Línea de fuga específica	31 mm/kV

ANEXO B
GLOSARIO DE TÉRMINOS

A/D	Convertor analógico a digital
AM	Modulación de amplitud
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
BW	Ancho de banda
CCO	Centro de control
COES-SINAC	Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional
D/A	Convertor digital a analógico
DP	Bomba de datos
Disparo	Envío de comando de teleprotección
DSP	Procesador digital de señales
DTMF	Sistema de marcación por tonos
EIA	Alianza de Industrias Electrónicas
HF	Alta frecuencia
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IED	Dispositivo electrónico inteligente
IHM	Interfaz humano - maquina
ISDN	Red digital de servicios integrados
MTBF	Tiempo medio entre fallas
OFDM	Multiplexación por división de frecuencias ortogonales
OP	Onda Portadora
OPGW	Cable de guarda con fibra óptica
PBAX	Central telefónica privada
PCM	Modulación por impulsos codificados
PDH	Jerarquía Digital Plesiócrona, tecnología usada en telecomunicaciones
PLC	Onda portadora por línea de alta tensión
PSTN	Red Telefónica Conmutada
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura
QSIG	Protocolo de señalización entre centrales telefónicas privadas (PBAX)
RF	Radio frecuencia
RTC	Reloj en tiempo real
RTU	Unidad terminal remota
Rx	Recepción
SAS	Sistema automatizado de subestación
SCADA	Software o sistema para supervisión, control y adquisición de datos
SDH	Jerarquía digital síncrona, tecnología usada en telecomunicaciones
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

SHF	Frecuencia súper alta (3 GHz a 30 GHz)
SNR	Relación señal a ruido
SSB	Modulación en banda lateral única
TCP / IP	Protocolo de control de transmisión / Protocolo de Internet
Tx	Transmisión
UIT-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Normalización
BER	Tasa de error de bit
VoIP	Voz sobre protocolo de internet
WAN	Red de área amplia

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Carlos Ramírez, "Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión", Ingeniería Mejía Villegas S.A., 2003, Segunda Edición.
- [2] Siemens AG, "PowerLink, Tecnología PLC avanzada concebida para el futuro", 2008.
- [3] Siemens AG, "PowerLink 50/100 Equipment Manual", 2010.
- [4] Siemens AG, "Instrucciones de puesta en servicio, Unidad de acoplamiento AKE-100", 1998.
- [5] Narciso Zacarías y Luis Gómez, "Sistema de Comunicación OPLAT", Comisión Federal de Electricidad, 2011.
- [6] Transener S.A., "Guía de diseño y normas del sistema de comunicaciones por onda portadora", 2003
- [7] [http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/203df3042bad9c40032578f6004ed613/a77173f939815daa03256cc400584ead/\\$FILE/Anexo%20VIII.pdf](http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/203df3042bad9c40032578f6004ed613/a77173f939815daa03256cc400584ead/$FILE/Anexo%20VIII.pdf)
- [8] Transener S.A., "Guía de diseño y normas del sistema de teleprotección", 2003. [http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/203df3042bad9c40032578f6004ed613/a77173f939815daa03256cc400584ead/\\$FILE/Anexo%20VI.pdf](http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/203df3042bad9c40032578f6004ed613/a77173f939815daa03256cc400584ead/$FILE/Anexo%20VI.pdf)
- [9] Alfredo Dammert, Et al, "Fundamentos técnicos y económicos del sector eléctrico peruano", Osinergmin, 2011.
- [10] Gabriela Navarro y Juan Rodriguez, "Las telecomunicaciones en el sector eléctrico", 2007.
- [11] José Huidobro y Rafael Conesa, "Sistemas de Telefonía", Thomson Paraninfo, 2006, Quinta Edición.
- [12] Jesús Camacho, "La telefonía tradicional", 2009.
- [13] http://www.adminso.es/images/f/f8/PFC_Jesus_Camacho_Rodriguez_Capitulo_1.pdf
- [14] COES SINAC, "Mapa del SEIN", 2013.
- [15] <http://www.coes.org.pe/wcoes/coes/infoperativa/mapasein.aspx>