

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“ESTUDIO TÉCNICO DE FACTIBILIDAD PARA LA
AMPLIACIÓN DE LA RED DE TRANSELECTRIC
S.A. EN LA PROVINCIA DE MANABÍ-ECUADOR”**

CARLOS FERNANDO BORJA MEDINA

SANGOLQUÍ-ECUADOR

2006

CERTIFICACIÓN

Por medio de la presente certificamos que el proyecto de grado, previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico, titulado: “Estudio Técnico de Factibilidad para la Ampliación de la Red de TRANSELECTRIC S.A. en la Provincia de Manabí-Ecuador”, fue desarrollado en su totalidad bajo nuestra dirección y supervisión del señor: “Carlos Fernando Borja Medina” de cédula de identidad 171431902-5.

Atentamente,

Ing. Darío Duque
DIRECTOR

Ing. Rodrigo Silva
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por la paciencia, respaldo y ayuda constante; enseñándome el sendero de la justicia y lealtad. A todas las personas que han aportado con consejos y lecciones, impulsando mi desarrollo personal e intelectual.

A TRANSELECTRIC S.A. por la capacitación, documentación, experiencias y asesoría especialmente al Ing. Galo Vaca quien me oriento a desarrollar con éxito la tesis.

Carlos Fernando Borja Medina

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me enseñaron el valor del estudio, lealtad y justicia. Nelson e Isabel.

A mi novia, quien me entregó ese bienestar sentimental que te impulsa a conseguir mis metas. Mónica Mercedes.

A mis hermanos, quienes han sido compañeros de travesuras y de enseñanzas mostrando cariño y comprensión en sus actos. Anita y Daniel

A mis familiares, dictando permanentes consejos de vida que me ayudaron a alcanzar nuevos horizontes.

A mis amigos, que me estuvieron acompañando en todos esos momentos buenos y malos que tienes la vida.

Carlos Fernando Borja Medina

PRÓLOGO

Este trabajo tiene el objetivo fundamental de presentar alternativas de comunicaciones modernas para el uso interno de TRANSELECTRIC S.A., priorizando tecnologías, desempeño y costos.

Este estudio servirá como una guía para la implementación de la tecnología Power Line Communication Digital en distintas subestaciones, aquí se estudiara el tramo Quevedo-Portoviejo a través de la línea de 230 KV que se encuentra en proceso de construcción.

En el capítulo I, se indica el estado actual del sistema de telecomunicaciones de TRANSELECTRIC S.A. con respecto a fibra óptica y Power Line Communication.

En el capítulo II, muestra la ruta física que seguirá el sistema Power Line Communication, donde se estudian las características de las torres y las líneas de alta tensión. También se analizan las condiciones físicas con las que cuenta la zona de aplicación del proyecto.

En el capítulo III, se realiza un estudio minucioso del diseño del enlace en donde se toma en consideración parámetros como líneas de transmisión, impedancias características, sistema de acoplamiento, pérdidas, etc. Los resultados permitirán tener una idea clara de los reales requerimientos que necesitan los equipos para ser adquiridos.

En el capítulo IV, se establece el mantenimiento que debe recibir la red desde sus equipos terminales hasta el medio de transmisión que en este caso son las líneas de alta tensión.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
PRÓLOGO.....	V
1. CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1. Introducción.....	1
1.1 TECNOLOGÍA DE TRANSMISIÓN	2
1.1.1. POWER LINE COMMUNICATION DIGITAL (D.P.L.C.)	2
1.1.1.1. Velocidad de transmisión	3
1.1.1.2. Ventajas del Power Line Communication.....	3
1.1.1.3. Desventajas de Power Line Communication.....	4
1.1.1.4. Servicios	4
1.1.1.5. Situación actual de TRANSELECTRIC S.A. con el Power Line Communication	6
1.1.1.5.1. Power Line Communication (PLC).....	6
1.1.1.5.2. Diagrama de Bloques del Sistema.....	8
1.1.1.5.3. Características del Enlace.....	10
1.1.1.5.4. Modulación del Enlace	11
1.1.1.5.5. Componentes del Sistema.....	13
1.1.1.5.6. Servicios	20
1.1.2. FIBRA ÓPTICA	22
1.1.2.1. Transmisión Básica	22
1.1.2.2. Propiedades de la Luz.....	23
1.1.2.2.1. Espectro Electromagnético	23
1.1.2.3. Estructura de la Fibra Óptica.....	24

1.1.2.4. Fibra Óptica Multimodo	25
1.1.2.4.1. Fibra Multimodo de Índice Escalonado.....	26
1.1.2.4.2. Fibra Multimodo de Índice Gradual	26
1.1.2.5. Fibra Monomodo	27
1.1.2.6. Ventajas de la Fibra Óptica	28
1.1.2.7. Desventajas de la Fibra Óptica	29
1.1.2.8. Situación Actual de TRABSELECTRIC S.A. en Cable de Guardia con Fibras Ópticas (OPGW)	29
1.1.2.8.1. Diagrama de Bloques del Sistema.....	30
1.1.2.8.2. Características del Enlace.....	31
1.1.2.8.3. Descripción Actual del Enlace	32
1.1.2.8.4. Componentes del Sistema.....	35
1.1.2.8.5. Servicios e Interfases.....	38
2. CAPÍTULO II.....	39
2. ESTUDIO DE CAMPO	39
2.1. SITUACIÓN ACTUAL.....	39
2.2. SITUACIÓN PROPUESTA	40
2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 230KV.....	41
2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS	45
2.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA.....	47
2.6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	49
2.7. ASPECTOS OPERATIVOS.....	50
2.7.1. Fase de Construcción.....	50
2.7.1.1. Movilización.....	50
2.7.1.2. Construcción de Vías.....	51
2.7.1.3. Construcción de Torres de Transmisión.....	52
2.8. CLIMA	60
2.9. FLORA	61
2.10. POBLACIÓN.....	63
2.11. UBICACIÓN DEL EQUIPO DE P.L.C. DIGITAL	63

3. CAPÍTULO III	68
3. DISEÑO DEL ENLACE	68
3.1. CONSIDERACIONES POWER-LINE CARRIER	68
3.2. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	68
3.3. MODELO DE ANÁLISIS SIMPLIFICADO	69
3.3.1. Modos Básicos.....	69
3.3.2. Contenido Modal	70
3.3.3. Energía Modal	73
3.4. CARACTERÍSTICAS DE LÍNEA	75
3.4.1. Impedancia Características (Z_0)	75
3.4.2. Constante de Propagación	77
3.4.3. Transitorios en la Línea de Transmisión	78
3.4.4. Transposiciones	79
3.5. PERDIDAS DE CANAL	80
3.5.1. Pérdidas de Cables.....	81
3.6. ATENUACIÓN TOTAL	82
3.6.1. Atenuación de Discontinuidad	82
3.6.2. Atenuaciones Adicionales	83
3.7. MÉTODOS DE ACOPLAMIENTO DE LA SEÑAL	83
3.7.1. Esquemas de Acoplamientos Capacitivos	83
3.7.1.1. Acoplamiento Fase-Tierra	84
3.7.1.2. Acoplamiento entre Fases.....	84
3.7.1.3. Acoplamiento Intercircuito.....	85
3.8. PÉRDIDAS DE CONVERSIÓN	87
3.9. CAUSAS DEL RUIDO EN LA LÍNEA	88
3.9.1. Tamaño del Conductor	89
3.9.2. Efecto Corona.....	89
3.10. NORMA CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standadization)	90
3.11. CONSIDERACIONES TÉCNICAS	91
3.12. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	92
3.13. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	93
3.13.1. Cálculo de Impedancia	93

3.13.2. Cálculo de Atenuación.....	95
3.13.3. Análisis Modal.....	97
3.13.4. Relación S/N Y BER	99
3.13.4.1. Potencia del Canal	100
3.13.5. Pérdidas por Cable Coaxial	101
3.13.6. Pérdidas por Uniones Mal Hechas.....	102
3.13.7. Resultados de Diseño	102
3.14. SERVICIOS A PRESTAR.....	103
3.14.1. Redes Telefónicas.....	103
3.14.2. Telecontrol.....	104
3.14.3. Transmisión de Datos	106
3.14.4. Teleprotección	107
3.14.4.1. Servicio Único (SP).....	107
3.14.4.2. Servicio Múltiple Simultáneo (SMP)	108
3.14.4.3. Servicio Múltiple Alternado (AMP).....	108
4. CAPÍTULO IV.....	109
4. MANTENIMIENTO DE RED	109
4.1. GESTIÓN DE LA RED	110
4.1.1. Gestión de Mantenimiento	110
4.1.2. Gestión de Calidad de Funcionamiento.....	111
4.2. INSTALACIÓN	111
4.2.1. Inspección Mecánica	111
4.2.2. Sala de Equipos	111
4.2.3. Requerimientos Informáticos	112
4.3. PRUEBAS PRELIMINARES A LA PUESTA EN SERVICIO	115
4.4. MANTENIMIENTO	115
4.4.1. Mantenimiento Preventivo	115
4.4.2. Mantenimiento Correctivo.....	116
4.4.2.1. Defecto	116
4.4.2.2. Falla	116
4.4.2.3. Salida Permanente	116
4.4.2.4. Salida Transitoria.....	116

4.5. MANTENIMIENTO DEL EQUIPO	116
4.6. SISTEMAS DE ALARMAS	117
4.7. MANTENIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	118
4.7.1.1. Programación, Control y Análisis	119
4.7.1.1.1. Catastro	120
4.7.1.1.2. Programación del Mantenimiento	120
4.7.1.1.3. Planeamiento	122
4.7.1.2. Acción de Mantenimiento	123
4.7.1.2.1. Mantenimiento Preventivo	123
4.7.1.2.1.1. Método de Trabajo a Distancia	123
4.7.1.2.1.2. Método de Trabajo a Potencial	124
4.7.1.2.2. Mantenimiento Correctivo	124
4.7.1.3. Recomendaciones para Realizar Trabajos	125
5. CAPÍTULO V	126
5. ANÁLISIS DE ECONÓMICO	126
5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO	126
5.1. INTRODUCCIÓN	126
5.2. DEFINICIÓN DE ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	127
5.3. PROPUESTA ECONÓMICA Y FINANCIERA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO	128
5.3.1. Planeación del Proyecto	128
5.3.2. Valoración de Costos y Beneficios del Proyecto	130
5.3.2.1. Valoración de Costos	130
5.3.2.1.1. Costos Directos	131
5.3.2.1.2. Costos Indirectos	131
5.3.2.2. Valoración de Beneficios	131
5.3.2.2.1. Beneficios Directos	131
5.3.2.2.2. Beneficios Indirectos	131
5.3.3. Identificación de Costos y Beneficios	131
5.3.4. Presupuesto para el Proyecto	132
5.3.4.1. Subestación Quevedo	132
5.3.4.2. Subestación Portoviejo	133

5.3.4.3. Personal	133
5.3.4.4. Capacitación	134
5.3.4.5. Presupuesto Total del Proyecto	135
5.3.4.6. Herramientas y Equipos	135
5.3.5. Factibilidad Económica del Proyecto	136
5.4. RELACIÓN DE COSTOS CON FIBRA ÓPTICA	137
CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES	141
REFERENCIAS	143
ANEXO I	146
ÍNDICE DE FIGURAS	152
ÍNDICE DE TABLAS	158
GLOSARIO	161

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

TRANSELECTRIC S.A. opera el Sistema Nacional de Transmisión Eléctrica, cuyo objetivo fundamental es el transporte de energía eléctrica, garantizando el libre acceso a las redes de transmisión a todos los agentes del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM), aprovechando el marco legal y la apertura de competencia en telecomunicaciones del país, han decidido incursionar en el mercado para prestar Servicios de Portador de Telecomunicaciones en el Ecuador.

Los servicios de comunicaciones para TRANSELECTRIC S.A. constituyen un factor fundamental para el desarrollo diario de las actividades, los cuales permiten transmitir teleprotección, voz y datos a través de las líneas de alta tensión. Por lo tanto, el entorno nacional e internacional requiere de la aplicación de nuevas tecnologías en la transmisión de información que permita proporcionar mayores servicios con seguridad, confiabilidad y economía.

Además de satisfacer las necesidades propias de TRANSELECTRIC S.A. se cuenta con un portafolio de servicios enfocados a satisfacer a nuestros clientes, quienes son las empresas líderes en el mercado de telecomunicaciones. Para lo cual, se tiene un importante sistema de fibra óptica, obteniendo altos índices de disponibilidad en el servicio.

1.1 TECNOLOGÍA DE TRANSMISIÓN

1.1.1. POWER LINE COMMUNICATION DIGITAL (D.P.L.C.)

P.L.C. digital es una tecnología que permite transmitir información a través de la red de energía eléctrica convencional. En la red eléctrica existen niveles de tensión:



Figura 1.1. Equipo de Power Line Communication marca ABB

Tramo de Transporte o de Alta Tensión

Es la zona donde se transporta la energía desde el primer transformador hasta la estaciones eléctricas, entre 138 a 400 Kilovoltios.

Tramo de Media Tensión

Es el tramo que se transporta la energía eléctrica desde las estaciones de transporte hasta las estaciones de distribución, entre 66 a 132 Kilovoltios.

Red de Baja Tensión

Es la tensión que reciben todas las viviendas ya sea en uso doméstico, comercial o industrial, es decir, entre 110 y 220 Voltios.

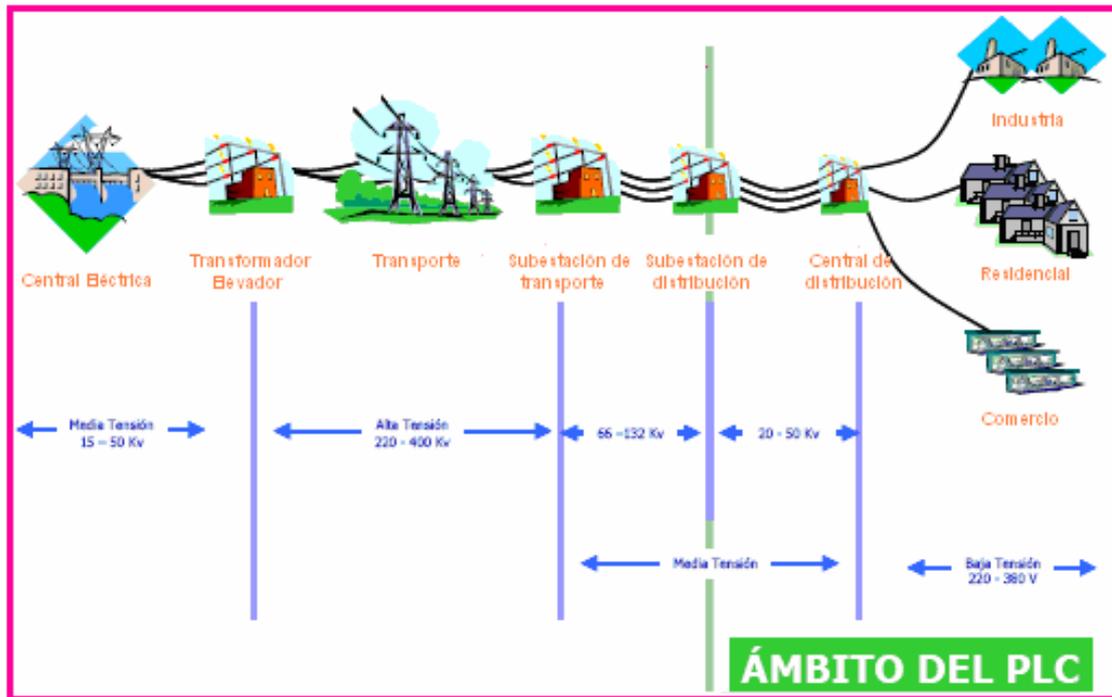


Figura 1.2. Área de cobertura de un sistema P.L.C. desde la generación hasta los domicilios.

1.1.1.1. Velocidad de transmisión

En la red de alta tensión se alcanzan velocidades de transmisión de datos que llegan hasta 81.6Kbps, el principal problema que muestran para transmitir a mayores velocidades es el ruido inherente que implica transmitir por la red de tensión.

La señal utilizada para transmitir datos a través de la red eléctrica suele ser de 40 a 500KHz según la normativa de FCC (Comisión Federal de Comunicaciones), la cual difiere mucho de la frecuencia de la red eléctrica convencional (60Hz en el Ecuador), esto supone que la posibilidad de interferencias entre ambas señales es prácticamente nula.

1.1.1.2. Ventajas del Power Line Communication

- La red de Power Line Communication digital utiliza como medio la línea de alta tensión propiedad de TRANSELECTRIC S.A.

- Proporciona el ancho de banda suficiente para desarrollar cualquier actividad en TRANSELECTRIC S.A., el cual puede llegar hasta 76.8Kbps en líneas de alta tensión.
- Se ocupa menor tiempo en la ejecución del proyecto.
- Existe poca vulnerabilidad de la red.
- Menores costos en la instalación.
- Se mantiene una conexión permanente entre los distintos puntos.
- Puede soportar cualquier tipo de servicio que se requiera de la red, ya sea tecnológica IP, Internet, telefonía, seguridad, etc.

1.1.1.3. Desventajas de Power Line Communication

- El cable eléctrico es una línea metálica recubierta de un aislante. Esto genera a su alrededor ondas electromagnéticas que pueden interferir en las frecuencias de ondas de radio.
- Existe elevada atenuación en bajas frecuencias, mientras las distancia sean mayores aumentará la atenuación de la señal.
- Es un medio muy ruidoso.

1.1.1.4. Servicios

Acceso a Internet

Permitir la salida del tráfico de todas las subestaciones a red mundial de Internet a través del sistema de PLC digital.

Redes LAN

Las redes LAN proporcionan soluciones integrales para la transmisión de datos en áreas geográficas reducidas.

Redes Privadas Virtuales (VPNs)

Son redes privadas que se extienden, mediante un proceso de encapsulación y en su caso de encriptación, de los paquetes de datos a distintos puntos remotos mediante el uso de unas infraestructuras públicas de transporte.

Los paquetes de datos de la redes privadas viajan por medio de un "túnel" definido en la red pública. Sustentados en el uso de Internet, firewall, servidores dedicados, etc.

Telefonía IP

La telefonía IP es un conjunto de aplicaciones que permiten la transmisión de voz en vivo a través de Internet utilizando los protocolos TCP/IP. Este tipo de aplicaciones, todavía en una primera etapa de explotación comercial, incurrirá en un enorme ahorro para los usuarios en llamadas de larga distancia así como un potencial problema para los operadores de telefonía de voz.

Gestión de Red

La gestión de red implica el monitoreo total de la red instalada, el cual permite proporcionar mantenimiento, herramienta de diseño, planificación, optimización de la red y sus respectivas aplicaciones de telecontrol o televigilancia.



Figura 1.3. Centro de gestión

1.1.1.5. Situación actual de TRANSELECTRIC S.A. con el Power Line Communication

1.1.1.5.1. Power Line Communication (PLC)

El sistema de PLC es una tecnología analógica que viene funcionando desde 1979 logrando transmitir datos a través de las líneas eléctricas convencionales.



Figura 1.4. Equipo de Power Line Communication analógico marca General Electric

Las estaciones de TRANSELECTRIC S.A. que poseen esta red son las siguientes:

SUBESTACIONES

San Francisco

Pucara

Ambato

Agoyan

Totoras

Riobamba

Limón

Cuenca

Loja

Paute

Milagro

San Idelfonso

Dos Cerritos

Machala

Pascuales

Electroquil

Trinitaria

Policentro

Salitral

Gonzalo Cevallos

Santa Elena

Posorja

Quevedo

Chone

Portoviejo

Daule Peripa

Santo Domingo

Esmeraldas

Santa Rosa

Vicentina

Ibarra

Tulcán

Mulalo

Tabla 1.1. Subestaciones a cargo de Transelectric S.A con sistema Power Line Communication

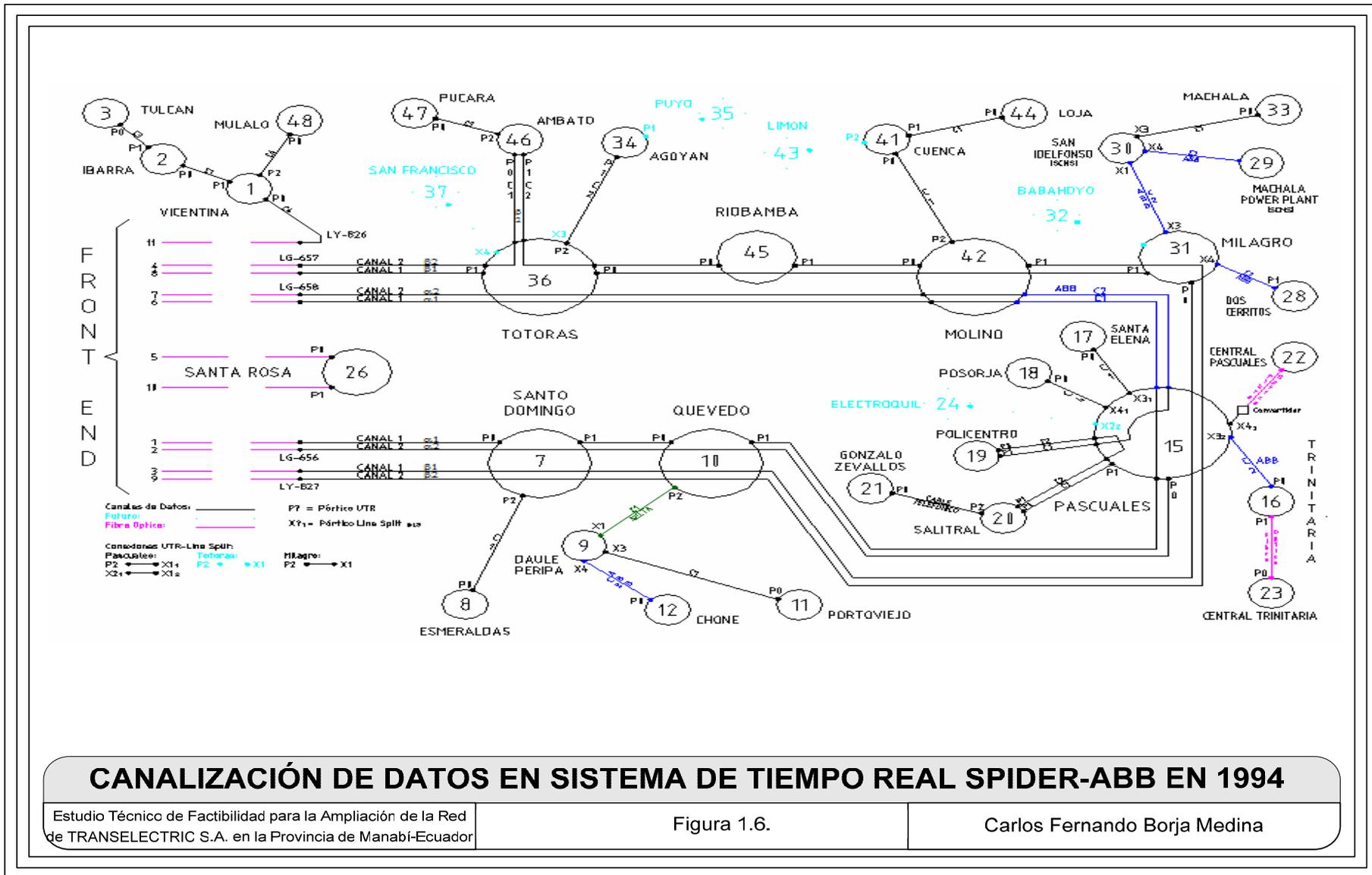
1.1.1.5.2. Diagrama de Bloques del Sistema

En la tabla 1.1. se tiene una descripción de las estaciones que poseen PLC, en donde las estaciones de: Totoras, Riobamba, Molino, Milagro, Pascuales, Quevedo, Santo Domingo y Santa Rosa están conectadas a través de la red eléctrica de 230 KV y el resto de estaciones que son los ramales (figura 1.6.) están conectadas a través de la red eléctrica de 138 KV.



Figura 1.5. Patio de equipos de la Subestación Daule-Peripa

La estación San Francisco se encuentran en proyecto. La ejecución de dicha estación puede ir variando según las necesidades que se presenten en tecnología, requerimientos de ancho de banda, velocidad de transmisión, proyectos eléctricos, necesidades geográficas, etc.



CANALIZACIÓN DE DATOS EN SISTEMA DE TIEMPO REAL SPIDER-ABB EN 1994

Estudio Técnico de Factibilidad para la Ampliación de la Red de TRANSELECTRIC S.A. en la Provincia de Manabí-Ecuador

Figura 1.6.

Carlos Fernando Borja Medina

1.1.1.5.3. Características del Enlace

El enlace de PLC cuenta con dos equipos terminales de cuatro canales cada uno, donde se utilizan canales para voz y para transferir datos. En la tabla 1.2. se muestra la descripción del sistema instalado:

1. DATOS GENERALES	
Descripción del Equipo	Componentes del Sistema PLC, las subestaciones de TRANSELECTRIC S.A. manteniendo una conexión directa en doble vía.
Aplicación	Datos, voz y teleprotección
Modelo	GE LG-657 y GE LY-827
Fabricante	GENERAL ELECTRIC
Topología	Tipo anillo
2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Rango de Frecuencia	30 a 500 kHz
Potencia de transmisión	20 Watts y 100 Watts
Interfaz de Usuario	4 hilos con señalización E & M
Numero de portadoras	1

Tabla 1.2. Características del sistema Power Line Communication

El espectro de sistema Power Line Communication en banda base es:

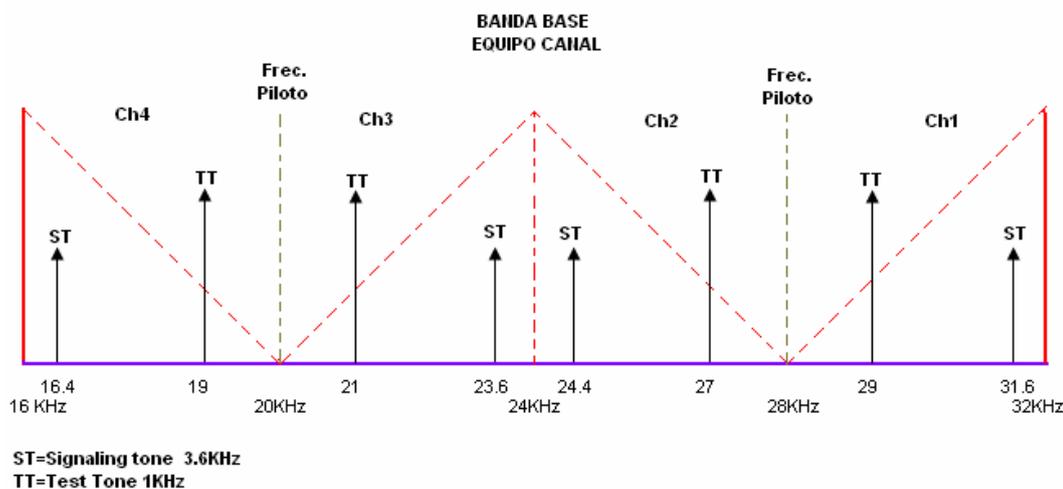


Figura 1.7. Espectro de un sistema Power Line Communication en banda base

El canal piloto es extremadamente importante y realiza las siguientes funciones:

- Sincronizar el receptor.
- Determinar la ganancia del receptor AGC.
- Servir como señal de referencia para controlar la calidad de la señal en el receptor (mínima intensidad de la relación S/N).

El espectro de radiofrecuencia (RF) en el sistema Power Line Communication es:

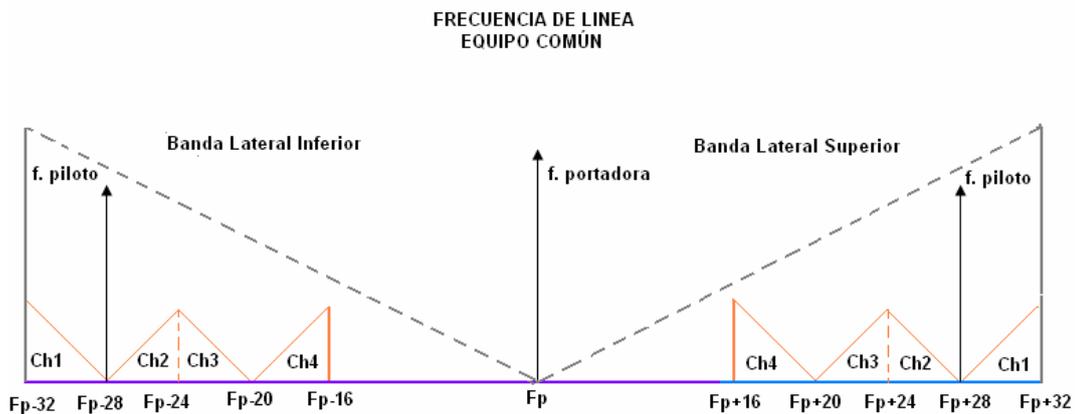


Figura 1.8. Espectro de frecuencia del Power Line Communication en radiofrecuencia

1.1.1.5.4. Modulación del Enlace

La modulación de amplitud (AM) como su nombre lo indica este método de modulación utiliza la amplitud de onda para transportar la señal de audio. Como muestra la figura 1.9., la variación en la amplitud de la señal es resultado de la señal de audio.

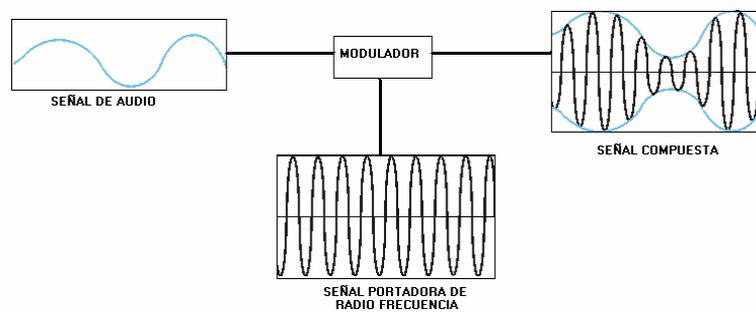


Figura 1.9. Modulación de amplitud AM

La modulación en Banda Lateral Única (BLU) consiste en la supresión de la portadora y una de las bandas laterales con lo cual se transmite solo una banda lateral conteniendo toda la información. Una vez captada la señal BLU en el receptor, éste reinserta la portadora para poder demodular la señal y transformarla en audio de nuevo. La ventaja de este sistema sobre la AM es su menor ancho de banda requerido; ya que una señal de AM transporta 2 bandas laterales y el BLU solo una.

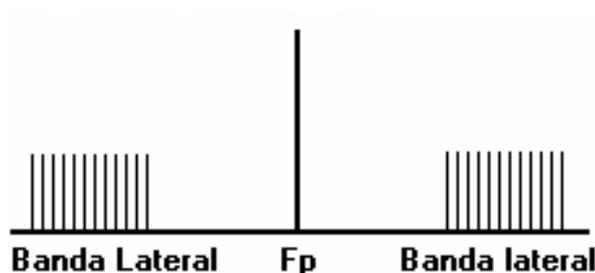


Figura 1.10. Modulación SSB Single Side Band

La modulación de banda lateral única y de amplitud es utilizada para transmisiones de voz, señalización y prueba de tono.

La modulación por desplazamiento de frecuencia (F.S.K.), permite transmitir un tren de pulsos en dos determinados valores de tensiones discretas, por lo tanto, un valor de tensión discreta es una frecuencia (f_1), mientras que el segundo valor de tensión discreta es otra frecuencia (f_2).

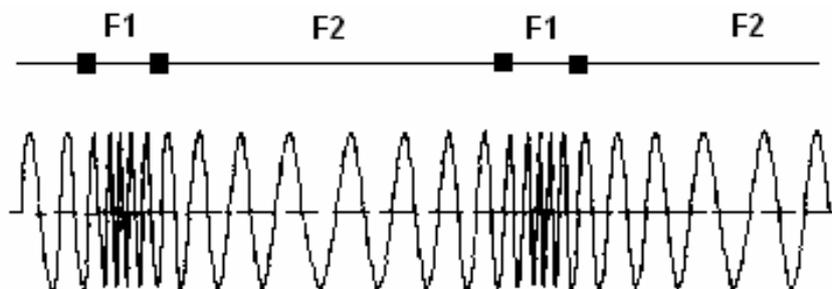


Figura 1.11. Señal modulada con FSK (Frequency Shift Keying)

La modulación FSK (Frequency Shift Keying) en el sistema Power Line Communication es utilizada para proporcionar canales de telemetría, datos, control de la carga, control de la frecuencia, y retransmisión.

1.1.1.5.5. Componentes del Sistema

Los componentes del sistema Power Line Communication marca General Electric se encuentran conformados por el equipo de patio y el equipo de PLC.

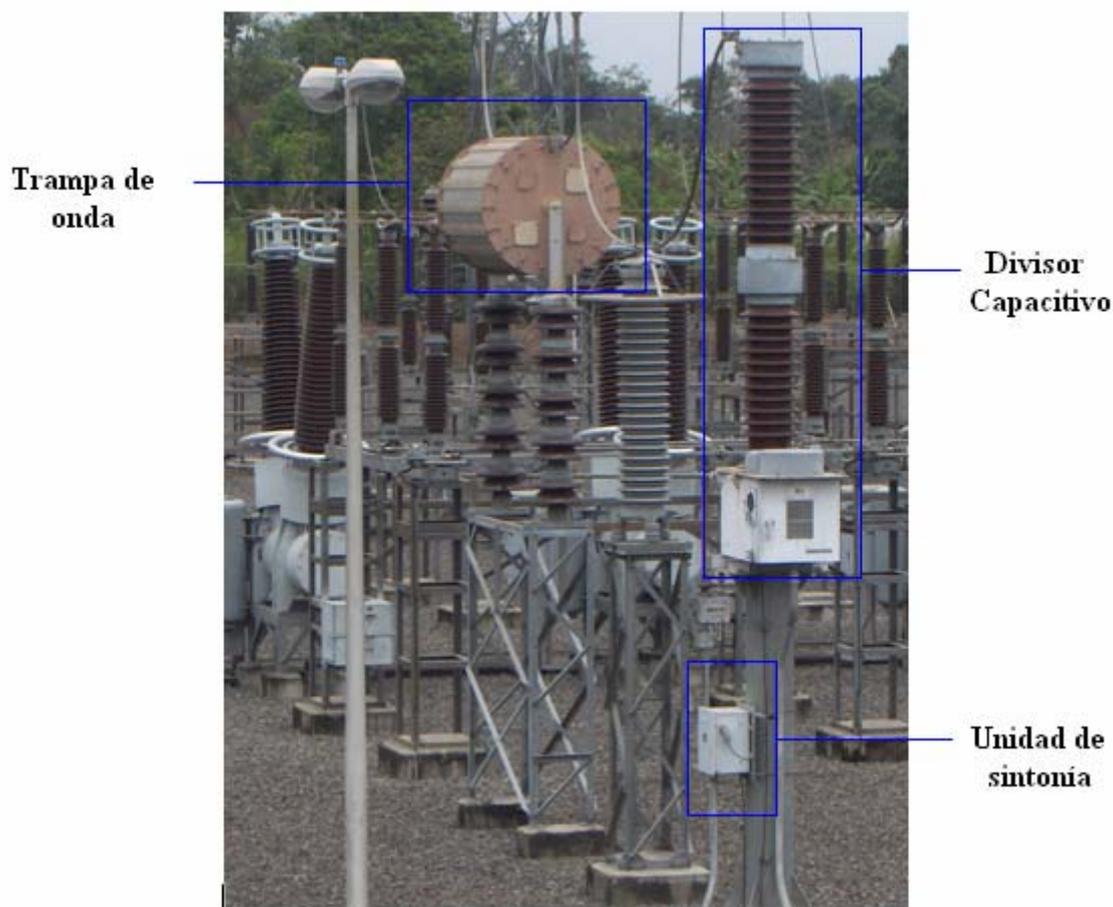


Figura 1.12. Equipo de patio del sistema Power Line Communication en la subestación de Quevedo

En el equipo de patio cuenta con:

- Divisores capacitivos
- Trampa de onda
- Unidad de Sintonía

Los divisores capacitivos que tiene la función de acoplar los sistemas de telecomunicaciones en alta frecuencia a las líneas aéreas de alta tensión.

En la tabla 1.3. se describe los divisores capacitivos utilizado:

DIVISOR CAPACITIVO POTENCIAL	
Serie	POL-205-5K
Marca	NISSIN ELECTRIC
Tensión nominal primaria	$230/\sqrt{3}$ kV
Número de secciones	3
Carga Total	400VA
Tensión	115V y 66,4V
Frecuencia nominal	60Hz
Tensión máxima del servicio	242 kV
Capacitancia nominal	0.03 μ F
Temperatura ambiente	5 a 40°C
Peso	1250Kg

Tabla 1.3. Datos técnicos del divisor capacitivo potencial instalado en la Subestación Quevedo



Figura 1.13. Equipo de capacitares de acoplamiento en la subestación de Quevedo

También existe la trampa de onda que es una bobina de bloqueo que se encuentra conectado en serie a la línea de alta tensión actuando como un interruptor a su frecuencia. Algunas de las ventajas obtenidas a través del uso de las trampas de onda son las siguientes:

- a. Prevención de pérdida de señales portadoras en las líneas, incrementando el rango de operaciones de los canales de los portadores.
- b. Permitir la operación normal del equipo de los portadores cuando la línea de energía es conectado a tierra a través de la trampa de onda.
- c. Permitir una mejor elección de frecuencias portadoras minimizando la interferencia de otros canales portadores y prevenir reflejos de las frecuencias portadoras, las cuales causan pérdidas en frecuencias seguras.



Figura 1.14. Equipo de trampa de onda en la subestación de Quevedo

Unidad de sintonía o sintonizador de línea, se encarga de insertar inserta una reactancia capacitiva (X_C) en el recorrido de la señal, para juntar eficientemente la señal del portador de corriente sobre la línea de energía, esta reactancia capacitiva se debe sintonizar hacia fuera para presentar una carga resistente a un transmisor del portador. Para sintonizar fuera del condensador de acoplamiento (X_C), un inductor ajustable en serie se utiliza según lo mostrado en la figura 1.15. Se sintoniza este inductor de modo que su reactancia inductiva (X_L) sea igual a la reactancia del condensador de acoplamiento (X_C). Así, un circuito en serie-resonante se forma en la frecuencia de la señal de portador deseada.

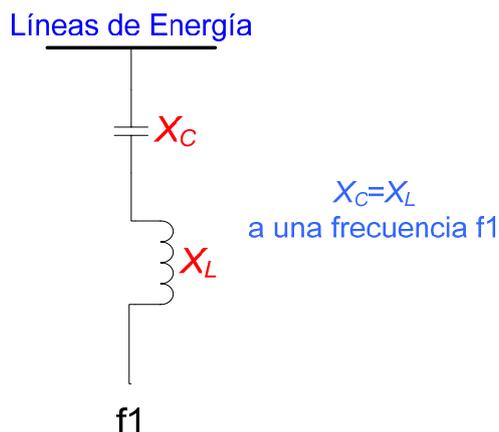


Figura 1.15. Estructura de un sintonizador de línea o unidad de sintonía

En este circuito serie-resonante, $X_L = X_C$ y los dos están 180° fuera de fase. Por lo tanto, la resonancia se cancela, dando por resultado una impedancia muy baja.



Figura 1.16. Unidad de sintonía ubicada en la Subestación de Quevedo

El circuito resonante antedicho es adecuado para juntar una sola frecuencia a la línea. Para juntar dos frecuencias a una sola línea, el sintonizador se debe alterar por la adición de un segundo circuito, tal como demostrado en la figura 1.17. En este uso, las unidades de trampa de onda se insertan en cada trayectoria para rechazar todo excepto la frecuencia resonante en esa trayectoria.

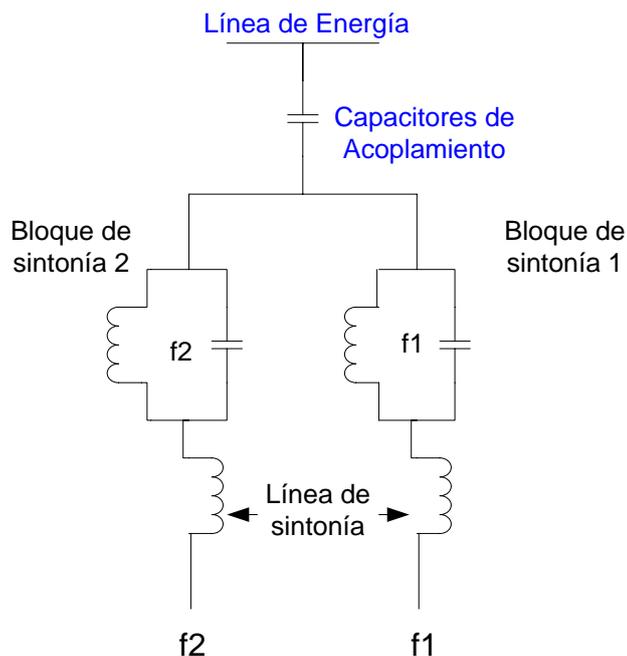


Figura 1.17. Sintonizador que utiliza dos frecuencias

Las unidades de sintonías instaladas cuentan con las siguientes características:

UNIDAD DE SINTONÍA O SINTONIZADOR DE LÍNEA	
Serie	LG-601
Marca	General Electric
Impedancia nominal (Lado de alta tensión)	300 ohmios
Impedancia nominal (Lado de equipos)	50 ohmios
Ancho de banda	60 a 450 kHz
Capacitancia del condensador de acoplamiento	0.01 μ F

Tabla 1.4. Características de la unidad de sintonía marca General Electric

El gabinete de PLC de marca General Electric se encuentra dividido en:

- Equipo común
- Equipo de canal.
- Central telefónica
- Equipo de potencia

Los equipos trabajan a diferentes frecuencias, el equipo común está en radiofrecuencia (remitirse a las figuras 1.8.) teniendo la función de preparar a las señales a transmitir, transformando de frecuencia intermedia a radiofrecuencia o viceversa.

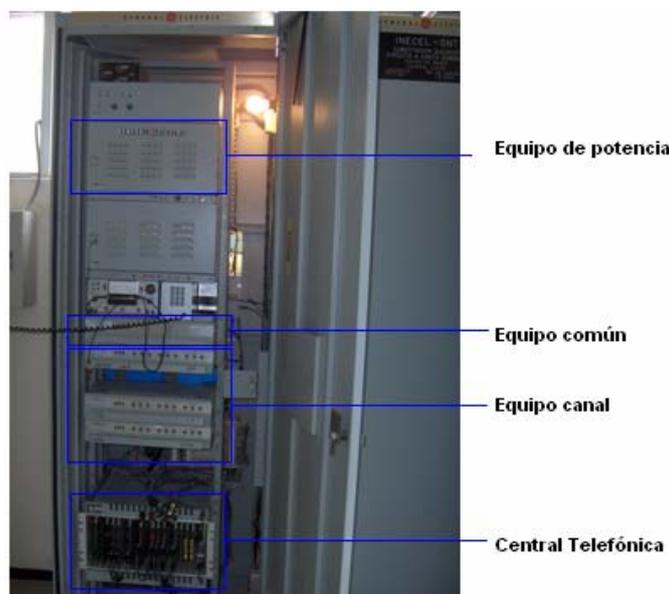


Figura 1.18. Gabinete de Power Line Communication marca General Electric

El equipo canal trabaja a banda base (16KHz a 32 KHz), esta sección del gabinete PLC General Electric son los puntos terminales de los canales de voz y datos. Por lo tanto, el equipo canal es donde se deben realizar las prueba de señalización y tono para una transmisión. Aquí es donde encontramos los cuatro canales con los que cuenta el sistema (remitirse a la figura 1.7.).

Algunos gabinetes de PLC cuentan con centrales telefónicas las cuales permiten ampliar la cantidad de líneas de voz. En el caso de la subestación Quevedo tiene con una central telefónica.

Los equipos de PLC poseen con un sistema de potencia que se utilizan para lograr grandes distancias de transmisión, evitando que se degrade la señal. Se obtiene potencia de 20Watts o 100Watts según la distancia a transferir.

En la figura 1.19. se ha utilizado únicamente el canal 1 y el canal 2, quienes están conectados a una Unidad de Terminal Remota (U.T.R.) y a la central telefónica respectivamente.

La figura 1.19. muestra todos los componentes con los que cuenta el sistema Power Line Communication:

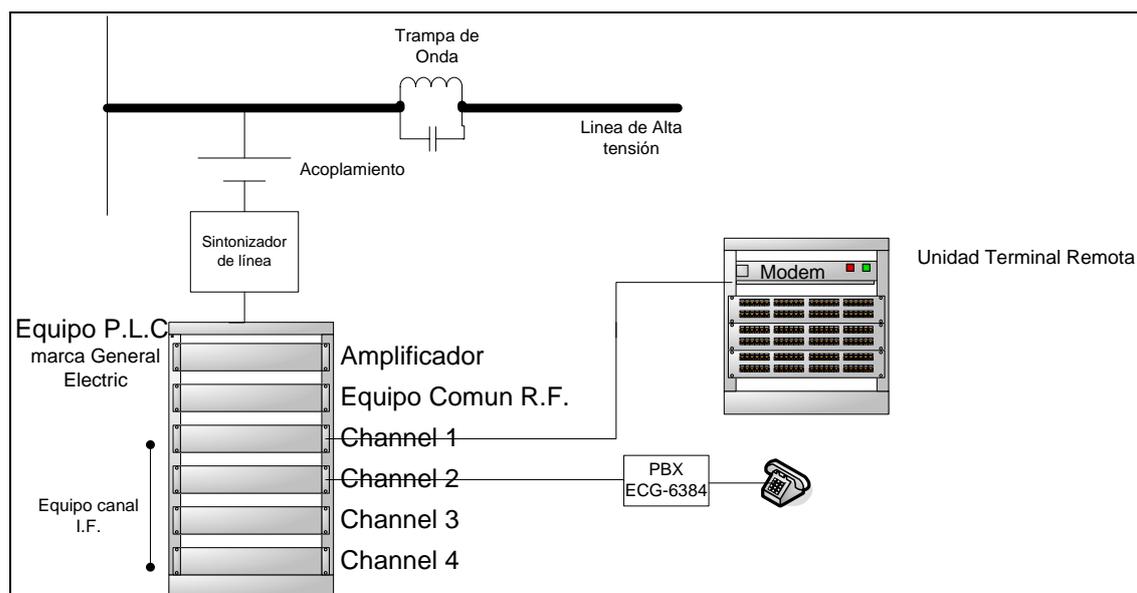


Figura 1.19. Sistema Power Line Communication

Adicionalmente, las Unidades Terminales Remotas (R.T.U.) utilizadas en todas las subestaciones son dispositivos, inteligente que recoge, almacena y procesa la información que viene de la instrumentación de campo.

La RTU consta básicamente de tres partes: entrada y salida, CPU y comunicaciones. La parte de entradas / salidas está compuesta por una serie de tarjetas de diversos tipos de acuerdo a la señal que va a recibir.

El CPU es la parte inteligente de la RTU; se basa en procesadores modelo 80186, 80386, 6800 ó más avanzados. Allí existen también memorias RAM, PROM y EPROM, que poseen varios módulos preprogramados que permiten hacer cálculos controles, comandos, etc., con los cuales puede manejar los procesos que desee.

Finalmente existe la parte de puertos de comunicaciones cuya función es tomar la información en forma digital y ubicarla en un puerto (usualmente tipo RS232) para ser posteriormente transmitida al Centro de Control mediante el Nivel de Comunicaciones.

1.1.1.5.6. Servicios

Los servicios que presta la red PLC en TRANSELECTRIC S.A. son de uso propio, con un ancho de banda de 4kHz siendo los siguientes:

- Transmisión analógica de voz
- Transmisión de datos
- Teleprotección
- Sistema Scada

Teleprotección

El equipo de teleprotección se utiliza entre dos extremos a proteger, con el fin de mantener en servicio toda la red.



Figura 1.20. Equipo de teleprotección en la subestación de Quevedo marca General Electric

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

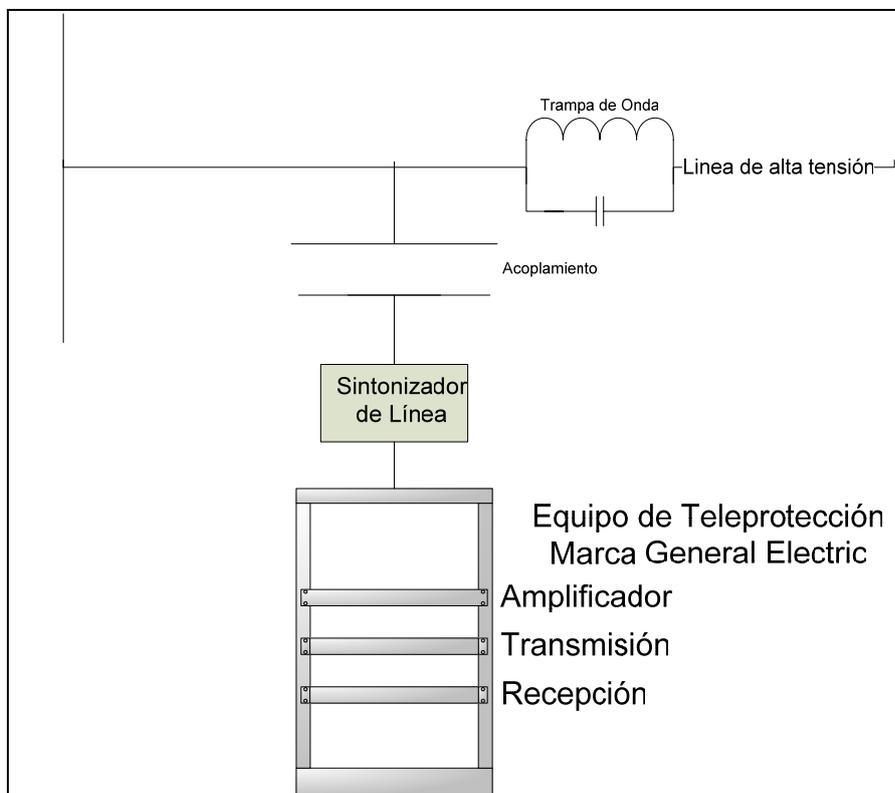


Figura 1.21. Equipo de teleprotección marca General Electric

Sistema Scada

Toda red de transmisión requiere ser supervisada y controlada a distancia, por lo tanto, un sistema Scada permite controlar, supervisar y adquirir datos de una red, con lo cual se tiene información como: reportes, gráficos de tendencias, historias de variables, cálculos, predicciones, etc.

La interface que proporcionan el sistema PLC son:

- Módulo de interfaz RS232

1.1.2. FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es uno de los medio más utilizados para la transmisión de datos a medianas y larga distancia. En la actualidad existen anillos de fibra óptica instalados por todo el planeta, los cuales pueden transmitir gran cantidad de información. El proceso de estudio, instalación, pruebas, monitoreo, gestión, mantenimiento, etc. de la fibra óptica implica grandes gastos para las empresas.

El principio básico de encendido y apagado de la comunicación con luz utilizado en el pasado es similar al utilizado hoy en las fibras ópticas. Las señales de información a transmitir controlan una fuente de luz encendiéndola y apagándola en secuencia codificada particular o variando su intensidad.

La luz se acopla a una fibra óptica, que la guía a lo largo de la distancia a comunicar. En el extremo del receptor un detector decodifica la luz y reproduce la información de la señal.

A medida que se alcancen mejoras en la revolución luminosa podremos gozar de mejores servicios, la necesidad que tienen las compañías de tener mayores prestaciones para sus clientes, forma un ambiente adecuado para el desarrollo y aplicaciones de servicios a través de la fibra óptica.

1.1.2.1. Transmisión Básica

Una fuente de luz modula un diodo emisor (LED) o un láser, que se enciende, apaga o varía su intensidad, determinando la señal eléctrica de entrada que contiene la información.

El detector óptico recibe la señal modulada y la convierte en una señal eléctrica idéntica a la señal de entrada, logrando obtener los datos que se desean transmitir.

Las técnicas de transmisión pueden variar en tres categorías:

- Digital
- Analógica

- Analógica-Digital

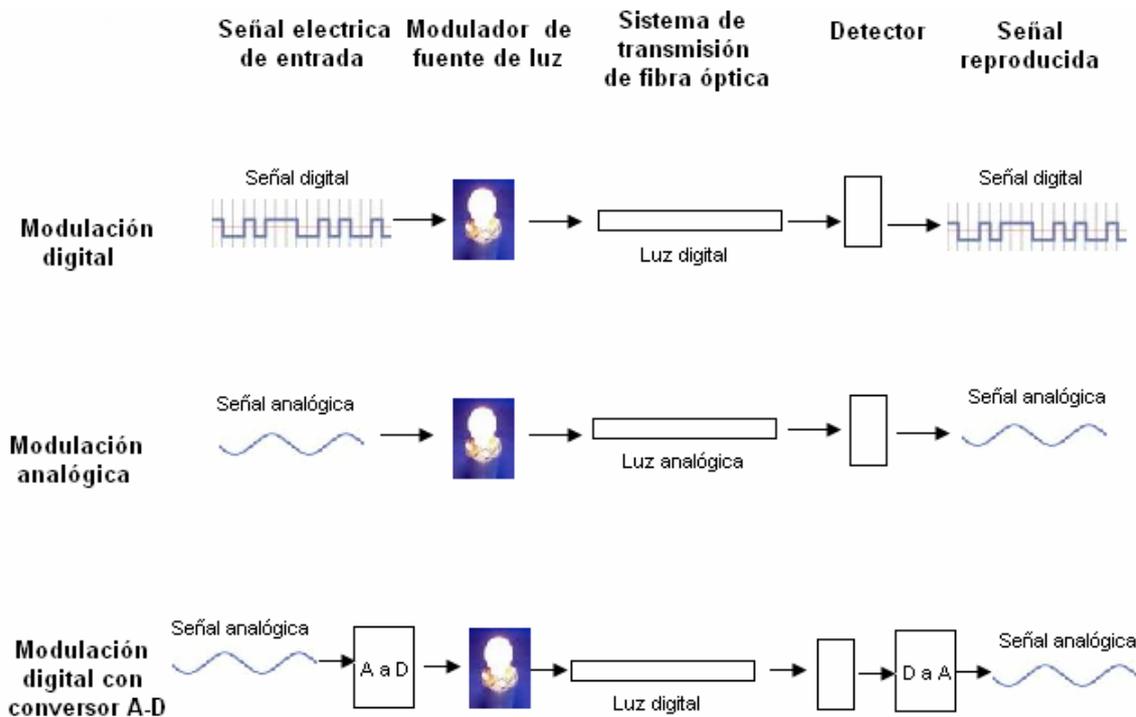


Figura 1.22. Transmisión básica en fibra óptica con modulación digital, analógica y digital con convertor A-D.

1.1.2.2. Propiedades de la Luz

1.1.2.2.1. Espectro Electromagnético

La luz se comporta como una onda electromagnética y pertenece al espectro electromagnético. Las frecuencias de luz son mucho más altas que las frecuencias de radio y televisión. Para visualizar lo antes mencionado se tiene a continuación el espectro electromagnético.

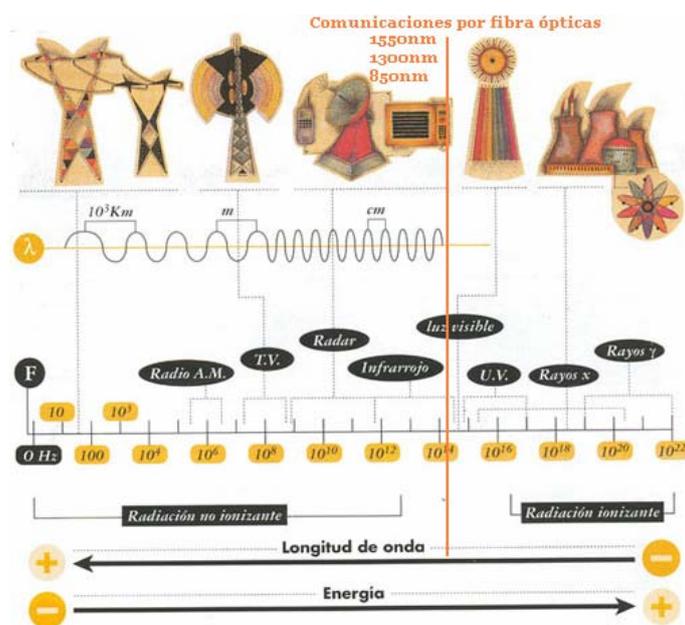


Figura 1.23. Espectro Electromagnético

La luz que se usa para las comunicaciones a través de la fibra óptica se encuentra ubicada en la región infrarroja (IR) dentro del espectro electromagnético. La luz visible al ojo humano empieza alrededor de 770nm y termina en 330nm, mientras la fibra óptica están en 850nm, 1310 y 1550nm.

Se debe tener precauciones con la luz proveniente de la fibra óptica, esta sea visible o invisible. La luz puede producir daños irreparables en la vista humana.

La alta frecuencia utilizada en la fibra óptica en el orden 2.3×10^{14} Hz, lo que permite la transmisión de información a velocidades mayores. Actualmente los equipos de transmisión pueden modular la luz a 2.4 Gbps.

1.1.2.3. Estructura de la Fibra Óptica

La fibra óptica consiste en un material transparente cilíndrico y largo que tiene como finalidad transmitir información a través de ondas de luz. La composición de la fibra óptica está determinada los siguientes elementos:

1. Fibra óptica
2. Protección (ajustada u holgada)

3. Elemento de tracción (Aramida o fibra de vidrio + waterblocking)
4. Cubierta interna: PE, LSZH, PVC-NBR, PUR...
5. Armadura (Trenza de fibra de vidrio, malla de acero o chapa corrugada)
6. Cubierta exterior PE, LSZH, PVC-NBR, PUR.

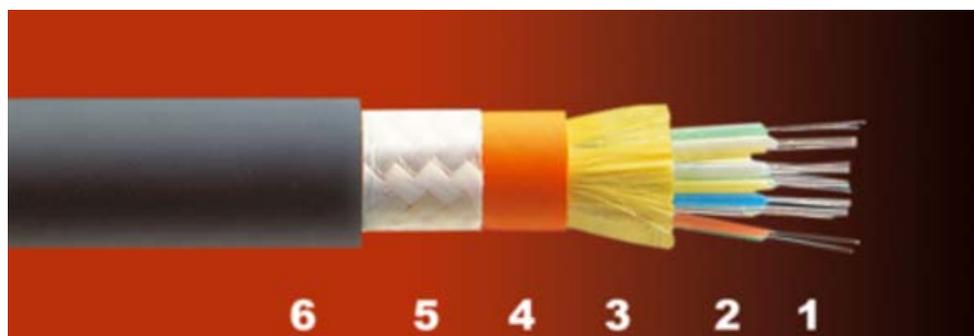


Figura 1.24. Estructura de la fibra óptica

Las capas del núcleo de sílice y del revestimiento difieren ligeramente en su composición, debido a pequeñas cantidades de materiales, como el boro o germanio, que son añadidos durante el proceso de fabricación, logrando alterar los índices de refracción de ambas capas.

1.1.2.4. Fibra Óptica Multimodo

Una fibra multimodo es una fibra que puede propagar más de un modo de luz. El número máximo de modos de luz que pueden existir en el núcleo de una fibra se puede determinar matemáticamente por la siguiente expresión:

$$M = \frac{1 + 2D(n_1^2 - n_2^2)^{0.5}}{\lambda} \quad \text{Ecuación 1.4.}$$

- D = diámetro del núcleo
- n_1 = índice de refracción del núcleo
- n_2 = índice de refracción del revestimiento
- λ = longitud de onda de la luz

Existen dos tipos de fibra multimodo:

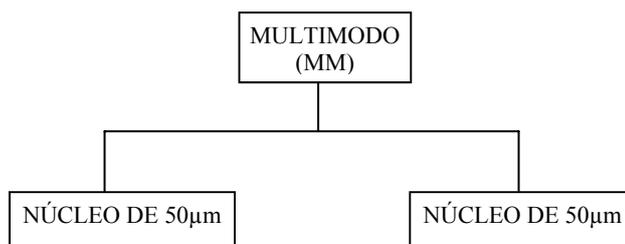


Figura 1.25. Tipos de fibras multimodo

1.1.2.4.1. Fibra Multimodo de Índice Escalonado

El núcleo de la fibra multimodo de índice escalonado puede estar constituido de vidrio o plástico, donde el vidrio tiene una atenuación de 30dB/km y el plástico de 100dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

Un pulso más ancho significa que se pueden enviar menos pulsos por segundo, lo que resulta una disminución de la cantidad de flujo informativo.



Figura 1.26. Fibra multimodo de índice escalonado

1.1.2.4.2. Fibra Multimodo de Índice Gradual

Este tipo de fibra tiene una banda de paso de 500Mhz por kilómetro. El índice de refracción no es único y va decreciendo mientras se acerca a los bordes, es decir, del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

La luz viaja más rápido por la zona superficial, donde el índice de refracción es menor y puede compensar el desplazamiento de las ondas exteriores con las interiores, ya que si nos fijamos las ondas externas tienen mayor distancia que las interiores. Esto reduce la cantidad de ensanchamiento del pulso entre los rayos de luz del centro del núcleo y de la región exterior.

La fibra multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125 mm (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizada, pero se pueden encontrar otros tipos de fibras:

- Multimodo de índice escalonado 100/140 mm.
- Multimodo de índice de gradiente gradual 50/125 mm.



Figura 1.27. Fibra multimodo de índice gradiente gradual

1.1.2.5. Fibra Monomodo

La fibra monomodo, es la que tiene mayor capacidad de transporte de información, la cual está en el orden de los 2GHz. Cabe indicar que su implementación es más complicada que las anteriores.

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz (ver figura 1.28.). Esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño que sólo permite un modo de propagación. El tamaño del núcleo de la fibra monomodo está comprendido entre 8 y 10 μm .

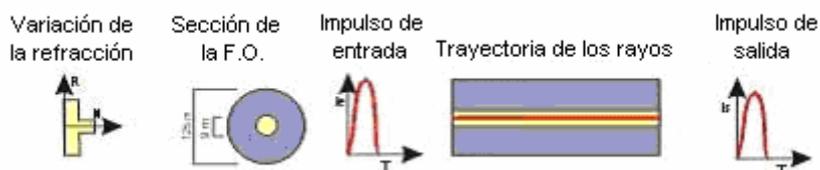


Figura 1.28. Transmisión a través de fibra monomodo

Existen varios tipos de fibra monomodo y son las siguientes:

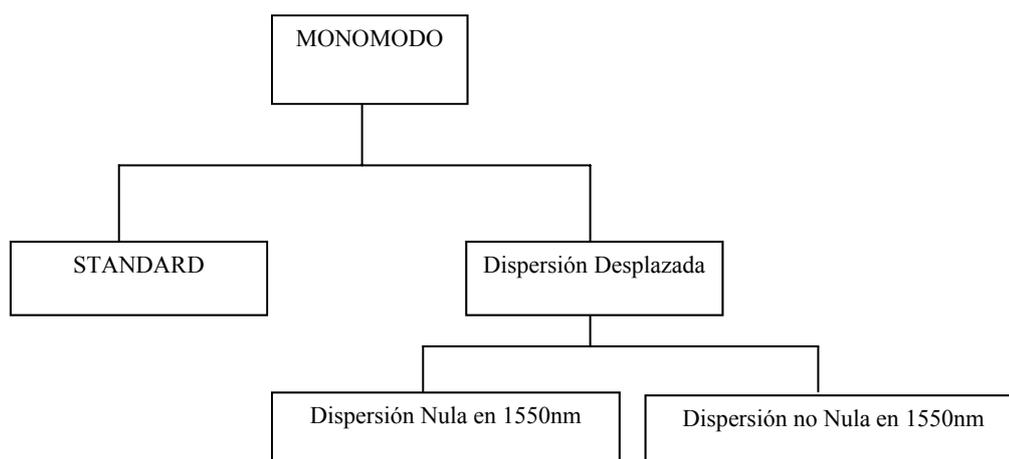


Figura 1.29. Tipos de fibra monomodo

1.1.2.6. Ventajas de la Fibra Óptica

- Gran capacidad para transmitir amplias cantidades de información.
- Tamaño y peso de la fibra óptica con respecto a los otros medios de transmisión, como es el caso del cable coaxial.
- La fibra óptica es inmune a la interferencia eléctrica, esta sea interferencia electromagnética (EMI) o interferencia de radiofrecuencia (RFI).
- Las fibras de vidrio eliminan la necesidad de corrientes eléctricas para el camino de la comunicación.
- La fibra óptica proporciona una comunicación segura, ya que el haz de luz viaja a través del centro de la fibra y pocos o ninguno puede escapar.
- Una fibra óptica bien aplicada proporciona gran fiabilidad y casi ningún mantenimiento en las líneas de conexión.
- La fibra óptica entrega gran versatilidad en sistemas de comunicaciones para la mayoría de formatos, estos sean de voz, datos y video.

- Los sistemas de fibra óptica suministran gran facilidad al momento de ampliar la red.
- Debe pasar muchos kilómetros (70km) para que sea necesaria una regeneración de señal, estos estándares van a ser mejorados hasta llegar a 200Km.

1.1.2.7. Desventajas de la Fibra Óptica

- La conversión electro-óptica requiere un sistema de comunicaciones de fibra óptica donde incrementa los costos.
- La fibra óptica requiere de caminos homogéneos, es decir, el momento de instalación la fibra requiere mantener una ruta directa teniendo que alquilar o comprar terrenos.
- El extremo cuidado que requiere la fibra óptica en su instalación y mantenimiento ya que está compuesto por fibra de vidrio.
- La fibra óptica averiada no es fácil reparar.
- La fibra de vidrio tiene un tiempo de enriquecimiento más corto que los otros medios utilizados.

1.1.2.8. Situación Actual de TRABSELECTRIC S.A. en Cable de Guardia con Fibras Ópticas (OPGW)

Las redes de telecomunicaciones en la actualidad se han convertido en un factor fundamental para el desarrollo de las empresas, consiguientemente, los sistemas aéreos de cable de Fibra Óptica han logrado un lugar importante para la ampliación de redes. La ausencia de obra civil y los derechos de paso ya existentes, permiten minimizar los costos y lo que es más importante, el tiempo de puesta en servicio de la red.

El cable OPGW (Optical Overhead Ground) es un potente sistema de telecomunicaciones que puede soportar las necesidades de comunicaciones de las Compañías Eléctricas como es el caso de TRANSELECTRIC S.A., al mismo tiempo proporcionan gran capacidad para otras aplicaciones u Operadores de Telecomunicaciones (Carrier).



Figura 1.30. Torre de alta tensión

1.1.2.8.1. Diagrama de Bloques del Sistema

A Continuación, se puede ver la figura 1.31. de la red de fibra óptica con la que cuenta TRANSELECTRIC S.A.:

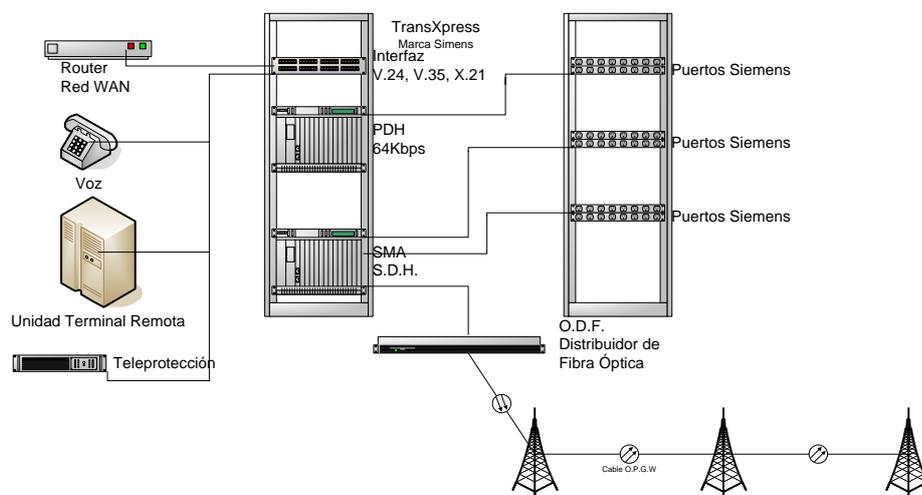


Figura 1.31. Estructura del sistema de Fibra Óptica propiedad de Translectric S.A.

1.1.2.8.2. Características del Enlace

La creciente demanda de servicios ha generado la elevación de tasas [bits/s], exigiendo ampliar las capacidades de transmisión hasta 2.5Gbps. El multiplexor SDH TransXpress SMA16 tiene una capacidad de un STM16 con completa conectividad a niveles E1, E2, STM1 y STM4.



Figura 1.32. Equipo de fibra óptica SMA-16 en la subestación de Quevedo marca SIEMENS

Su inherente flexibilidad proporciona importantes reducciones de costo durante el ciclo de vida del equipo, al posibilitar un diseño de red simplificado y altos niveles de utilización de la red.

Su total compatibilidad con los recientes desarrollos de Siemens, como SL16, SL64 y WL garantiza una larga vida de servicio, incluso en futuras aplicaciones.

En la tabla 1.5. se observa la descripción general del sistema y las características técnicas de la fibra:

1. DATOS GENERALES	
Descripción del Equipo	Componente de Sistemas de fibra óptica, las estaciones de TRANSELECTRIC S.A. manteniendo una conexión directa.
Aplicación	Servicios de Portador de Telecomunicaciones
Modelo de multiplexores	TransXpress SMA 16
Interfaz de Usuario	2 Mbit/s, 34 Mbit/s, 140 Mbit/s, STM-1, STM-4 y STM-16
Fabricante	SIEMENS
Topología	Bus y anillo
2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE FIBRA	
Diámetro del núcleo	8 a 10 μm
Diámetro del cable de F.O.	14,5mm
Fibra	Monomodo
Tipo de Fibra	OPGW
Dispersión cromática	0.2 ps/nm por km
Fabricante de la Fibra	Pirelli
Velocidad de transmisión	2.5 Gbps

Tabla 1.5. Características del sistema Power Line Communication

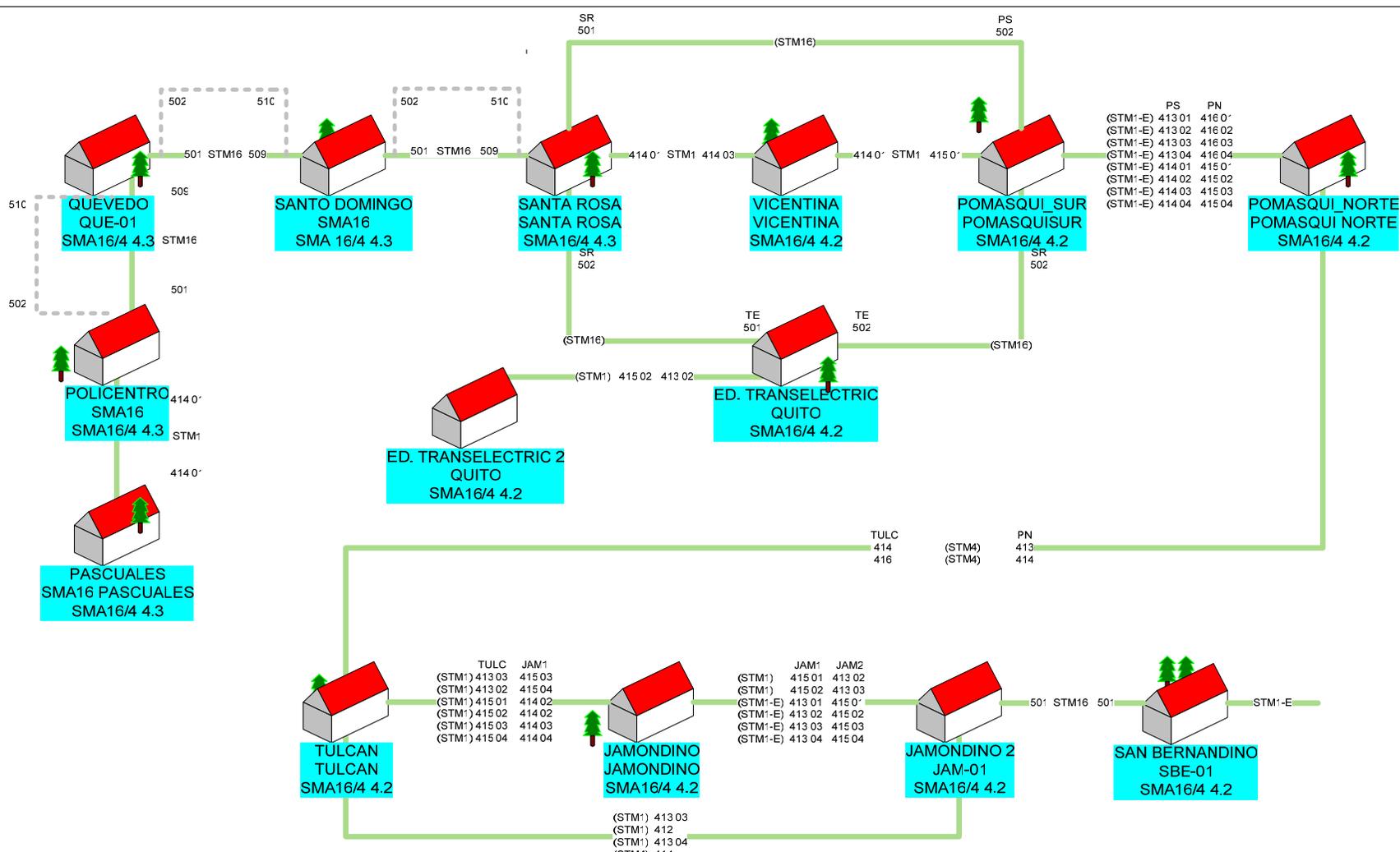
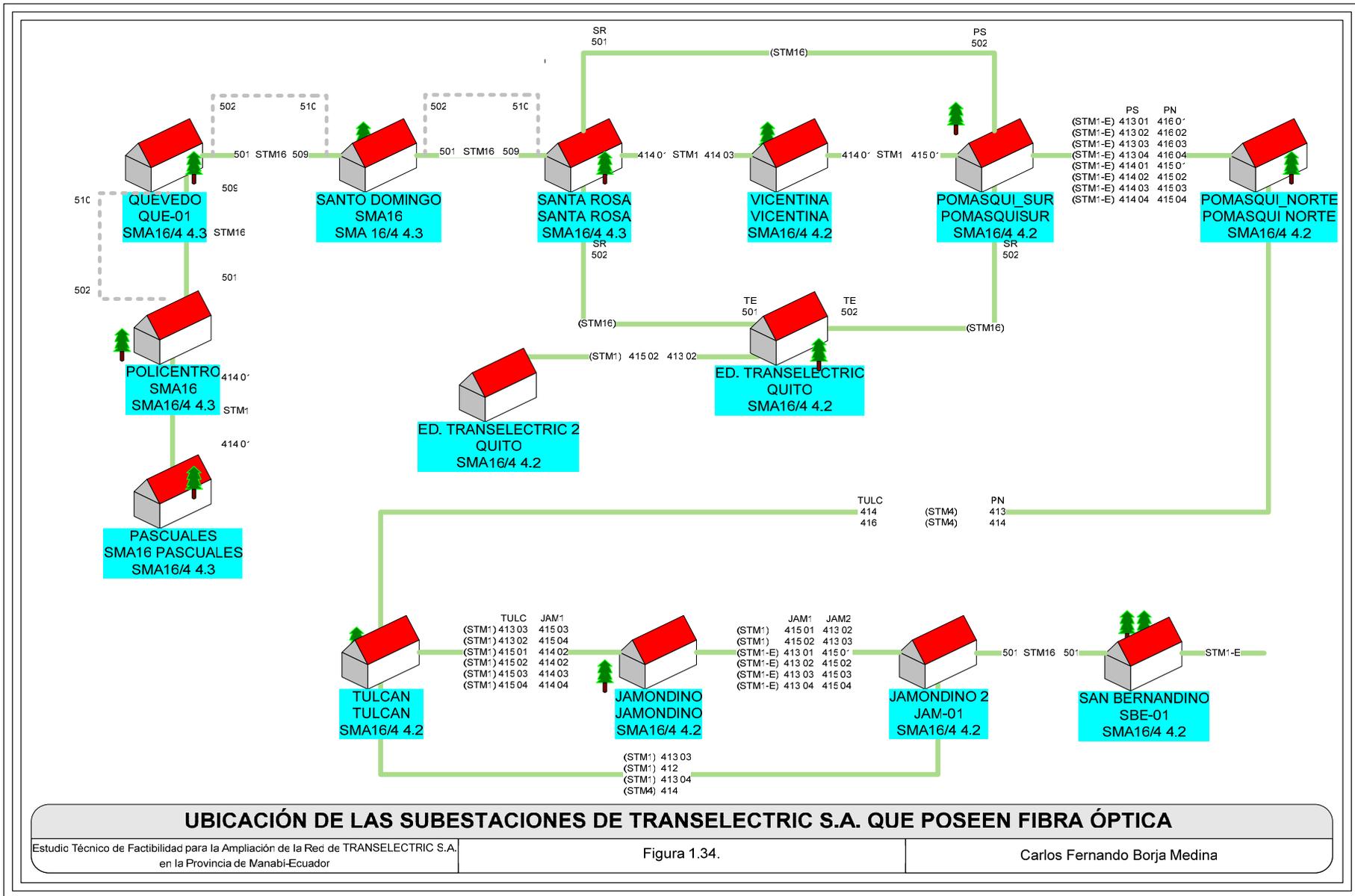
1.1.2.8.3. Descripción Actual del Enlace

El sistema tiene enlaces entre las principales ciudades del país (Quito y Guayaquil) utilizando fibra óptica OPGW cuya característica principal es el paso a través de las líneas de alta tensión.



Figura 1.33. Equipo de fibra óptica (FMX) de uso interno con capacidad de 64Kbps en la subestación de Quevedo de marca SIEMENS

Los equipos multiplexores TransXpress SMA16 comunican las estaciones de Santa Rosa ubicado al sur de la ciudad de Quito con el edificio de TRANSELECTRIC S.A. y Pomasqui, las cuales están conectadas con un STM16. La subestación Vicentina se encuentra conectada hacia Pomasqui y Santa Rosa a través de un STM1.



TRANSELECTRIC S.A. posee una red de fibra óptica Quito - Santo Domingo, saliendo desde la estación Santa Rosa a través de un STM16. En la actualidad, se cuenta con una nueva red troncal de fibra STM16 que cubre el tramo Santo Domingo – Quevedo – Policentro (Guayaquil) - Pascuales. Las estaciones Pomasqui Norte, Tulcán, Jomondino y San Bernardino son propiedad de TRASNEXA pero se encuentran gestionadas por TRANSELECTRIC S.A.

El sistema de fibra óptica puede manejar tecnología PDH, es decir, tiene la capacidad de manejar velocidades menores a 2Mbps, los cuales se encuentran utilizados para comunicaciones exclusivas de la empresa.

1.1.2.8.4. Componentes del Sistema

Los componentes del sistema de transmisión de la red de fibra óptica de TRANSELECTRIC S.A. son:

- Fibra óptica
- Conversores óptico-eléctricos
- Multiplexores
- Servicios

La red posee multiplexores TransXpress SMA-16 de alta capacidad, los cuales están caracterizados por:

- Multiplexor add/drop, multiplexor Terminal y funcionalidad de cross-conector local.
- Conectividad total en los niveles VC-4 (virtual contenedor), VC-3, VC-2 y VC-12 entre dos interfaces cualesquiera.
- Interfaces 2 Mbit/s, 34 Mbit/s, 140 Mbit/s, STM-1, STM-4 y STM-16.
- Preamplificador óptico y amplificador para las interfaces STM-4 y STM-16.
- Amplias capacidades para conmutación de protección: MSP, BSHR2/4, SNC/P con drop & continue.
- TCM en todos los niveles de señal.



Figura 1.35. Multiplexores Siemens TransXpress SMA-16

Estos multiplexores proporcionan los siguientes beneficios:

- Diseño flexible y compacto de sub-bastidor único para satisfacer las necesidades de diseño de red de los operadores.
- Mayor visibilidad de la performance de la red a través de la facilidad TCM (Tandem Connection Monitoring).
- Gestión centralizada, potente y simple mediante la solución TMN de Siemens.

Además la red tiene una fibra óptica con las siguientes características:

Tipo OPGW	TD
Número de fibras	48
Diámetro del cable (mm)	14.5
Peso (kg/km)	473
Carga rotura (kg)	5660
Estructura	Armadura simple

Tabla 1.6. Características de la fibra óptica instalada



Figura 1.36. Fotografías de la subestación Quevedo

Existen equipos PDH de baja capacidad para comunicaciones del sector eléctrico, donde se requieren canales con limitadas velocidades. Estos equipos se denominan convertidores óptico-eléctricos de marca RAD modelos FOM-40.



Figura 1.37. Convertidor óptico-eléctrico marca RAD serie FOM-40

El convertidor FOM-40 puede soportar velocidades de: 56, 64, 112, 128, 256, 512, 1024, 1536, 1544 y 2048 Mbps. Este dispositivo funciona en “full duplex” o en semidúplex sobre cable de fibra óptica, tiene un alcance de hasta 10 km utilizando diodo láser monomodo de 1550 nm. El módem FOM-40 puede trabajar sobre fibra óptica monomodo o multimodo con LED de 850 nm o 1310 nm y diodo láser de 1310 nm o 1550 nm.

TRANSELECTRIC S.A. es una empresa dedicada a transportar energía en grandes cantidades, por lo tanto, requiere mantener protegida toda la red eléctrica. Los protectores proveen a las compañías la capacidad de identificar, de aislar y de resolver rápidamente problemas en su red de transmisión. El SWT 3000 (equipo de teleprotección) puede utilizar las trayectorias de transmisión análogas y digitales al comunicarse, el sistema ofrece un

alto grado de seguridad, manteniendo el tiempo de transmisión en el orden de los milisegundos.



Figura 1.38. Equipo de teleprotección Siemens SWT 3000

Cabe indicar que contamos con distribuidores de fibra óptica (figura 1.39.).



Figura 1.39. Distribuidor de fibra óptica ODF

1.1.2.8.5. Servicios e Interfases

Los servicios que presta la red de fibra óptica de TRANSELECTRIC S.A. es ser Portador de Telecomunicaciones, donde los clientes son las empresas líderes en el mercado de comunicaciones en nuestro país como por ejemplo Porta Celular.

Las interfases que utiliza la red son:

- V35
- V24
- X21

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE CAMPO

2.1. SITUACIÓN ACTUAL

El estudio de campo involucra toda la ruta física del enlace. El acceso a la red permitirá integrar en comunicaciones a la provincia de Manabí obteniendo mayores cantidades de información.

Actualmente la provincia de Manabí está conectada a la red nacional de transmisión con una línea de energía de 138 kV la cuál posee doble circuito. La tecnología ocupada para dicha conexión es Power Line Communication analógico. El estudio de ruta es esencialmente importante ya que permitirá medir la factibilidad de la ejecución del proyecto.



Figura 2.1. Torres de alta tensión ruta Santo Domingo-Quevedo.

El enlace entre las ciudades de Quevedo y Portoviejo del sistema Power Line Communication digital proporcionará flexibilidad en la canalización de información, asignando prioridades en las comunicaciones entre dichas subestaciones. La asignación de canales de voz (en el orden de 16Kbps por canal) y de canales de datos (en el orden de 32Kbps) llega a 64Kbps o más.



Figura 2.3. Mapa físico del enlace entre las subestaciones de Quevedo y Portoviejo

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 230KV

La línea de transmisión Quevedo-Portoviejo que será construida tendrá una longitud aproximada de 110Km en torres metálicas de acero galvanizado. La línea constará de un solo circuito y un cable de guardia.

La distancia de seguridad hasta el suelo es de 7.8m, con una resistencia eléctrica o pie de torre de 10 ohmios, vano promedio 450 m. y una potencia nominal a transmitirse de 170 MVA.

La línea de transmisión inicia su recorrido desde la Subestación Quevedo en la Provincia de Los Ríos, atraviesa parte de la Provincia de Guayas y Manabí a una altura

cercana al nivel del mar, llegando a la nueva subestación de Portoviejo. Las estructuras de soporte de la línea de transmisión son aproximadamente 254 torres, la altura de las estructuras pueden variar entre 34 a 60m., con un tipo de cimentación mediante zapatas o losas de hormigón armado, y todas tienen conexión a tierra.



Figura 2.4. Proceso en que levanta una torre de alta tensión

La servidumbre de la línea de transmisión comprenderá una franja de 30 metros de ancho, 15 metros a cada lado del eje.



Figura 2.5. Servidumbre de una torre de alta tensión en la ruta Santo Domingo – Quevedo.

A continuación se puede observar en resumen los datos del medio de comunicación para el sistema Power Line Communication:

LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN DE 230KV	
Tramo	Quevedo-Portoviejo
Distancia entre Subestaciones	110Km
Número de circuitos	Inicialmente 1
Disposición de los conductores	Horizontal
Altura de los conductores	20m
Altura del hilo de guardia	23.7m
Distancia horizontal entre conductores	Dx(1-10)=4.25m. Dx(11-2)=4.25m. Dx(3-12)=4.75m. Dx(13-4)=4.75m. Dx(5-14)=4.25m. Dx(15-6)=4.25m. Dx(7-8)=3m. Dx(8-9)=3m. Dx(3-5)=16m. Dx(h1)=27.50m. Dx(h2)=34.25m. Dx(h3)=41m. Dx(h4)=2.25m
Distancia entre conductores	400mm
Distancia vertical entre conductores	3.7m
Tipo de conductor	ACAR 1200
Altura de los conductores de fase	7.8m
Número de cables de guarda	1
Tipo de cable de guarda	3/8" acero galvanizado de alta resistencia
Resistencia eléctrica a pie de torre	10 ohmios
Potencia nominal a transmitir	170 MVA
Distancia de seguridad al suelo	7.8 m

Tabla 2.1. Datos de la línea de alta tensión de 230KV

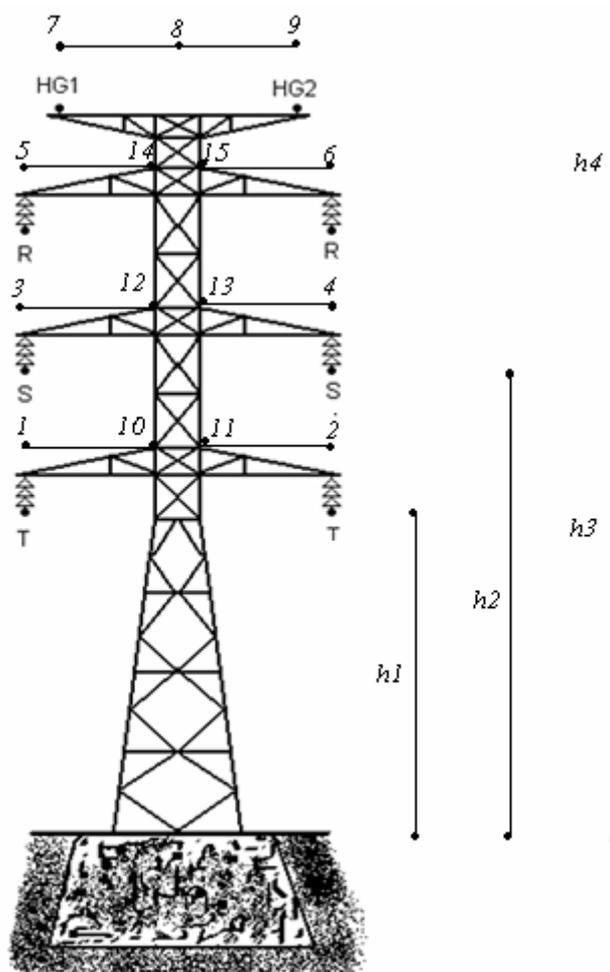


Figura 2.6. Torre de alta tensión de 230KV con sus respectivas medidas

El principal aislante de la línea de transmisión es el aire y por lo tanto deben conservarse distancias mínimas de los conductores energizados a los sitios de vivienda, cruce de vías y terrenos cultivados o no, por lo que de acuerdo con TRANSELECTRIC S.A. la línea de transmisión conservará la siguiente distancia vertical de:

SITIOS POBLADOS	DISTANCIA VERTICAL
Terrenos cultivados o no	7.5m
Camino de segundo orden	9.0m
Camino de primer orden	12.0m
Líneas de menor tensión	3.5m
Líneas de telecomunicaciones	4.0m

Tabla 2.2. Distancia mínima de los conectores energizados a los sitios de vivienda



Figura 2.7. Líneas de menor tensión en la ciudad de Guayaquil

En cuanto a la distancia horizontal las torres serán ubicadas a una distancia de:

SITIOS POBLADOS	DISTANCIA HORIZONTAL
Borde de quebradas o talud pronunciados	30 m
Bordes de carreteras de segundo orden	30 m
Bordes de carreteras de primer orden	30 m
Borde de ríos	50 m
Borde de canales de riego	15 m

Tabla 2.3. Distancia mínima de las torres al momento de ser instaladas

2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRUCTURAS

La línea de transmisión Quevedo-Portoviejo inicia en la subestación existente de Quevedo y termina en la subestación proyectada Portoviejo.



Figura 2.8. Torres de alta tensión

Recorre 110 K, en la costa ecuatoriana por la provincia de Los Ríos, Guayas y Manabí.

DETALLES TÉCNICOS DE LAS TORRES A INSTALARSE	
Cantidad aproximadas de estructuras	228
Torres de suspensión liviana	184
Torres de suspensión pesada	44
Torres de anclaje y transposición	2
Torres de anclaje y remate	2
Altura de las estructuras	Desde 34 a 60 m
Tipo de cimentación	Directa mediante zapatas o losas de hormigón armado

Tabla 2.4. Detalles técnicos de las torres a instalarse

2.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE CONDUCTORES Y CABLES DE GUARDA



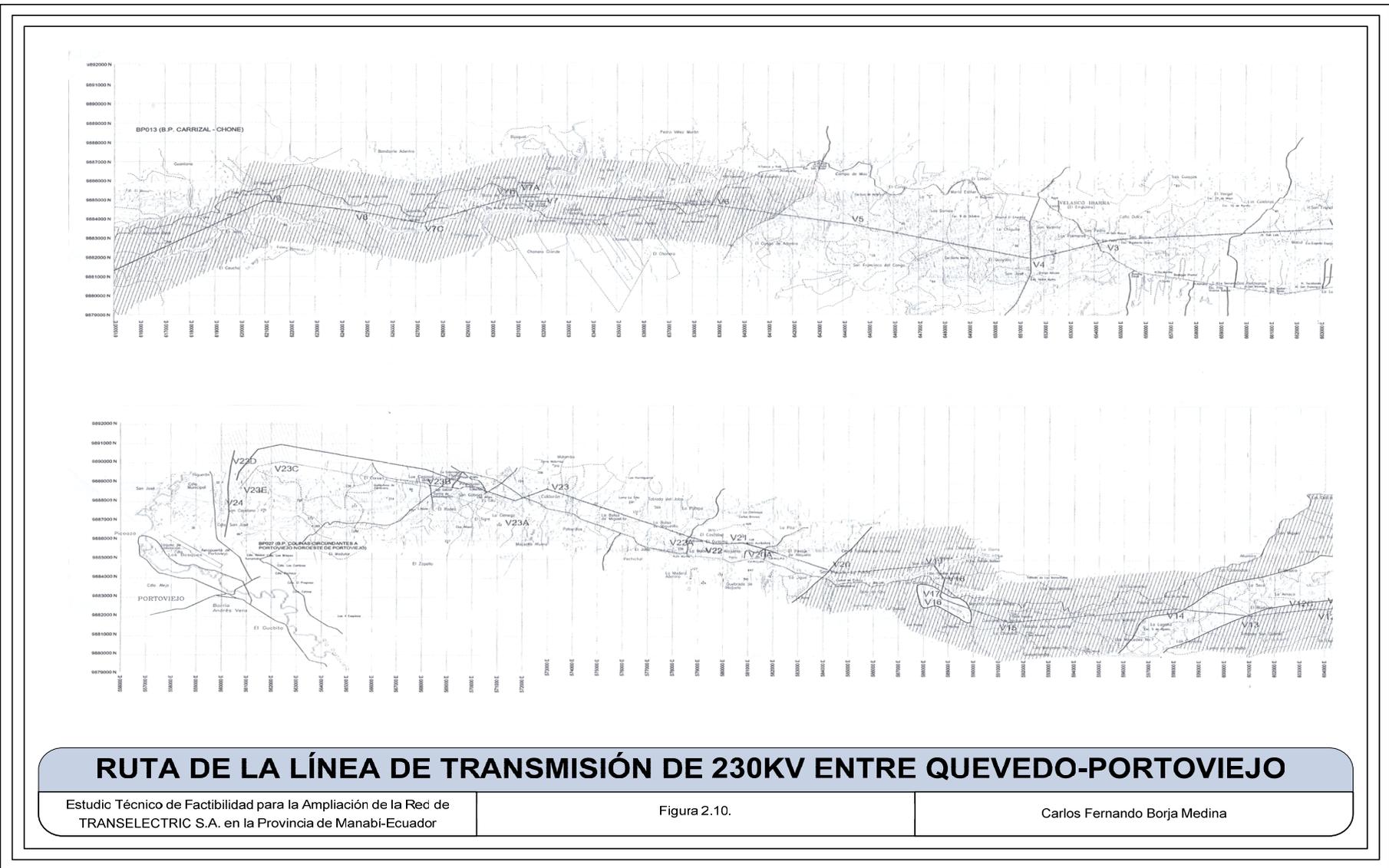
Figura 2.9. Cable de alta tensión

CARACTERÍSTICA	DETALLE
Código	FA 74
Sección total	604.39mm ²
Diámetro exterior	31.98mm
Diámetro interior	7.98mm
Peso	911.48Kg/Km
Tensión de ruptura	13516Kg
Material del conductor de fase	Al Fe 490/65 mm ²
Calibre	1113 AWG

Tabla 2.5. Características del conductor proporcionado por Cables Eléctricos Ecuatorianos S.A.

CARACTERÍSTICAS	DETALLE
Tipo	Acero galvanizado
Grado	Alta resistencia
Calibre	3/8" de 7 hilos
Sección	70mm ²
Diámetro	9.5mm
Peso	0.40Kg/m
Tensión de ruptura	4600Kg
Material del cable de hilo de guardia	Al Mg FE 170/70mm ²

Tabla 2.6. Características del cable de guarda proporcionado por Cables Eléctricos Ecuatorianos S.A



2.6. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

La línea de transmisión tiene 37 vértices incluido el de la subestación. En la tabla encontramos detallados los vértices de la línea (remitirse a la figura 2.10. en donde se encuentra los planos geográfico de la línea de alta tensión):

VÉRTICE	LONGITUD	LATITUD	CARTA TOPOGRÁFICA
V01	17M667,889	9884,428	Quevedo
V02	17M663,765	9883,586	Velasco Ibarra
V03	17M654,703	9882,951	Velasco Ibarra
V04	17M651,556	9881,955	Velasco Ibarra
V05	17M644,377	9883,722	Velasco Ibarra
V06	17M638,857	9884,727	Pichincha
V07	17M632,039	9885,313	Pichincha
V07A	17M631,585	9885,259	Pichincha
V07B	17M631,069	9885,237	Pichincha
V07C	17M627,242	9883,761	Pichincha
V08	17M624,564	9884,419	Pichincha
V09	17M620,980	9884,942	Pichincha
V10	17M614,455	9880,984	Pichincha
V11	17M610,202	9882,111	Pichincha
V12	17M607,730	9881,874	Pichincha
V12A	17M604,619	9881,536	Pichincha
V12B	17M603,998	9881,387	Pichincha
V12C	17M603,678	9881,434	Pichincha
V13	17M601,081	9881,125	Honorato Vasquez
V14	17M598,074	9881,503	Honorato Vasquez
V15	17M591,422	9880,801	Honorato Vasquez
V16	17M588,779	9881,995	Honorato Vasquez
V17	17M588,669	9882,15	Honorato Vasquez
V18	17M588,849	9883,008	Honorato Vasquez
V19	17M558,407	9883,741	Honorato Vasquez

V20	17M584,670	9883,239	Honorato Vasquez
V20A	17M581,651	9884,526	Portoviejo
V21	17M580,845	9884,829	Portoviejo
V22	17M579,602	9884,842	Portoviejo
V22A	17M578,654	9885,165	Portoviejo
V23	17M573,021	9887,594	Portoviejo
V23A	17M571,741	9886,981	Portoviejo
V23B	17M568,196	9889,884	Portoviejo
V23C	17M562,427	9889,884	Portoviejo
V23D	17M561,506	9889,638	Portoviejo
V23E	17M560,744	9888,471	Portoviejo
V24 Subestación	17M560,601	9888,12	Portoviejo

Tabla 2.7. Ubicación geográfica de los vértices (desvíos) en la ruta Quevedo-Portoviejo

Los desvíos proyectados aparecen como consecuencia de evitar, en lo posible, obstáculos tales como estancias, puestos ganaderos, plantaciones, cañadones y otros accidentes topográficos que dificulten la construcción, salinas y zonas con particulares dificultades para la construcción.

2.7. ASPECTOS OPERATIVOS

2.7.1. Fase de Construcción

Los trabajos a ejecutarse comprende la movilización, construcción de vías de acceso, montaje de estructuras y tendido de conductores.

2.7.1.1. Movilización

- a) Instalación de los campamentos

Durante la fase de construcción de las vías de acceso y para la instalación de la torres con su respectivo tendido de cable en ciertos tramos de la línea de

transmisión, será necesario la instalación de campamentos para el personal y maquinaria, los campamentos deberán ser adaptados según el número de personal que va a trabajar y los requerimientos de los empleados para tomar las medidas necesarias con la finalidad de cumplir, y no alterar las condiciones ambientales iniciales.

b) Transporte de material y personal

Esta actividad se ejecuta a lo largo de todo proyecto en función del requerimiento de materiales, insumos, estructuras, equipos, personal de obra y supervisión, necesario para la fase de construcción del proyecto.



Figura 2.11. Transporte de cable de guarda previa a su instalación

2.7.1.2. Construcción de Vías

Se debe definir rutas de accesos temporales para poder llevar al sitio de la torre los materiales y herramientas que sean necesarios. Se deberán definir el uso de los caminos públicos y privados existentes, y la construcción de caminos de accesos temporales.

Los accesos a la línea de alta tensión no serán mayores a 4 metros y se deberá utilizar la línea cumbre para zonas montañosas y áreas alteradas.

- Desbroce

En caso de ser necesario se realizará el desbroce para la apertura y construcción de vías de acceso a la línea de transmisión, para el efecto, se determinarán los árboles que deben tumbar, cortar o quedar dentro de la zona de desbroce. Esta actividad se debe realizar utilizando métodos que minimicen los daños en las zonas aledañas y a la vegetación. La distancia de punto más bajo de la línea hasta el punto más alto de la vegetación tendrá como mínimo 4.5m en la costa, mientras que la distancia mínima de los conductores más bajos y el suelo dentro la franja de servidumbre será de 7.5 metros para la costa.

Los árboles que estén fuera de la franja de servidumbre puedan afectar a la línea y alcanzar los conductores, serán cortados, previa aprobación de TRANSELECTRIC S.A.

2.7.1.3. Construcción de Torres de Transmisión

- Cimientos con Zapatas de Hormigón

La instalación de estos cimientos incluye la excavación, el drenaje del agua, el desalojo de los materiales excavados, el hormigón, el suministro y colocación del acero de refuerzo.



Figura 2.12. Preparación del suelo para la instalación de una torre de alta tensión

- Conformación de Terrazas

En los sitios que sean necesarios se excavará el terreno natural para la conformación de terrazas con el objetivo de nivelar el suelo de implantación de la estructura o para mejorar la estabilidad de taludes de acuerdo a las dimensiones mínimas que indique la ruta.

- Fundiciones de Pilones

El diseño y la estabilidad de los pilones deben concordar con la información y características de la capacidad portante del suelo.



Figura 2.13. Puesta de pilones en la línea de alta tensión

- Fundiciones para Torres

Cada estructura tendrá cimientos independientes que dependerán de las condiciones del suelo predominante en cada ubicación.



Figura 2.14. Fundición de una torre en la línea Quevedo-Policentro

- Ensamblaje y erección de las torres

Las estructuras deberán ser transportadas al sitio de armado teniendo los debidos cuidados que los hierros que la conforman no se doblen ni vayan a sufrir deterioro en la capa de galvanizado. Una vez en el sitio se procederá a pre-armar sus partes en el suelo y finalmente con una pluma de acero se las elevará a sus sitios finales, este armado se lo realizará con los pernos sin ser ajustado a su torque final.



Figura 2.15. Levantamiento de una torre de 230 KV

- Aisladores y Accesorios

Al final de cada cruceta se instalará una cadena de aisladores con sus respectivos accesorios y en cada cruceta se pondrá una polea para el tendido de conductores y cable de guarda.



Figura 2.16. a) Transportando un aisladores. b) Aislador colocados en torres de alta tensión

- Levantamiento de Torres de Acero Galvanizado

Las torres deben ser erguidas por el método de “erección floja” con excepción de los paneles del conjunto inferior de la torre, que deben ser empernados y ajustados inmediatamente, después del ensamblaje y nivelación. Las diagonales principales deben ser empernadas en forma floja hasta que se realice el ajuste final de la torre.

- Preparación de sitio para apoyos

Se efectuará el replanteo observando todas las medidas necesarias para definir la correcta posición de cada estructura y de sus fundiciones. Se debe retirar todo el material que se encuentre en el sitio de la estructura y que se haya

acumulado durante los trabajos de desbroce; tales como, remoción de tocones, piedras o afloramiento de roca.

- **Instalación de Puesta a Tierra en las torres**

Una vez terminado el levantamiento de cada estructura y antes de la instalación de los conductores e hilos de guardia, es necesario medir la resistencia de la tierra de la estructuras. Si en las mediciones efectuadas se obtienen valores de resistencias mayores que el que indiquen los planos, se instalarán las conexiones a tierras adicionales para bajar la resistencia a tierra en la forma establecida.



Figura 2.17. Puesta a tierra del cable de guarda en la torre de alta tensión

- **Contrapesos**

Los contrapesos deben instalarse en lo posible dentro de la zona de derecho de vía. Todos los contrapesos deben quedar enterrados 50cm o más por debajo de la superficie natural del terreno en tierras arables ó 30cm en tierras no arables. Se efectuarán excavaciones y el relleno compactado para el contrapeso, anclar el contrapeso a la superficie de la roca y conectar el contrapeso a las estructuras.



Figura 2.18. Proceso de colocación de contrapesos en los cables de guardia

- Varillas para Puesta a Tierra

Las varillas son de cobre puro macizo, estas deben localizarse al menos a un metro de la pata y en el suelo del sitio. El cable de conexión debe enterrarse al menos 50cm por debajo del suelo. El extremo superior de la varilla quedará a la misma profundidad que el contrapeso.

- Tendido y templado de conductores

Una vez que se tenga aproximadamente 6Km de estructuras y desde lugares escogidos técnicamente se procederá a regar a mano un cabo de manilla a lo largo del tramo de línea de transmisión a tenderse, cuando la manilla se encuentra completamente tendida con un malacate (puller) se procederá a templarla de la forma que ningún punto de ella tenga una distancia menor de 4m respecto al suelo.



Figura 2.19. Tendido del cable de guardia en la línea Santo Domingo-Quevedo con malacate

El cabo de manila arrastrará un cable de acero de 14mm de diámetro y cuando este se encuentre tendido en todo el tramo se procederá a despachar de fase desde una maquinaria que lo mantenga en tensión (freno) e tal forma que el conductor viaje a lo largo del tramo de tendido con tensión controlada.



Figura 2.20. Equipo de frenado donde se para la instalación del cable

El tendido de los conductores se debe hacer ejerciendo un control cuidadoso y utilizando equipos mecánicos provistos de cabrestantes dentados, para

asegurar que la tensión del conductor no fluctúe indebidamente ni exceda los valores específicos.

El templado de conductores se realiza cuando todo el conductor se encuentre tendido en el tramo de tendido y se procederá al regulado del mismo.

- Amortiguadores de Vibración y Balizas

Los amortiguadores deben fijarse de tal forma que cuelguen todos en un plano vertical y se verificará que los huecos de drenaje queden trabajando después de la colocación.



Figura 2.21. Amortiguadores de alta tensión en la línea de Santo Domingo a Quevedo tomada desde la torre

Se deben instalar balizas en los vanos y a la distancia que lo determine las especificaciones, de acuerdo a las instrucciones de montaje del fabricante. Las balizas deben instalarse inmediatamente después del templado del cable de guarda.



Figura 2.22. Colocación de balizas en la línea de alta tensión en el tramo Santo Domingo-Quevedo

2.8. CLIMA

Para la precipitación media anual puede variar de los 500mm en la ciudad de Portoviejo hasta los 2100mm en la ciudad de Quevedo. Los valores de temperatura media anual son relativamente uniformes entre las ciudades con un valor de 24°C.



Figura 2.23. Situación climatológica en los alrededores de la ciudad de Quevedo.

Se puede notar que la alta evapotranspiración en la zona hace que corresponda a una zona relativamente seca (Manabí), en tanto que la zona de Quevedo a una muy húmeda.

2.9. FLORA

Un tipo de clasificación que más se apega a la realidad del área de estudio es el propuesto por Céron et al. (1999), quien señala que el área de estudio forma parte de la Región Pacífica o Costa, Subregión sur y que incluye tres tipos de formaciones vegetales: el Bosque Deciduo de Tierras Bajas (Bosque seco) que se extiende entre los 100 y 300m de altitud, Bosque semideciduo Piemontano y Sabanas.

El bosque Deciduos de Tierras Bajas presenta una vegetación dispersa caracterizada por la presencia de escasos árboles de entre 15 y 20 metros de altura, los mismos que están asociados a un tipo de vegetación herbácea y arbustiva que generalmente presenta hasta tres metros de altura.



Figura 2.24. Fotografía de un bosque deciduos de tierra baja

El Bosque Semideciduo es más húmedo que el bosque seco; se ubica generalmente en sitios dependientes y en las elevaciones más bajas, y se encuentra en un rango de 100 a 450 metros de altitud. En las épocas secas pierden sus hojas, el porcentaje restante mantienen sus hojas conservando a este tipo de bosque con una apariencia verde todo el tiempo.

Los Bosques intervenidos o secundarios son formaciones vegetales con intervención antrópica media o alta, generalmente se presentan en forma de rastrojos o manchones aislados o potreros, se observan pocos árboles altos dispersos.



Figura 2.25. Fotografía de un bosque semideciduo

Las Sabanas se encuentran en área originalmente cubiertas de Bosques Secos y Bosques Semideciduo Pie-montano, sin embargo, la vegetación nativa fue talada o quemada y reemplazada por pastizales para ganado vacuno.



Figura 2.26. Fotografía del bosque sabanas

En la tabla 2.8. se resumen las condiciones geográficas del terreno estudiado.

CONDICIONES GEOGRÁFICAS	
CLIMA	
Temperatura Anual Media	24°C
Precipitación Manabí	500mm
Precipitación Los Ríos	2100mm
FLORA	
Tipo de vegetación	Bosques de deciduos, semideciduos y sabanas
Altura Geográfica	600metros promedio

Tabla 2.8 Condiciones Geográficas del sector estudiado

2.10. POBLACIÓN

La Línea de Transmisión Quevedo-Portoviejo atravesará el Cantón Quevedo en la Provincia de Los Ríos; el Cantón El Empalme en la Provincia del Guayas y los cantones Pichincha, Portoviejo y Santa Ana en la Provincia de Manabí.

La diferencia poblacional, entre los cantones por los que atravesará la línea de transmisión, es evidente, Portoviejo es el cantón más extenso y que inclusive tiene más parroquias, por lo tanto alberga mayor número de población. Tiene más de 230000 habitantes, seguido por Quevedo que es otro cantón importante con más de 140000 habitantes, según SIISE 2003.

PROVINCIA	CANTÓN	PORCENTAJE	HABITANTES
Los Ríos	Quevedo	27%	139.790
Guayas	El Empalme	13%	64.789
Manabí	Pichincha	6%	29.945
	Portoviejo	46%	238.430
	Santa Ana	9%	45.287
TOTAL		100%	518.214

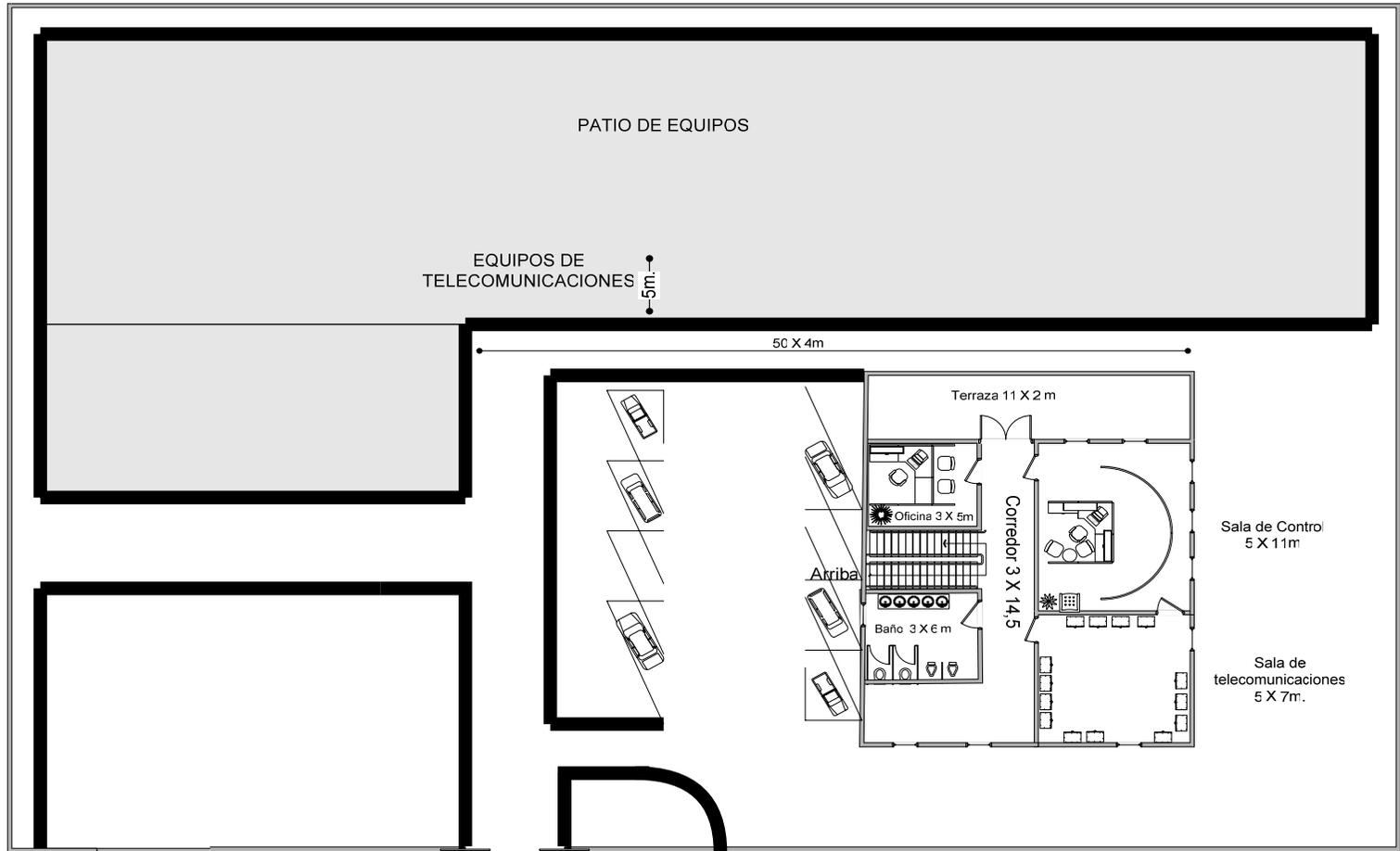
Tabla 2.9. Población de las provincias por donde pasa la nueva línea de 230kV

2.11. UBICACIÓN DEL EQUIPO DE P.L.C. DIGITAL

La instalación del equipo de PLC tendrá un rack de 19" con un peso aproximado de 21kg según el fabricante. Se debe recordar que la Subestación de Quevedo se encuentra en pleno funcionamiento, por lo cual, el nuevo equipo de onda portadora será colocado en la sala de telecomunicaciones (remitirse a la figura 2.27.).

Mientras la Subestación de Portoviejo se encuentra en proceso de construcción. Por esta razón se tuvo que remitir a plano arquitectónicos de la subestación para determinar la ubicación física del equipo indicado en la figura 2.28.

Adicionalmente, en la figura 2.29. se indica el equipo con los posibles servicios a prestar, mostrando las interfaces para canales de voz, datos y mantenimiento.

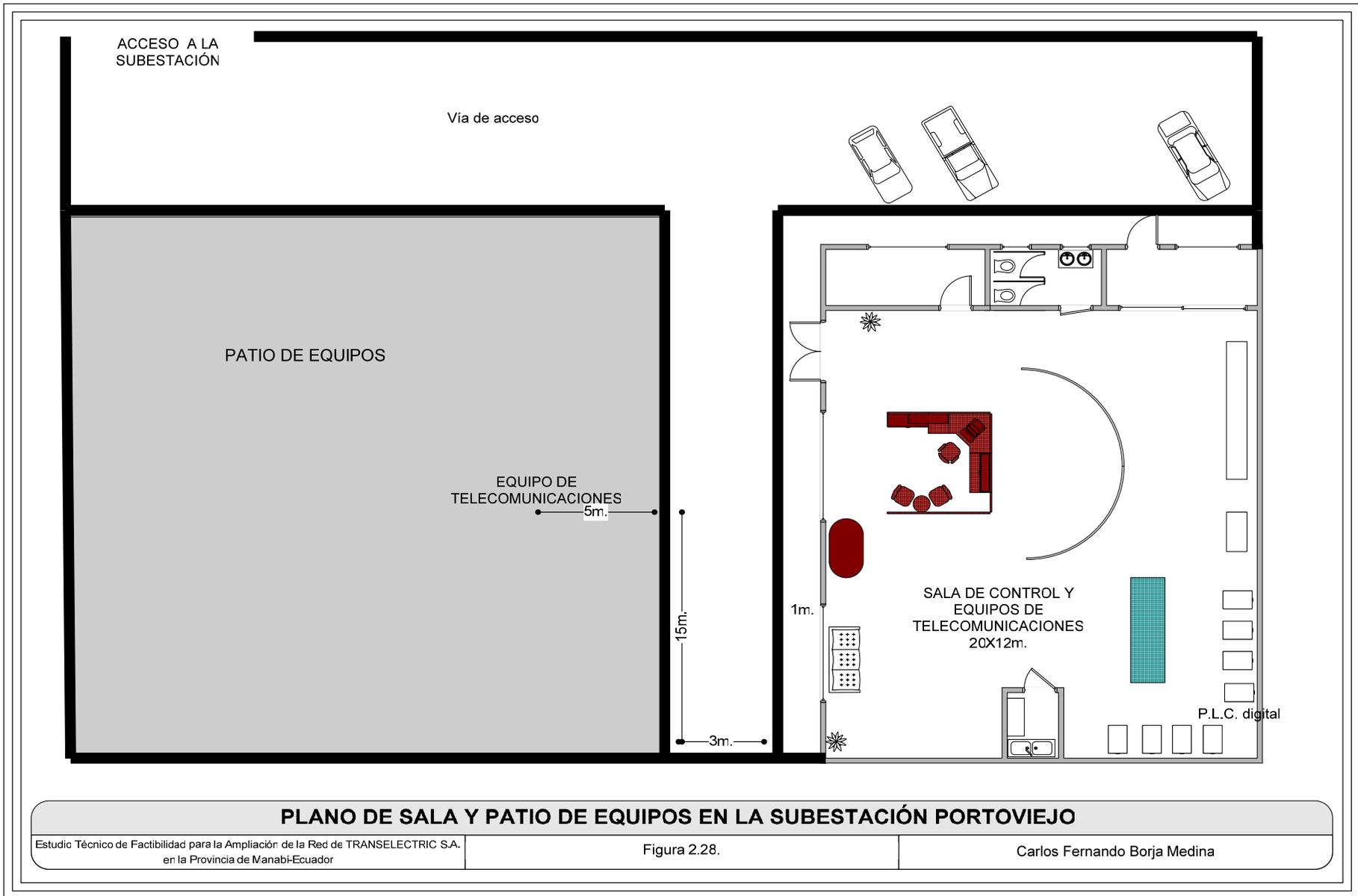


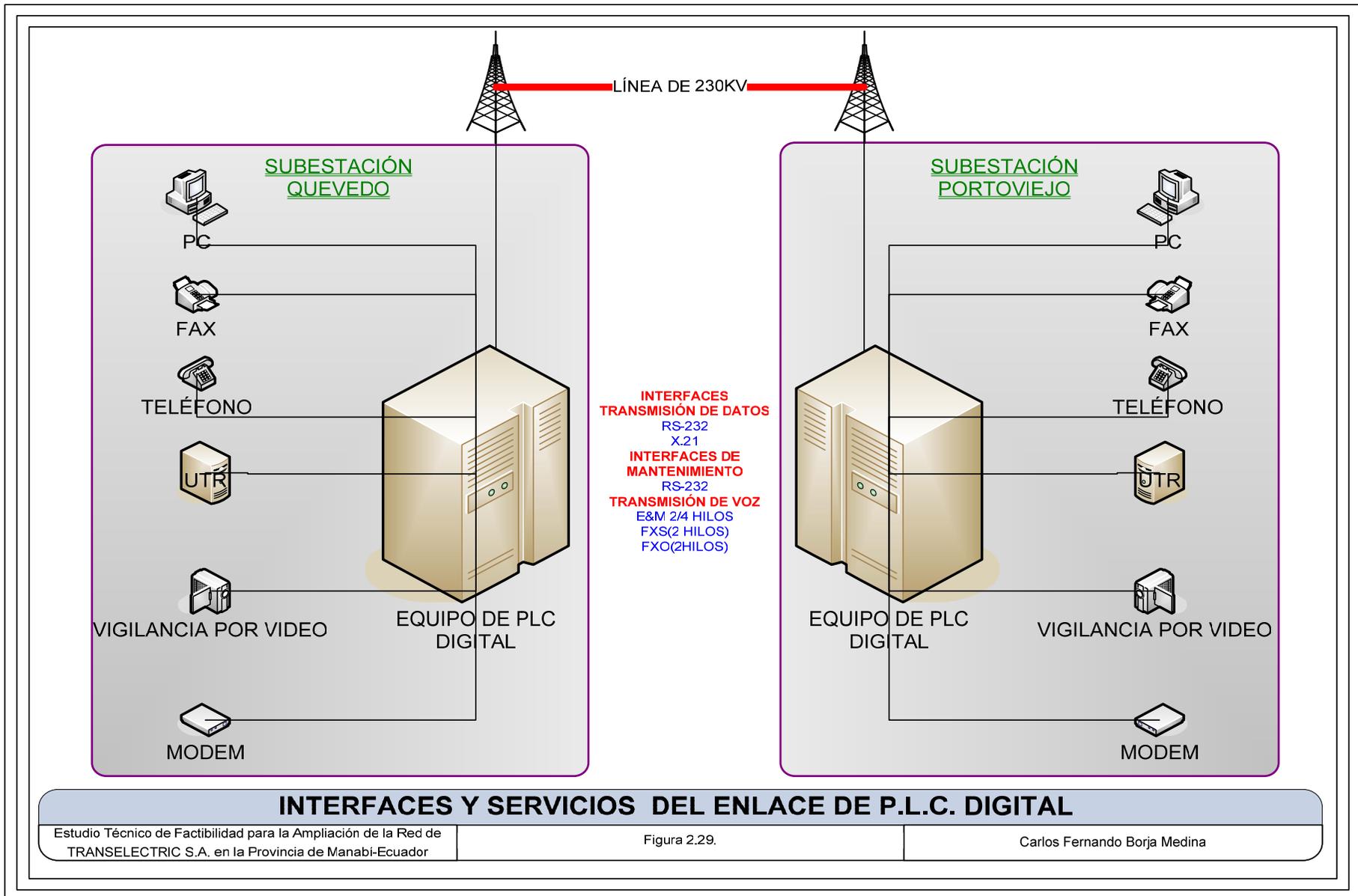
PLANO DE SALA Y PATIO DE EQUIPOS EN LA SUBESTACIÓN QUEVEDO

Estudio Técnico de Factibilidad para la Ampliación de la Red de TRANSELECTRIC S.A.
en la Provincia de Manabí-Ecuador

Figura 2.27.

Carlos Fernando Borja Medina





CAPÍTULO III

DISEÑO DEL ENLACE

3.1. CONSIDERACIONES POWER-LINE CARRIER

El uso de un sistema de PLC para un canal de comunicaciones considera: el medio de comunicación, canales analógicos, canales digitales, las características del equipo del transmisor-receptor, la confiabilidad y la calidad.

Los estudios del proyecto deben arrojar datos importantes como: requisitos del acoplador, pérdidas de canal del portador, nivel de ruido en el receptor, pérdidas, cálculos de la relación señal a ruido (SNR) y frecuencias.

3.2. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Se puede considerar que la línea de transmisión es un elemento del sistema de potencia. A las líneas de transmisión de potencia para comunicaciones se las pueden clasificar de la siguiente manera:

- Líneas de longitud corta.
- Líneas de longitud media.
- Líneas de longitud larga.

Se considera como corta, las líneas de conductor que tienen menos de 80 km. de longitud. Las líneas de longitud media son las que están entre 80 km. y 240 km. Las líneas

que tienen más de 240 km. requieren de cálculos en términos de constantes distribuidas, si se necesita un alto grado de exactitud.

3.3. MODELO DE ANÁLISIS SIMPLIFICADO

El análisis del modelo es un procedimiento que trata con matrices, las cuales utilizan combinaciones de modos básicos para representar los portadores de corriente en la línea de alta tensión. El uso de estos modelos para los portadores que están en la banda de frecuencia de 40 a 500kHz es similar al uso de los términos positivo, negativo y secuencia cero para representar la posición de 60Hz en una línea de transmisión.

Sobre los últimos diez años, varios libretos en modelos de análisis, aplicados en líneas de electricidad de los portadores de transmisión, han aparecido en las transacciones de la Sociedad de Ingeniería Eléctrica o también que han sido presentadas como libretos de conferencias en reuniones. Frecuentemente, estos libretos han presentado un material analítico alto. Usualmente, los cálculos se han desarrollado mediante un computador, por eso ha sido difícil conseguir una representación grafica simplificada de cómo los modos operan.

3.3.1. Modos Básicos

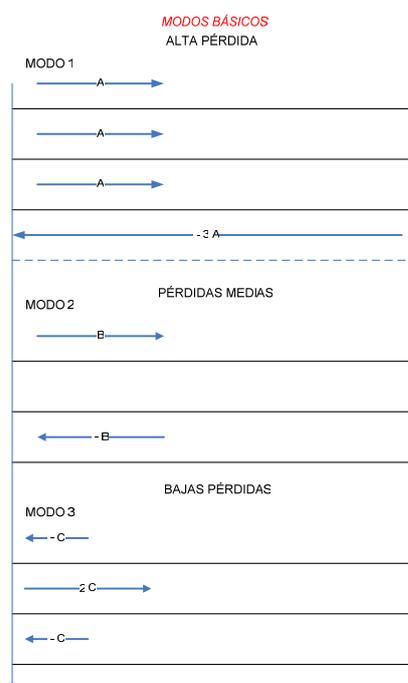


Figura 3.1. Modos básicos

En la figura 3.1, los tres básicos modos son mostrados. Las flechas indican el fluido de los portadores de corrientes instantáneos, y las flechas apuntando el lado opuesto están 180° fuera de las fases.

La forma designada como modo 1 es de alta pérdida de propagación en el cual sus corrientes son fluidas simultáneamente en la misma dirección con magnitudes iguales en las tres fases. El camino de regreso es a través del suelo, siendo una atenuación alta.

La siguiente forma, designada modo 2 es medianamente baja, la pérdida de propagación en el cual sus corrientes iguales y opuestas son fluidas en las fases exteriores.

3.3.2. Contenido Modal

En la figura 3.2, el método para determinar el contenido modal de una distribución de corriente específica en la línea. La ecuación declara que la corriente compuesta en las tres fases, designadas I_R , I_S e I_T , son fases iguales a las corrientes del modo 1, 2 y 3.

Las declaraciones de igualdad por fase son mostradas bajo los vectores en las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3. Estas son tres simples ecuaciones con tres incógnitas y pueden ser resultas de manera simple. Las ecuaciones 3.4, 3.5, y 3.6 indican una aproximación a la solución de los valores de A, B y C. Los resultados indican lo siguiente:

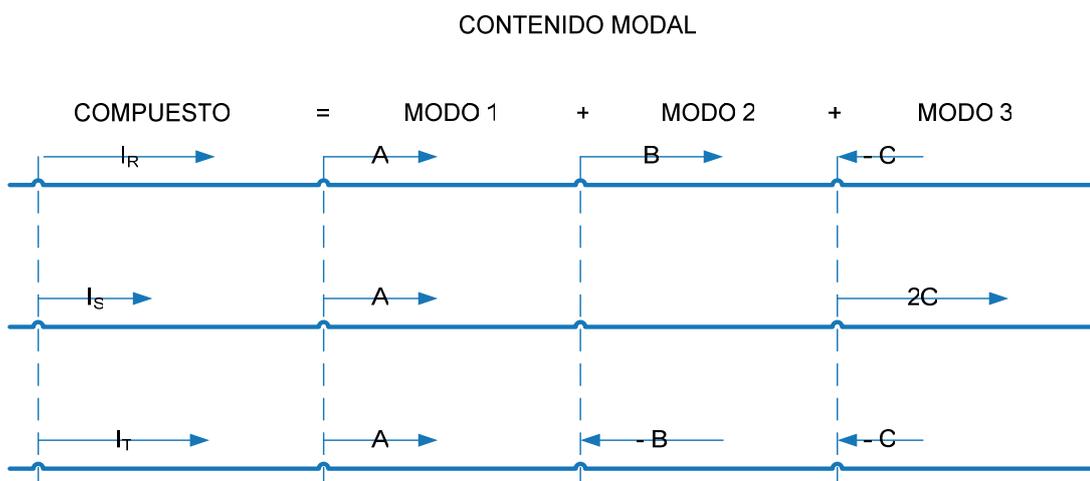


Figura 3.2. Contenido modal demostrando la propagación de la corriente sobre líneas de alta tensión

$$I_R = A + B - C \quad \text{Ecuación 3.1.}$$

$$I_S = A + 2C \quad \text{Ecuación 3.2.}$$

$$I_T = A - B - C \quad \text{Ecuación 3.3.}$$

Sumando las ecuaciones (3.1) + (3.2) + (3.3) :

$$I_R + I_S + I_T = 3A$$

$$A = \frac{1}{3}(I_R + I_S + I_T) \quad \text{Ecuación 3.4.}$$

Sumando las ecuaciones (3.4) + (3.2) :

$$I_S = \frac{1}{3}(I_R + I_S + I_T) + 2C$$

$$C = \frac{1}{6}(2I_R + I_S + I_T) \quad \text{Ecuación 3.5.}$$

Ecuaciones (3.4) y (3.5) en (3.1) :

$$I_R = \frac{1}{3}(I_R + I_S + I_T) + B - \frac{1}{6}(2I_R + I_S + I_T)$$

$$B = \frac{1}{2}(I_R - I_T) \quad \text{Ecuación 3.6.}$$

El valor de la variable A, donde la magnitud de la corriente en cada de las tres fases para el modo de alta perdida, es 1/3 (un tercio) de la suma algebraica de la corriente actual fluyendo en las fases.

El valor de la variable B, donde la magnitud de dos corrientes fluyendo en las fases exteriores para el modo de perdida mediana, es ½ (un medio) de la resta algebraica de la corriente actual fluyendo en las fases exteriores. Un valor para la B es obtenido solamente si es que las corrientes no están simétricas con la fase central.

El valor de la variable C, para el modo de baja perdida es un poco mas complejo y es 1/6 (un sexto) del doble de la corriente de la fase central menos la corriente actual en las otras fases. Prácticamente, el contenido modal puede de vez en cuando ser determinados por una inspección.

En la figura 3.3, varios ejemplos del contenido modal de portadores de corrientes alimentadas a una tercera fase son considerados. Nuevamente, los vectores de corrientes compuestos del modo 1, 2 y 3 son mostrados.

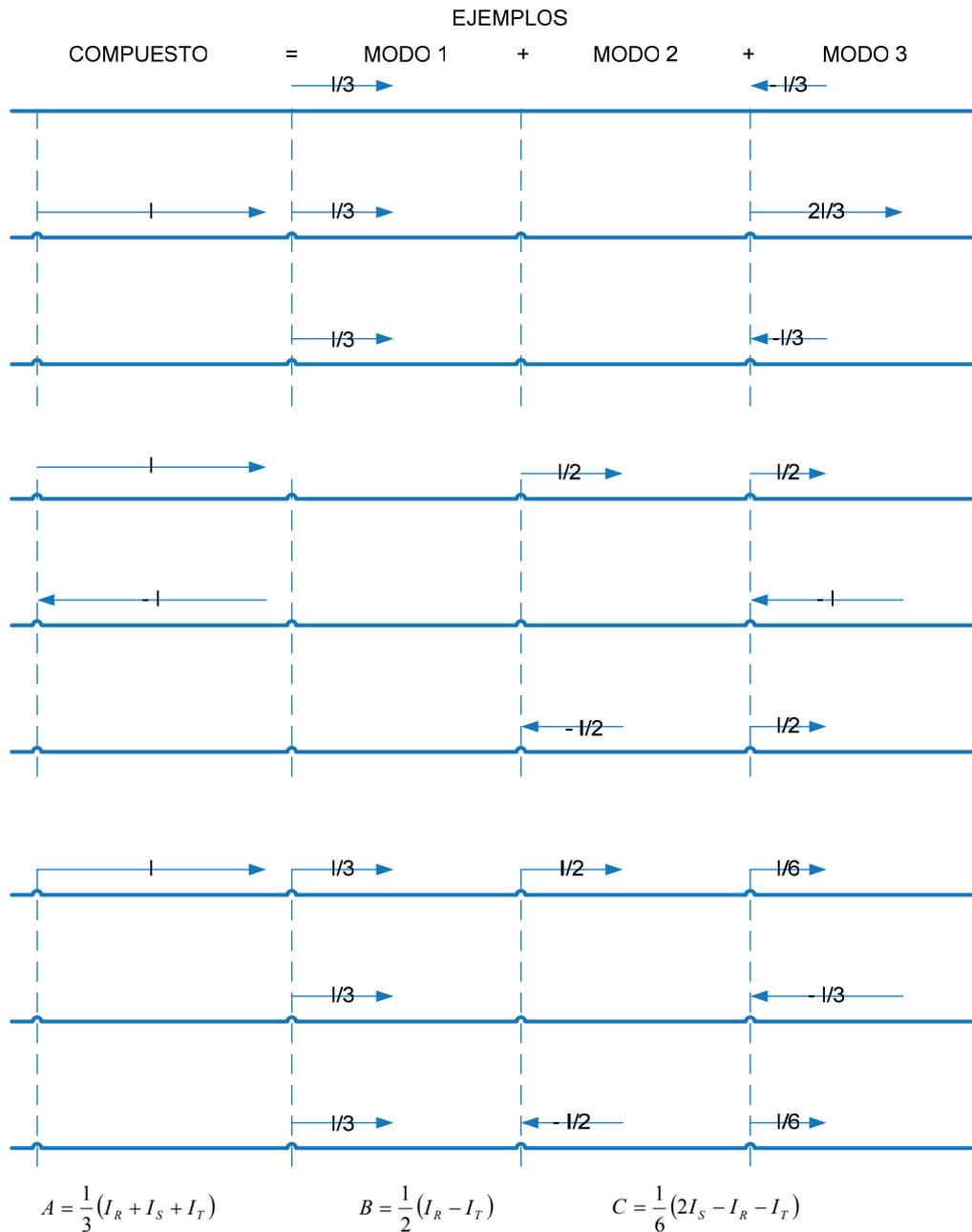


Figura 3.3. Ejemplos de propagaciones de corrientes sobre líneas de alta tensión

En el ejemplo superior, la alimentación de la fase central a tierra es considerada con una corriente I fluyendo al centro de la fase. La corriente I puede ser representada por los vectores de corrientes del modo 1 y modo 3. Podemos ver por la inspección que los componentes del modo 1 y 3 cancelan cada una de las fases exteriores dando fluido de

corrientes cero y añadir a la fase central provisión de la corriente I. No hay corrientes en el modo 2, desde que I_R e I_T de la ecuación 3.6 son cero demostrado en la figura 3.3.

El ejemplo del medio, la alimentación de la fase central a exterior. En este caso, solamente el modo 2 y 3 son presentados, desde que la suma algebraica de las corrientes de entrada son cero y la variable A en la ecuación de abajo es cero. Nuevamente, puede ser observado por una inspección que el modo 2 y 3 en cada fase suman algebraicamente para proveer las corrientes de entrada de la fase considerada.

El ejemplo de abajo es para una alimentación desde las fases exteriores a tierra, los tres modos son presentados en este caso. Nuevamente los vectores de corriente suman algebraicamente para igualar las corrientes de entrada fase por fase.

3.3.3. Energía Modal

En la figura 3.4, la distribución de la energía modal es mostrada. Fue asumido que el surgimiento de impedancias es el mismo para todas las fases y modos, la energía puede establecerse como la suma de los cuadrados de los varios tiempos de las corrientes concernidas, R. La energía en la corriente actual o corrientes debes igualarse a la suma de todos los modos representando las corrientes opuestas.

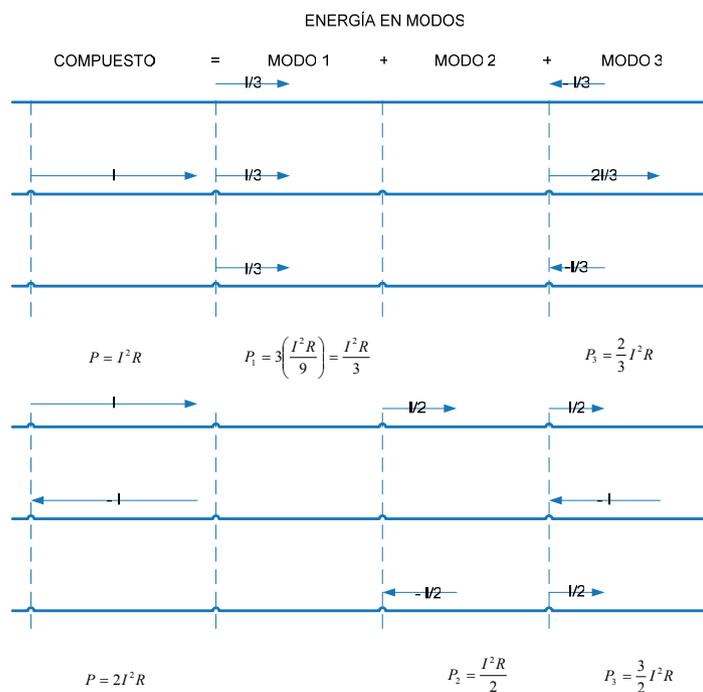


Figura 3.4. Energía en modos de propagación

En la figura 3.4, la fase central a tierra tendrá una energía igual a:

$$P = I^2 R \quad \text{Ecuación 3.7.}$$

Esto debe ser igual a la suma de las energías del modo 1 y 3, las cuales son equivalentes a la corriente de entrada. La energía en el modo 1 está dada por:

$$P_1 = \frac{I^2 R}{3} \quad \text{Ecuación 3.8.}$$

La energía en el modo 3 es:

$$P_3 = \frac{2}{3} I^2 R \quad \text{Ecuación 3.9.}$$

Sumando la energía del modo 1 y 3 se tiene como resultado la ecuación 3.7.

Similarmente, puede ser observada en el ejemplo (figura 3.4. parte inferior) que presenta la energía en las corrientes opuestas donde se iguala la corriente sumando los modos 2 y 3.

3.3.4. Atenuación Modal

La atenuación modal está determinada en el siguiente cuadro, cuya fuente es Power System Communications publicado por General Electric:

FACTORES DE CONVERSIÓN DE VOLTAJE LINEAL PARA LA ATENUACIÓN MODAL			
VOLTAJE EN LÍNEA (KV)	MODO 1	MODO 2	MODO 3
138	1.5	1.4	1.4
230	1.3	1.2	1.1
345	1.0	1.0	1.0
500	1.0	1.0	0.8
765	1.0	1.0	0.7

Tabla 3.1. Factores de conversión de voltaje lineal para la atenuación modal

Las atenuaciones aproximadas como función de la frecuencia para una línea de alta tensión. Por ejemplo, las atenuaciones con respecto a la frecuencia para los modos 1, 2 y 3 sobre una línea de alta tensión de 230kV es:

FRECUENCIA	MODO 1	MODO 2	MODO 3
50	0,35	0,035	0,019
100	0,54	0,054	0,023
150	0,77	0,077	0,03
200	1	0,1	0,035
250	1,21	0,121	0,041

Tabla 3.2. Atenuación modal para los modos 1, 2 y 3 en función de la frecuencia

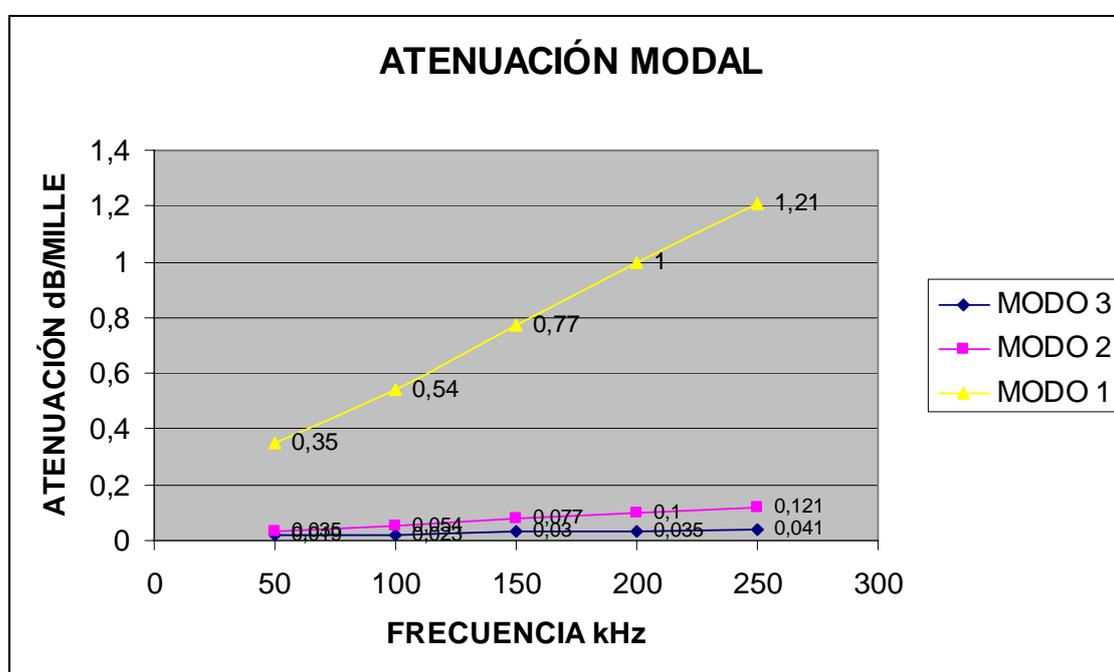


Figura 3.5. Atenuación modal para los modos 1, 2 y 3 en función de la frecuencia

3.4. CARACTERÍSTICAS DE LÍNEA

3.4.1. Impedancia Características (Z_0)

La impedancia característica de una línea de transmisión (a veces llamada impedancia de oleada) se define como el cociente entre el voltaje y la corriente de la onda que viaja en una línea de longitud infinita. El cociente del voltaje y corriente correspondiente en

cualquier punto en la línea tiene una impedancia constante, Z_0 . La impedancia se encuentra dada por la siguiente expresión:

$$Z_0 = \frac{V_+}{I_+} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad \text{Ecuación 3.9.}$$

Donde:

- R es la resistencia por unidad de longitud, en ohmios
- L es la inductancia por unidad de longitud, en henrios
- G es la conductancia de desviación por unidad de longitud, en siemens
- C es la capacitancia de desviación por longitud de unidad, en faradios
- $\omega = 2\pi f$ f es la frecuencia en Hertz

En la práctica, la frecuencia intermedia oscila en el rango de 300Hz a 10MHz, según la Comisión Internacional de Protección Contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP), por lo tanto, $j\omega L > R$ y $j\omega C > G$ permite reducir la ecuación 3.9. a:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{Ecuación 3.10.}$$

Esta reducción de la ecuación 3.9. se encuentra registrada en la I.E.E.E. Guide for Power-Line Carrier Applications 643.

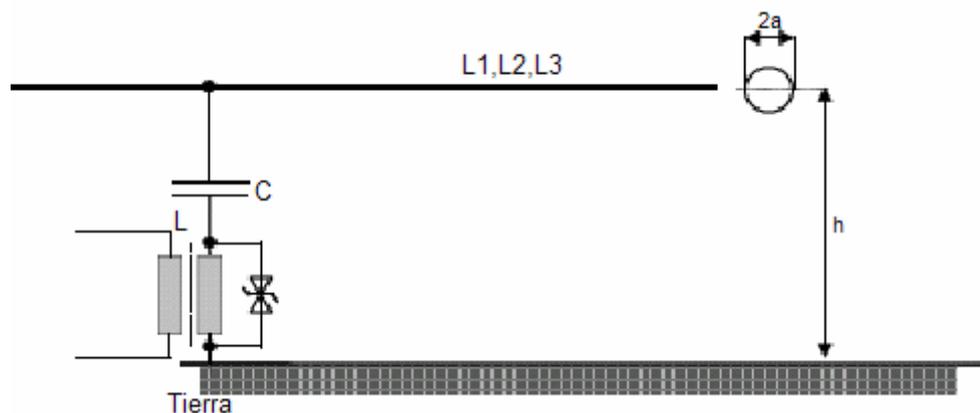


Figura 3.6. Impedancia característica de la línea de alta tensión

La impedancia característica se basa en el espesor de los conductores y la distancia entre los conductores. Donde ambas dimensiones aumentan a voltajes más altos, de modo que el cociente siga siendo casi igual. Por lo tanto, hay una diferencia muy pequeña en las impedancias características de las líneas. Valores más bajos de la impedancia característica existirán en las líneas de la transmisión donde los conductores liados se utilizan con un radio eficaz que sea mucho más grande que el radio de un solo conductor.

Aplicando las fórmulas convencionales tenemos:

$$Z_o = 276 \log \frac{D}{R} \quad \text{Para} \quad \frac{D}{R} \geq 20 \quad \text{Ecuación 3.11.}$$

Donde:

D es la distancia entre los conductores

R es el radio del conductor

3.4.2. Constante de Propagación [γ]

Se usa para expresar la atenuación y el desplazamiento de fase por unidad de longitud de una línea de transmisión. El coeficiente de propagación o constante de propagación es un valor complejo y se define como:

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad \text{Ecuación 3.12.}$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad \text{Ecuación 3.13.}$$

Donde

γ es la constante de Propagación

α es el coeficiente de Atenuación (dB/km)

β es el coeficiente de Desplazamiento de Fase (rad/km).

Es importante señalar, que a radio frecuencia (RF) y frecuencia intermedia (IF) se cumplen las siguientes condiciones:

$$\omega L > R$$

$$\omega C > G$$

Esto permite despreciar la influencia de R y G, por lo tanto, se puede decir:

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2} \quad \text{Ecuación 3.14.}$$

$$\beta = \omega \sqrt{LC} \quad \text{Ecuación 3.15.}$$

3.4.3. Transitorios en la Línea de Transmisión

Los transitorios en la línea de transmisión son producidos por causa externas como pueden ser rayos, condiciones climáticas, etc. Es decir, son generados por cualquier cambio violento en el sistema de transmisión.

Los equipos que forman parte de un sistema de potencia deben estar protegidos contra rayos, quienes son un peligro potencial. Los llamados hilos de guarda o blindaje son conectados a través de la torre de alta tensión hacia tierra.

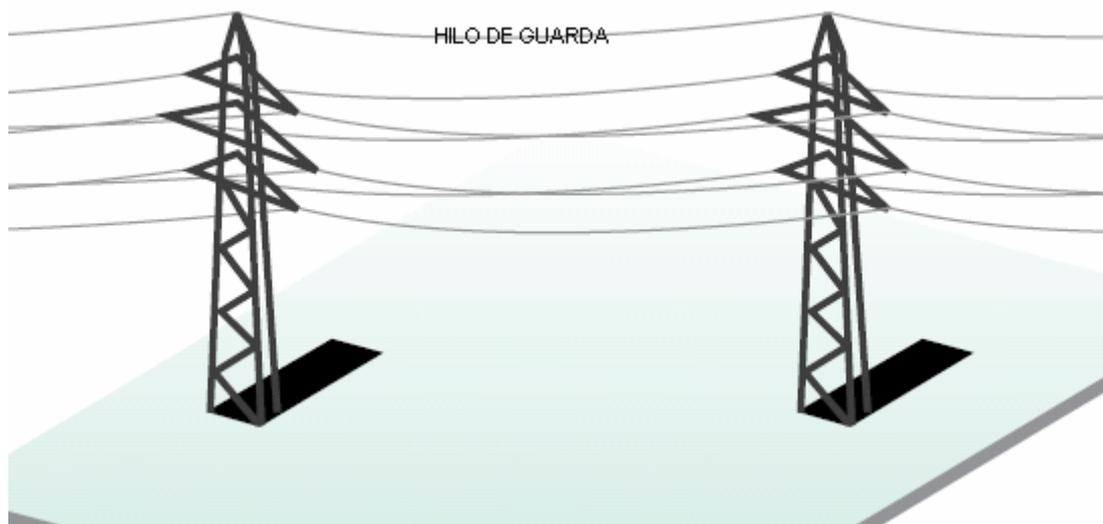


Figura 3.7. Torres de alta tensión con hilo de guarda

3.4.4. Transposiciones

Si los tres conductores de la línea trifásica no forman un triángulo equilátero se utilizan las transposiciones para equilibrarlas.

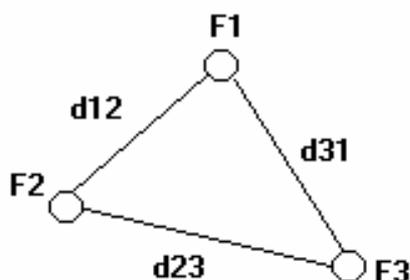


Figura 3.8. Conductores de línea trifásica cuando no forman triángulo equilátero

La transposición divide a la línea de alta tensión en tres partes iguales como muestra la figura 3.9. con el objetivo de minimizar las pérdidas por reactancia capacitiva (X_C) y reactancia inductiva (X_L).

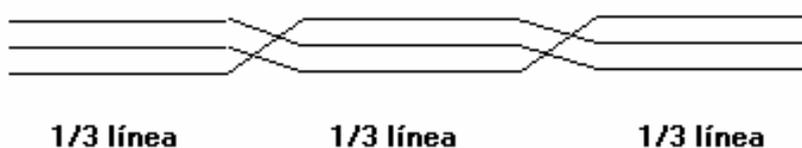


Figura 3.9. Diseño de la transposición en una línea de alta tensión.

En la figura 3.10, el efecto de una transposición de línea es ilustrada. En la parte superior de la figura una corriente del modo 3 entra en una transposición desde la izquierda y sale por la derecha con una distribución de corriente cambiada. En la parte inferior de la figura, la distribución de corrientes fuera de las transposiciones es convertida en distribución de corriente del modo 2 y 3. La pérdida de transposiciones es calculada en la suposición de que la energía del modo 2 al alcanzar el final de la línea puede ser abandonada. Lo menos tributable para la transposición será de 6 dB en este caso.

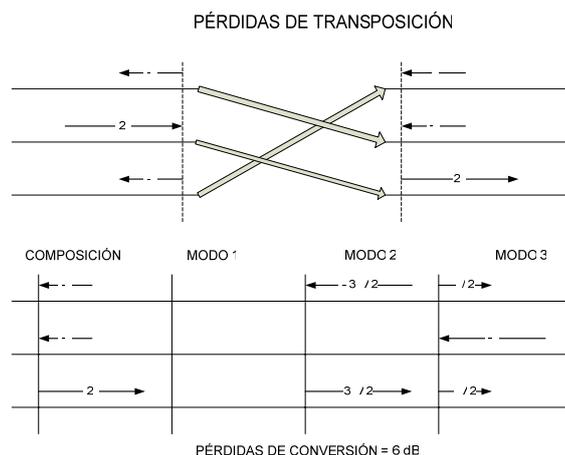


Figura 3.10. Pérdidas de transposición y propagación de la corriente en la línea

NÚMERO	PÉRDIDAS EN dB
Una transposición	6
2 a 4 transposiciones	8
Mayor a 5 transposiciones	10

Tabla 3.3 Pérdidas en dB según el número transposiciones en una línea de alta tensión

Debe ser notorio que las perdidas de las líneas han sido discutidas. En un estimado canal de rendimiento, perdidas adicionales deberán ser incluidas para tomar cuenta de las perdidas a través de la trampa de la línea, en el capacitor de acoplamiento, en las líneas de los sintonizadores, en los cables coaxiales, y en cualquier equipo de filtro de separación o híbridos involucrados.

3.5. PERDIDAS DE CANAL

Las perdidas viajan a través de los componentes del sistema, incrementado en toda la ruta donde se obtiene una perdida total, estas se miden en decibeles. Las pérdidas en el sistema pueden ser definidas como:

$$LOSS = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad \text{Ecuación 3.16}$$

$$LOSS = 20 \log \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Ecuación 3.17}$$

$$LOSS = 20 \log \frac{I_1}{I_2} \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Donde:

P es la potencia

V es el voltaje

I es la corriente

Cabe señalar que las ecuaciones 3.16, 3.17 y 3.18 únicamente son aplicables a circuitos donde las impedancias sean igual en los puntos de medida.

3.5.1. Pérdidas de Cables

Las pérdidas que se generan en los cables de transmisión dependen del tamaño del conductor, material, número de alambres, tipo de material del aislamiento, diámetro, etc. Los fabricantes de los cables son los responsables de proporcionar la información de impedancia característica y atenuación.

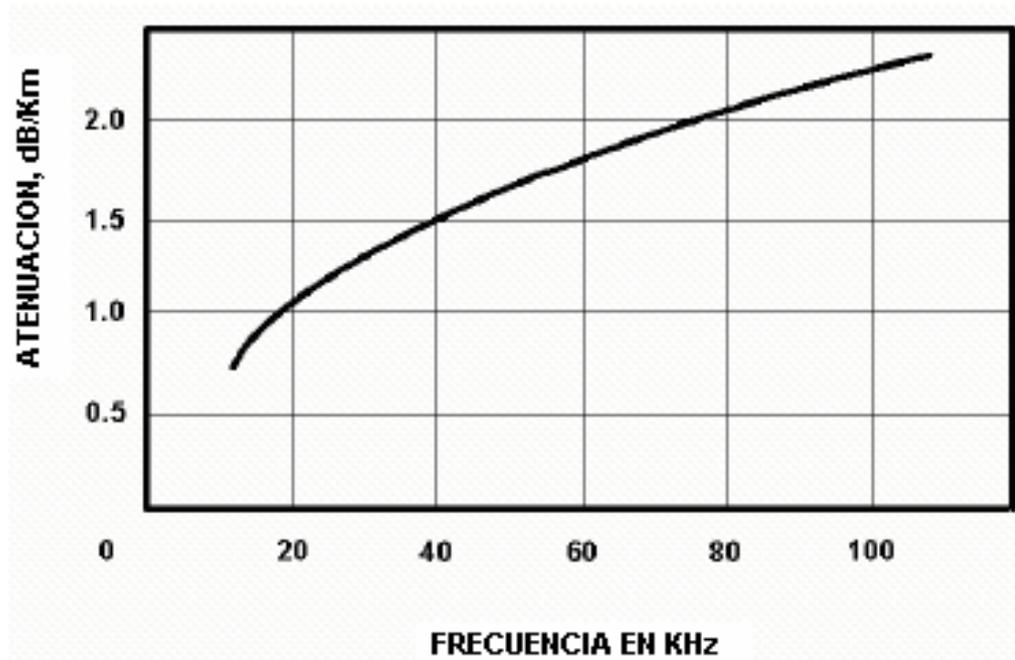


Figura 3.11. Pérdidas típicas por cable en líneas de 230kV

FRECUENCIA (kHz)	LOSS(dB/100m)
30	0,125
50	0,144
100	0,18
150	0,216
200	0,253
300	0,295

Tabla 3.4. Atenuación típica en un cable coaxial RG-8/U

3.6. ATENUACIÓN TOTAL

La atenuación total de un sistema de comunicaciones utilizando Power Line Communication puede ser en serie o pérdidas de desviación.

Las pérdidas en serie se encuentran generadas en los componentes como transformadores, circuitos LC, filtros, línea de sintonizadores, condensadores de acoplamiento, etc. Adicionalmente, se pueden encontrar pérdidas en uniones mal hechas.

Las pérdidas de desviación son aquellas generadas en la trampa de onda, pérdidas de puentes, etc., por lo tanto, las pérdidas de la desviación se pueden definir como pérdidas contribuidas por cualesquiera y todos las trayectorias de salida a tierra, las cuales atenúan la energía del PLC.

3.6.1. Atenuación de Discontinuidad

La atenuación en las discontinuidades es producida por fusiones incorrectas entre la impedancia característica Z_0 y una carga Z_1 , la cual es medida en decibelios.

$$dB_{LOSS} = 20 \log \left[\frac{Z_0 + Z_1}{2\sqrt{Z_0 Z_1}} \right] \quad \text{Ecuación 3.19.}$$

Este tipo de pérdidas sucede cuando una línea de alta tensión es empalmada a un cable de transmisión, sin tomar en cuenta las impedancias características con que trabajan los distintos tramos.

3.6.2. Atenuaciones Adicionales

La conductividad que tiene la tierra puede agregar pérdidas a la línea de trayectoria en el proceso de acoplamiento de fase a tierra, esto sucede en áreas donde el suelo es seco.

Las condiciones atmosféricas pueden introducir pérdidas adicionales en las señales a través de la línea. Por lo tanto, las condiciones meteorológicas adversas como lluvia, heladas, hielo, etc. introducen tiempos adversos produciendo atenuación.

3.7. MÉTODOS DE ACOPLAMIENTO DE LA SEÑAL

En el diseño de una red de Power Line Communication adquiere gran importancia las tecnologías de acoplamiento en las líneas de media y alta tensión. Las dimensiones del equipamiento tienen un papel importante para minimizar la dificultad al momento de ser instaladas en las subestaciones.

3.7.1. Esquemas de Acoplamientos Capacitivos

Los acoplamientos capacitivos sobre línea de alta tensión son unidades altamente compactadas como el condensador de acoplo y el circuito de sintonía. Las pruebas recientes y el cálculo modal del análisis demuestran que la señal de portador se propaga sobre todos los conductores de la fase y alambres de tierra. En líneas largas, la pérdida más baja ocurre siempre cuando la fase de centro se utiliza como parte del circuito.

Estos dispositivos tienen dos funciones esenciales: optimizar la adaptación de impedancias entre las líneas de alta tensión y los equipos de comunicaciones y la optimización del ancho de banda disponible.

Existen arreglos básicos que se utilizan, enumerados en su orden del uso general.

1. Acoplamiento Fase-Tierra.
2. Acoplamiento entre fases.
3. Acoplamiento intercircuitos.

3.7.1.1. Acoplamiento Fase-Tierra

En este arreglo, el transmisor-receptor del portador está conectado entre un alambre de la fase y la estación según lo ilustrado en la figura 3.12.

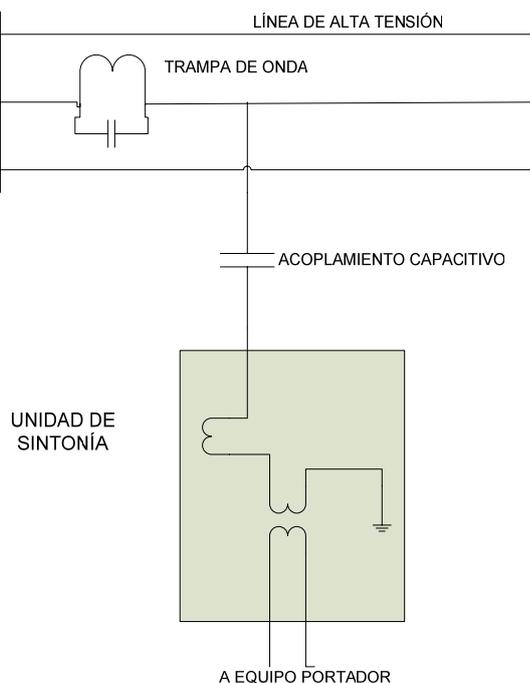


Figura 3.12. Acoplamiento fase a tierra

La trayectoria de retorno para el portador está sobre los dos otros alambres de la fase. El condensador se debe conectar siempre con el alambre del centro de la fase, puesto que las pérdidas serán menores. La desventaja principal es al momento que sufra inconveniente la fase utilizada, produciendo una reducción considerable en nivel de la señal.

La experiencia ha demostrado que usar la fase exterior en una línea de transmisión para el acoplamiento fase a tierra introduce niveles atenuación más alta y ésta se debe evitar o utilizar solamente en líneas cortas.

3.7.1.2. Acoplamiento entre Fases

En este tipo de acoplador, el transmisor-receptor está conectado entre los alambres bifásicos y funciona esencialmente balanceado a tierra, según lo la figura 3.13.

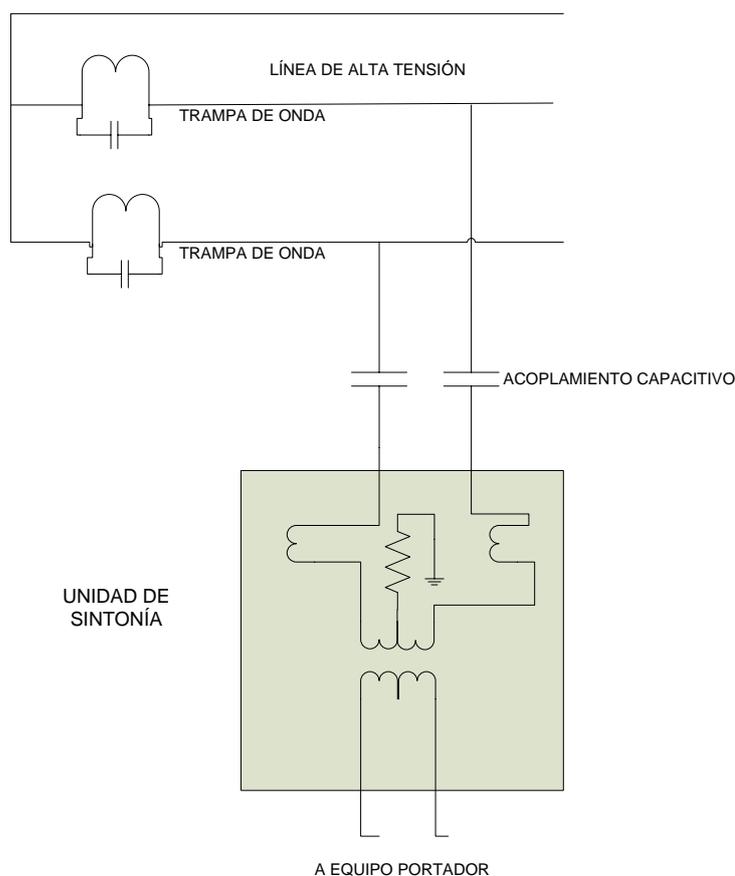


Figura 3.13. Acoplamiento entre fases

El arreglo del acoplador invierte la fase a tierra cuando un cortocircuito o un circuito abierto ocurren en una de las fases del acoplador, y previene así la pérdida completa de señal. Se produce la atenuación más baja cuando el acoplador se hace a las fases adyacentes de la fase, es decir centro a externo. Este arreglo se puede juntar entre las dos fases exteriores y funcionar totalmente equilibrado a tierra (el modo verdadero 2 en una línea horizontalmente espaciada de la transmisión); sin embargo, la atenuación entonces será más alta.

3.7.1.3. Acoplamiento Intercircuito

La diferencia básica de este tipo acoplador es que se encuentra conectado a una fase de una línea y una fase de la otra línea, es decir, es ocupado en enlace que contengan dos circuitos en las torres de alta tensión.

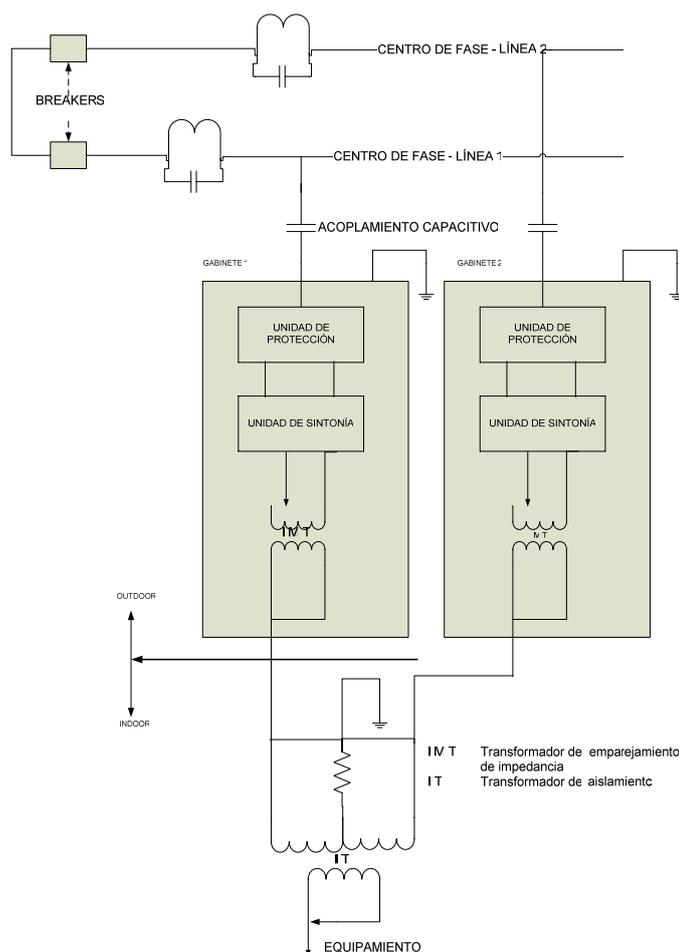


Figura 3.14. Acoplamiento en dos circuitos eléctricos ocupando sus fases centrales en cada uno de ellos

Con el uso del acoplador entre circuitos, el arreglo invierte la fase a tierra. Esta es la ventaja principal, puesto que si un circuito se encuentra en dificultades actúa el otro, sin embargo, hay un aumento en la atenuación para esta condición que puede llegar a 12dB.

Una desventaja de la configuración según lo demostrado en el figura 3.14. es la localización física de la unidad del acoplador con respecto a los dos condensadores.

Cuando existe esta situación, un arreglo de dos gabinetes de este acoplador se puede utilizar según lo demostrado en la figura 3.14. La configuración es ventajosa donde existe un circuito abierto o un cortocircuito en uno de los cables que se extienden del equipo de interior a los dos acopladores, con lo cual garantiza no dará lugar a una interrupción de la comunicación.

3.8. PÉRDIDAS DE CONVERSIÓN

En la figura 3.15, las pérdidas de conversión son mostradas para varios proyectos de acoplamiento. Las flechas de la izquierda indican la distribución de la corriente de entrada a la línea, y las flechas en la derecha indican la distribución de corrientes para las de entrada en la izquierda. Las corrientes del modo 1 y 2 han sido abandonadas desde que se asume que ya han contribuido poco a las corrientes de salida al final de la línea. El acoplamiento de la fase central a tierra es mostrado nuevamente como 1.8 dB por final o un total de conversión de pérdida de 3.6 dB. El acoplamiento de fase central a fases exteriores es mostrado luego con 1.25 dB por lado terminal o un total de conversión de pérdida de 2.5 dB. Una fase exterior a tierra dura y puede ser observada como un proyecto de acoplamiento de pérdida alta con 7.8 dB por lado terminal o un total de conversión pérdida de 15.6 dB. El total de pérdidas de conversión para estos tres proyectos mas el proyecto de acoplamiento del modo 3 es tabulado para la comparación en el cuadro estadístico de la figura 3.15.

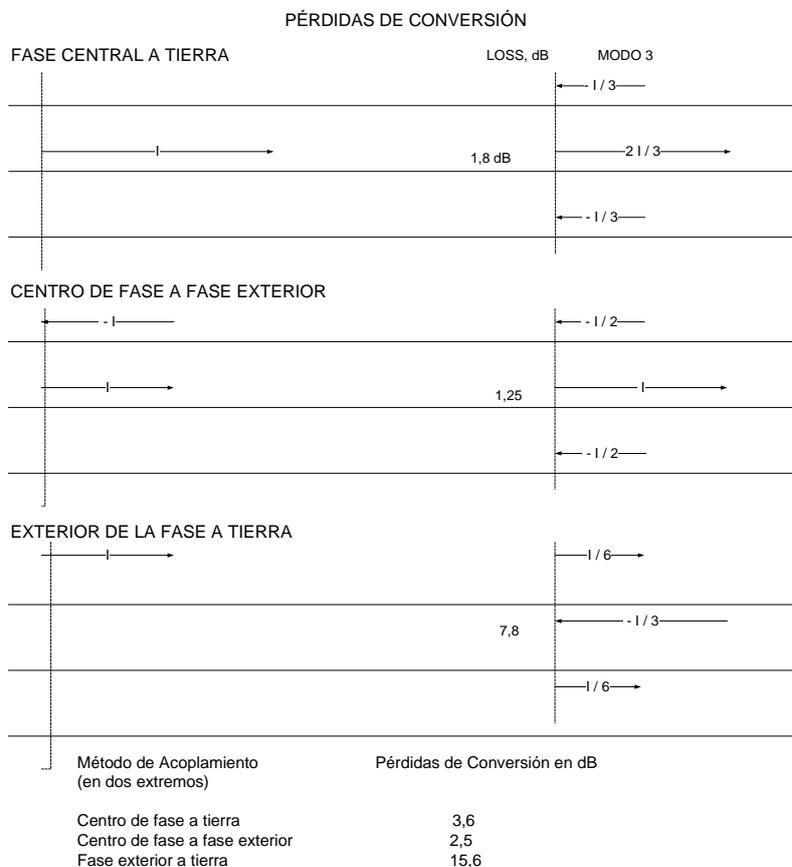


Figura 3.15. Pérdidas por conversión en modo 3

Se debe tener cuidado cuando los componentes del modo 2 son presentados, desde que atenúan mucho más lento que los del modo 1 y pueden ser abandonados solamente en líneas largas.

Para una aproximación justa, las pérdidas de conversión son independientes de frecuencia y de línea de voltaje, pueden ser utilizadas para comparar la eficiencia de varios proyectos de acoplamiento aplicados en líneas largas.

En la figura 15, el efecto de una transposición de línea es ilustrada. En la parte superior de la figura una corriente del modo 3 entra en una transposición desde la izquierda y sale por la derecha con una distribución de corriente cambiada. En la parte inferior de la figura, la distribución de corrientes fuera de las transposiciones es convertida en distribución de corriente del modo 2 y 3. La pérdida de transposiciones es calculada en la suposición de que la energía del modo 2 al alcanzar el final de la línea puede ser abandonada. Lo menos tributable para la transposición será de 6 dB en este caso.

Debe ser notorio que las pérdidas de las líneas han sido discutidas. En un estimado canal de rendimiento, pérdidas adicionales deberán ser incluidas para tomar cuenta de las pérdidas a través de la trampa de la línea, en el capacitor de acoplamiento, en las líneas de los sintonizadores, en los cables coaxiales, y en cualquier equipo de filtro de separación o híbridos involucrados.

3.9. CAUSAS DEL RUIDO EN LA LÍNEA

El ruido aleatorio puede ser causado por la agitación térmica en los conductores de la línea de energía y por la adquisición de estática. Pequeñas descargas en diferentes puntos, denominados impulsivos.

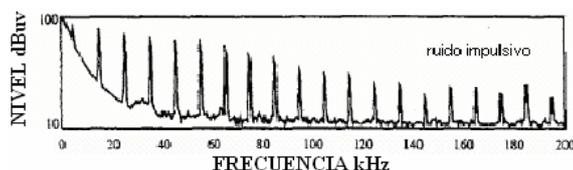


Figura 3.16. Ruido impulsivo producido aleatoriamente en la línea de alta tensión

Como estas descargas van creciendo, pueden ser consideradas como ruido impulsivo. El ruido impulsivo, además puede ser causado por relámpagos, las cuales producen impulsos de manera randómica.

Las pruebas indican que el ruido tiende a decrecer cuando la frecuencia portadora se incrementa. El máximo, mediano y valor promedio, todos caen al punto mas alto del espectro.

La información de ruido versus frecuencia disponibles indican una gran disputa en tendencia general. Son muy similares a los valores máximos de las características de la atenuación versus frecuencia, y sugieren que el ruido esta sujeto a la misma absorción y descoordinación como las señales.

3.9.1. Tamaño del Conductor

Es conocido que a mayor diámetro del conductor es menor el nivel de ruido. Esto incrementa el diámetro efectivo en la línea, la cual normalmente resulta como reducción del ruido de la línea.

3.9.2. Efecto Corona

En las inmediaciones de las líneas de alta tensión, este efecto se puede percibir como un ruido (perfectamente audible), semejante al "zumbido de abejas", cuya intensidad será mayor cuanta más tensión soporten los conductores.

La fuga transversal de corriente, que se producirá para valores instantáneos de tensión que superan un cierto umbral, dará lugar a unas corrientes no senoidales, pero periódicas, por lo que las intensidades de la línea estarán afectadas por un gran contenido en armónicos, que serán también causa de perturbaciones.

El efecto corona se produce en frecuencias menores a 1MHz donde los grandes fluctuaciones de voltajes y las bajas frecuencias generan gran cantidad de ruido en el medio de comunicación. Cabe señalar que este fenómeno físico únicamente sucede en líneas de alta tensión.

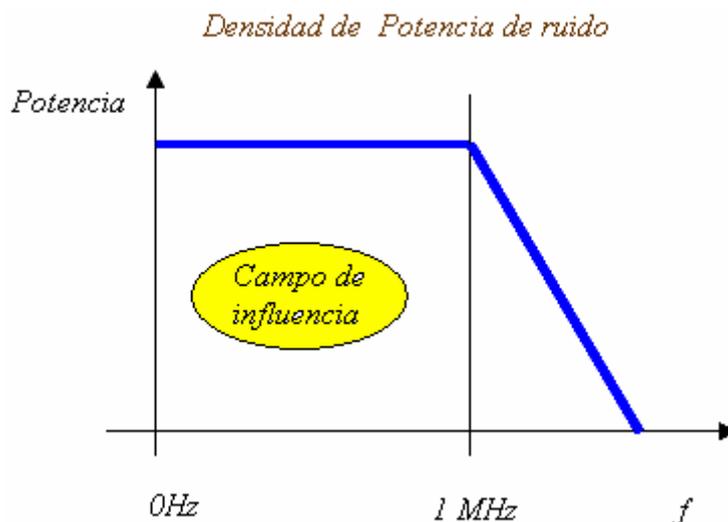


Figura 3.17. Campo de influencia del efecto corona en una línea de alta tensión con respecto a la frecuencia

3.10. NORMA CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)

En Europa, CENELEC ha emitido la norma EN-50065-1. Esta norma proporciona el uso de un espectro de frecuencia aproximadamente de 9 a 160 KHz para la tecnología Power Line Communication, esto hace posible obtener tasas de transmisión de 64Kbps hasta 3840Kbps.

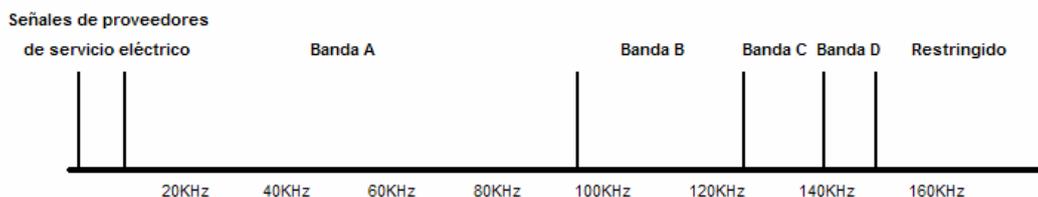


Figura 3.18. Rangos de frecuencia para bandas de transmisión, según la norma EN 50065-1.

Por lo tanto, en la Banda A se encuentran todas las señales provenientes de los proveedores de servicios eléctrico, normalmente señales de 50Hz para Europa y 60Hz para América.

La Banda B fue utilizada inicialmente en Europa, para la transmisión de señales de comunicación por sus numerosos beneficios en términos de seguridad, privacidad y ancho de banda.

La Banda C es usada para aplicaciones de consumidor, ya sea en la vivienda o en la industria.

Basándose en la normativa dictada por FCC (Comisión Federal de Comunicaciones), cualquier frecuencia, en el rango de 100KHz a 400KHz, es decir, la banda D y la banda restringida según el CENELEC puede ser usada para la transmisión de información modulada por la red eléctrica. La transmisión no puede superar los 540KHz por razones de interferencia a las señales de radiodifusión.

3.11. CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Se refiere al conjunto de parámetros que condicionan el diseño del sistema, los cuales son el resultado de considerar los requerimientos de TRANSELECTRIC S.A. y las opciones existentes para mejorar los servicios con los que cuentan las subestaciones de Quevedo-Portoviejo.

- Se debe considerar la necesidad de servicios de telecomunicaciones básicos para empresas encargadas a transportar energía eléctrica en grandes cantidades.
- La atenuación de la señal es un aspecto a tomar en consideración debido a la degradación de la señal a mayor distancia, y estas características son diferentes para cada fabricante de equipos de Power Line Communication.
- Otro aspecto a tomar en cuenta dentro de las características técnicas de los equipos; es que trabajen en condiciones extremas de calor y humedad ya que la zona de aplicación del proyecto es la costa ecuatoriana.

- La modulación de canales en un sistema Power Line Communication debe ser la técnica más robusta ante problemas de interferencia y ruido inherente en una red eléctrica.
- Se debe analizar todos los tramos en la red de PLC donde se pueden generar pérdidas, caso contrario los resultados arrojados en el estudio sería irreales.
- Se debe regir a normas y estándares internacionales de frecuencias para los usos en redes de alta tensión.
- El esquema de acoplamiento elegido debe optimizar la adaptación de impedancia entre las líneas de alta tensión y los equipos.
- La características de frecuencia intermedia y alta frecuencia reducen las ecuaciones facilitando su aplicación
- Los niveles aceptables de bits errados en un sistema de comunicaciones es de 10^{-6} , según la recomendación de la UIT-G.821.

3.12. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

En la actualidad, la subestación de Portoviejo cuenta con cuatro canales analógicos en el sistema Power Line Communication, siendo tres de voz y uno de datos.

El proyecto plantea mejorar considerablemente los servicios prestados en comunicaciones. El nuevo Power Line Communication puede trabajar con canales analógicos y digitales a velocidad superior a la actual.

En los sistemas de comunicaciones cada día aumenta la cantidad de información que se transmite, por lo tanto, se requieren canales confiables y con mejor desempeño. El PLC digital de 64Kbps, el cual puede multiplexar en varios servicios tales como voz, datos y teleprotección.

3.13. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

3.13.1. Cálculo de Impedancia

Recopilando la información suministrada de los capítulos anteriores, se puede decir que el nivel de tensión en la línea es 230kV, las líneas de longitud media son las que están entre 80 km. y 240 km, por lo tanto, recopilando los datos anteriores (*Capítulo II*) la distancia entre Quevedo y Portoviejo es de 110Km.

Diámetro exterior = 31.98 mm

Diámetro interior = 7.98 mm

Resistencia eléctrica = 0.1178 Ω/km

Resistencia eléctrica entre Quevedo y Portoviejo = 11.78 Ω

Distancia entre Quevedo y Portoviejo = 110km

Se procede al cálculo de de la reactancia inductiva X_L :

$$X_L = 4\pi f 1000 \times 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_r}$$

Donde:

D_m distancia media geométrica entre el conductor-tierra.

D_r radio del conductor desnudo.

$$X_L = 4\pi(1000000Hz)1000 \times 10^{-7} \ln \frac{7.8m}{7.98mm}$$

$$X_L = 125.66 \times (6.884)$$

$$X_L = 865.068 \Omega / km$$

Se ha escogido una frecuencia de 100kHz, los cuales están ubicados en la Banda B bajo la recomendación EN-50065-1 del CENELEC. Para los datos de D_m y D_r remitirse al capítulo II en la sección 2.3.

Ahora, se puede calcular el valor de la reactancia capacitiva:

$$X_C = \frac{\ln \frac{Dm}{Dr}}{4000\pi^2 kf}$$

Donde:

k permitividad que rodea la superficie.

La permitividad es una cantidad física que describe como un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio. La permitividad del vacío ($\epsilon_0=k$) es $8.8541878176 \times 10^{-12}$ F/m.

$$X_C = \frac{\ln \frac{7.8m}{7.98mm}}{4000\pi^2 (8.8541 \times 10^{-12}) 1000000}$$

$$X_C = \frac{6.884}{0,034}$$

$$X_C = 196.94\Omega / km$$

Por lo tanto, se puede reemplazar en la siguiente ecuación:

$$b_c = \frac{1}{X_C}$$

$$b_c = \frac{1}{196.94} = 0,005S / Km$$

Partiendo de la ecuación 3.9. se puede decir:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Z_o = 413,22\Omega$$

Se procede al cálculo de la impedancia característica Z_o en función de la altura, radio y impedancia del campo eléctrico, se debe recordar que se está trabajando sobre una línea de alta tensión aérea:

$$Z_0(h) = \frac{\eta}{2\pi} \ln\left(\frac{2h}{a}\right) \quad \text{Ecuación 3.20.}$$

Donde:

h Altura.

a Radio del conductor desnudo.

η Impedancia del campo eléctrico.

Donde la impedancia del campo eléctrico esta determinado por:

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

Donde:

ϵ_0 Permitividad dieléctrica en el vacío (8.854×10^{-12} F/m).

μ_0 Permeabilidad magnética del vacío ($12,56 \times 10^{-7}$ H/m).

Por lo tanto: $\eta = 377\Omega$, $h = 7.8$ y $a = 7.98\text{mm}$. Con estos datos se puede calcular la impedancia característica.

$$Z_0(h) = \frac{377}{2\pi} \ln\left(\frac{2(7.8)}{7.98 \times 10^{-3}}\right)$$

$$Z_0(h) = 454.69\Omega$$

3.13.2. Cálculo de Atenuación

Para iniciar con los cálculos de atenuación, se requiere encontrar el valor de la longitud de onda (λ) que se determina de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{Ecuación 3.21.}$$

Donde:

v es velocidad de propagación

f es frecuencia

Se debe indicar que la velocidad de propagación se la considerará equivalente a la velocidad de la luz, es decir $v \equiv c$.

Para una frecuencia de 90000Hz:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{90000 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 3333.33 \text{ m}$$

Para una frecuencia de 110000Hz:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{110000 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 2727.27 \text{ m}$$

Las pérdidas en la línea no afectarán a los cálculos, ya que si se remite a la información del capítulo II se puede observar que las distancias entre las fases y tierra son de 7.8m.

Remitiéndose a la ecuación 3.5 de la constante de propagación se puede decir:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

Pero como G es una cantidad muy pequeña se puede despreciar, por lo tanto:

$$\gamma = \sqrt{(j\omega RC) + (j^2 \omega^2 CL)}$$

La expresión de la constante de propagación aplicando su módulo también se puede expresar en términos de X_L y b_c :

$$|\gamma| = \sqrt[4]{(-b_c X_L)^2 + (jRb_c)^2}$$

Donde :

$$X_L = 865.068\Omega / km$$

$$b_c = 0.005S / km$$

$$R = 0.1178\Omega / km$$

Por lo tanto, la constante de propagación para 100KHz es:

$$\gamma = 2.079 \text{ nepers} / km$$

Para obtener la atenuación α en una frecuencia de 100KHz se tiene:

$$\alpha(f) = 0.5 \times 10^{-6} f^{0.6} (dB / km)$$

$$\alpha = 9.1 dB / km$$

3.13.3. Análisis Modal

Se debe establecer el acoplamiento que permita a la potencia de transmisor introducirse en la línea con modo de baja pérdida. Se debe tener en cuenta que existen acoplamientos fase-tierra y fase-fase.

La atenuación en la línea está determinada por:

$$a_{\text{linea}} = \alpha_1 l + 2a_c + a_{\text{add}} \quad \text{Ecuación 3.22.}$$

Donde

a_{linea} atenuación de la línea (dB)

α_1 atenuación en modo de bajas pérdidas (dB/km)

a_c pérdida por conversión modal (dB)

a_{add} pérdida adicional ocasionada por diferentes factores (dB)

l longitud de la línea en km

La expresión de la atenuación en modo de bajas pérdidas es:

$$\alpha_1 \approx 7 \times 10^{-2} \left[\frac{\sqrt{f}}{d_c \sqrt{n}} + 1 \times 10^{-3} f \right] \quad \text{Ecuación 3.23.}$$

Donde:

f frecuencia en kHz.

α_1 atenuación en modo de bajas pérdidas en dB/km.

d_c diámetro del conductor en mm.

n número de conductores por fase.

Recopilando los datos requeridos, se puede decir:

$$d_c = 31.98 \text{ mm}$$

$$F = 100 \text{ KHz}$$

$$n = 1$$

Por lo tanto:

$$\alpha_1 \approx 7 \times 10^{-2} \left[\frac{\sqrt{100}}{31.98 \sqrt{1}} + 1 \times 10^{-3} (100) \right]$$

$$\alpha_1 \approx 7 \times 10^{-2} [0.41]$$

$$\alpha_1 \approx 0.0288 \text{ dB / km}$$

Se debe indicar que las pérdidas adicionales ocasionadas por diferentes factores pueden variar en el orden de 3 a 8 dB según la recomendación IEC663.

$$a_{\text{linea}} = \alpha_1 l + 2a_c + a_{\text{add}}$$

$$a_{\text{linea}} = 0.0288(110) + 2(1.8) + 8$$

$$a_{\text{linea}} \text{ max} = 14.768 \text{ dB}$$

Las pérdidas totales del enlace están determinadas por la sumatoria de las pérdidas de acoplamiento y las pérdidas por atenuación de la línea.

$$A_{total\ max} = 2\alpha + a_{línea}$$

$$A_{total\ max} = 2(9.1) + 15.692$$

$$A_{total} = 33.892\text{dB}$$

3.13.4. Relación S/N Y BER

La modulación seleccionada es QAM (modulación por amplitud de cuadratura). En sistemas de comunicaciones la probabilidad de error (P_e) se encuentra en el orden de 10^{-4} tomado como un umbral mínimo típico de las Probabilidades de Error de Bit (BER) observadas en los canales de comunicación de Power Line Communication. Se puede decir que el BER requerido para un correcto funcionamiento es 10^{-6} según la recomendación G.703, lo que equivale a un bit errado cada un millón transmitidos.

Remitiéndose a la figura 3.19, se puede determinar que la probabilidad de error es 10^{-6} , por lo tanto, el valor de S/N será 10.5 dB con una modulación 4-QAM, de 14.5 dB con una modulación 16QAM y 21 dB con una modulación 128-QAM. En caso que este valor sea menor se requerirá de un repetidor para recuperar las condiciones de la señal.

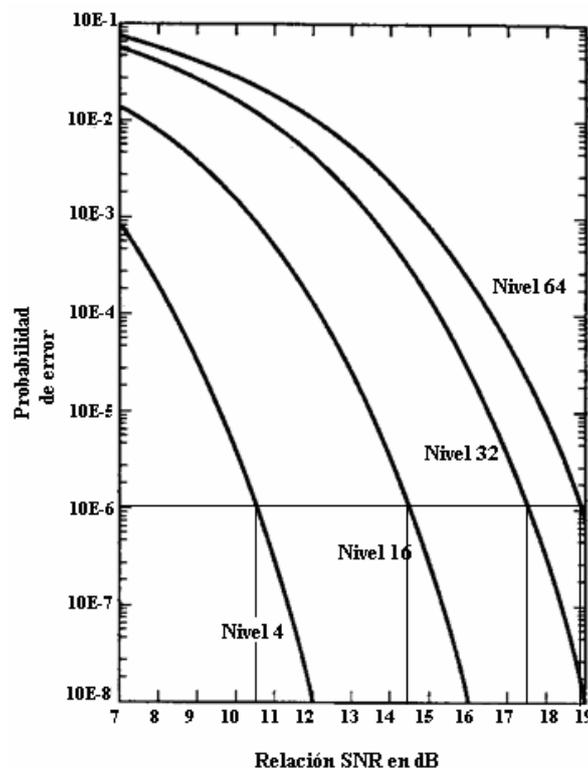


Figura 3.19. Relación de S/N con respecto a la probabilidad de error con modulación QAM

Posteriormente al cálculo de la relación señal a ruido en forma general, se puede ver en forma específica para cada servicio.

En la puesta en servicio de los equipos Power Line Communication se determina la potencia de transmisión de los servicios, a los cuales debemos sumar la potencia adicional proporcionada por el amplificador de potencia, a esta suma se la denomina potencia efectiva nominal del equipo.

$$dBm = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{0.001} \right)$$

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{80}{0.001} \right)$$

$$dB = 49.03 \text{ dB}$$

3.13.4.1. Potencia del Canal

Un canal de PLC para que trabaje en excelentes condiciones debe mantener los siguientes niveles:

TASA DE Tx	SNR
81Kbps	25dB
40Kbps	17dB
27Kbps	15dB

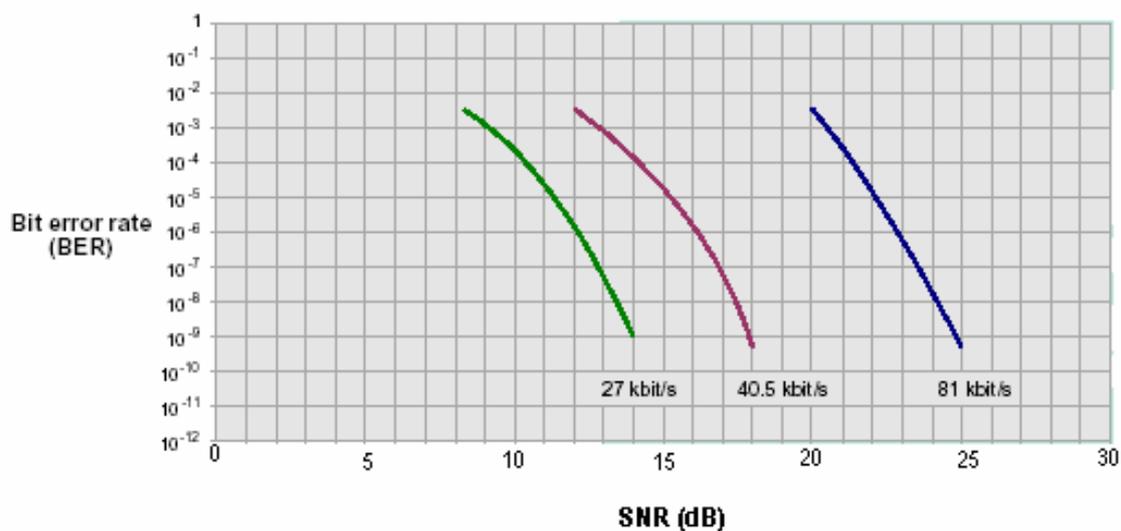


Figura 3.20. Relación de S/N con respecto a la probabilidad de error

La potencia efectiva nominal (P.E.P.) del equipo Power Line Communication varía según las especificaciones del equipo las cuales pueden variar de 20W, 40W y 80W.

$$dBm = 49.03 = 49.03dB - \text{factor de atenuación } 10\% = 44.127$$

Según la recomendación IEC663, se tendrá un ruido para la línea de -19dBm.

Utilizando la siguiente ecuación se puede determinar la relación de señal a ruido (SNR):

$$SNR = Pr - P - Aline - Acoupl \quad \text{Ecuación 3.24}$$

Donde

Pr = potencia recibida

P = ruido en la línea de alta tensión

Aline = atenuación de la línea

Acoupl = atenuación de acoplamiento

$$SNR = 44.127 - (-19) - 14.768 - 18.2$$

$$SNR = 30.159.44dB$$

El parámetro de sensibilidad de cada equipo viene dado en sus hojas técnicas. Remitiéndonos al ANEXO I del equipo DIMAT indica que su sensibilidad es de 10dBm.

$$\text{Potencia recibida} = \text{Potencia transmitida} - \text{Atenuaciones}$$

$$\text{Potencia recibida} = 44.127 - 14.768 - 18.2 = 11.159dBm$$

3.13.5. Pérdidas por Cable Coaxial

Remitiéndose a la tabla 3.4. se puede recopilar los siguientes datos:

Frecuencia = 100KHz

Loss = 0,216 dB por cada 100 m.

El tramo cubierto con cable coaxial en las subestaciones es de 150m. aproximadamente, por lo tanto:

100m.	0,216dB
150m.	X

$$X = 0,324 \text{ dB}$$

3.13.6. Pérdidas por Uniones Mal Hechas

La pérdida de una discontinuidad de la impedancia o de una unión mal hecha entre una línea de la impedancia característica Z_0 y una carga de Z_1 se da en decibelios, donde se expresa de la siguiente manera:

$$dB_{LOSS} = 20 \log \left[\frac{Z_0 + Z_1}{2\sqrt{Z_0 Z_1}} \right] \quad \text{Ecuación 3.24.}$$

3.13.7. Resultados de Diseño

PARÁMETROS	RESULTADOS
Tipo de modulación	QAM
Rango de frecuencias	100 a 400 KHz
Tasa de transmisión	1200, 2400, 4800, 9600, 19200 bit/s
Frecuencia de portadora	100KHz
Umbral de S/N	10.5 dB
BER	10^{-6}
Impedancia característica	454,69 Ω
Atenuación	33.892dB
Tipo de acoplamiento	Capacitivo (fase-fase)

Tabla 3.5. Resultado de diseño del sistema Power Line Communication

3.14. SERVICIOS A PRESTAR

3.14.1. Redes Telefónicas

Se necesita un equipamiento que permita trabajar con sistemas analógicos PABX (Private Automatic Branch Exchange) y con sistemas digitales, esto se debe a que TRANSELECTRIC S.A. cuenta en toda su red con tramos importantes de sistemas analógicos.

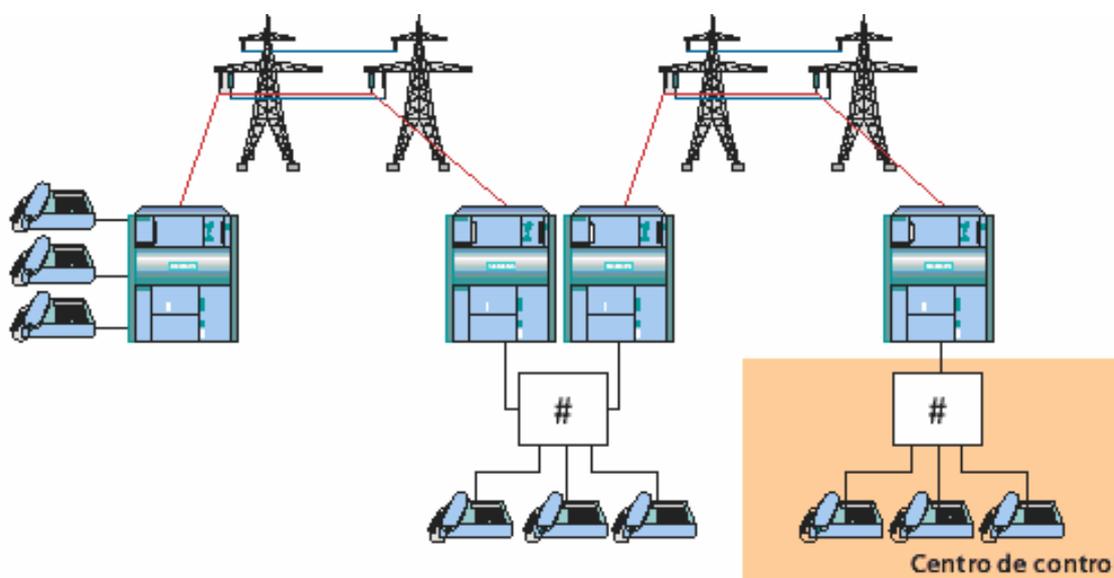


Figura 3.21. Red telefónica sobre un sistema de Power Line Communication

En la actualidad, existen accesorios adicionales de multiplexación como FRAME RELAY que permite optimización del ancho de banda y por ende de los servicios. Los equipos de Power Line Communication deben poseer dichas cualidades logrando obtener tres características, las cuales son: un gran número de canales de voz que permite la conexión de hasta 20 teléfonos por subestación, la capacidad de administración del tráfico de datos consiguiendo un uso óptimo de las tasas disponibles de transmisión; basado en que el ancho de banda disponible es solo ocupado cuando las señales de voz u otros servicios son transmitidos y con la función integral de conmutación de voz que puede servir como una pequeña central telefónica (PABX) logrando de esta forma el mayor beneficio económico del equipo.

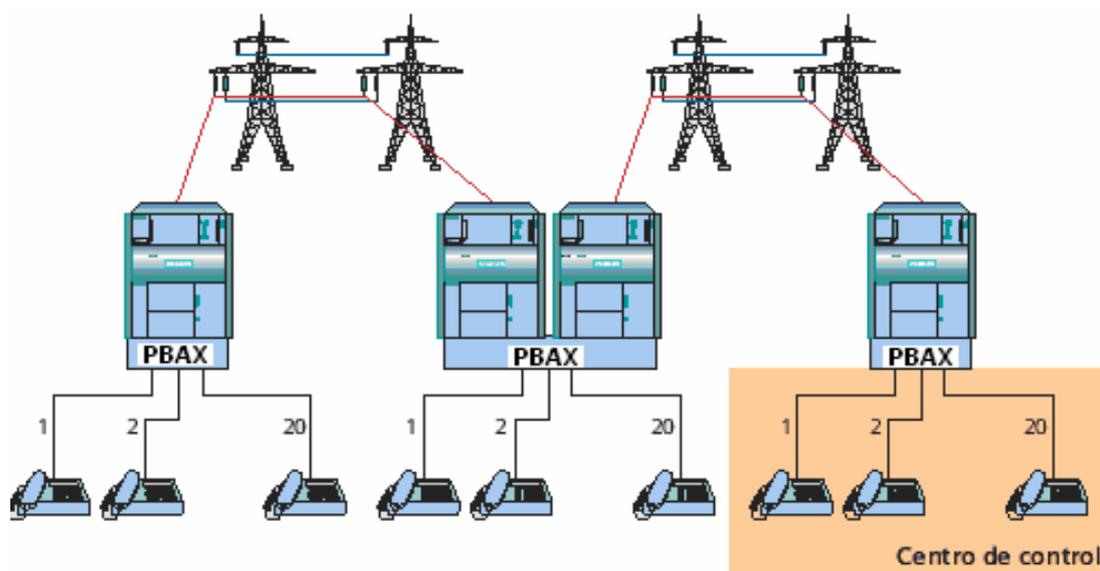


Figura 3.22. Red telefónica con Frame Relay sobre Power Line Communication

Se podría contar con un sistema PABX para crear un rango completo de servicios suplementarios para llamadas de voz, tal como:

- CLIP (Calling Line Identification Presentation): El número de abonados que esta llamando aparece en la pantalla de teléfono del abonado que recibe la llamada.
- CF (Call Forwarding Services): Llamadas de abonados pueden ser reenviadas a otros números.
- CH (Call Hold): Mientras atiende una llamada, usted puede poner en espera dos llamadas más, cambiar de llamada, y así continuamente.

3.14.2. Telecontrol

La petición permanente de los datos de unidad Terminal Remota (UTR) con canal integrado FSK (frequency shift keying) puede llegar a tasa de bits de hasta 2400 Bd o interrogación secuencial de los datos de UTR vía bomba de datos (datapump) con un multiplexor y una tasa de bits de 19.2 kbit/s.

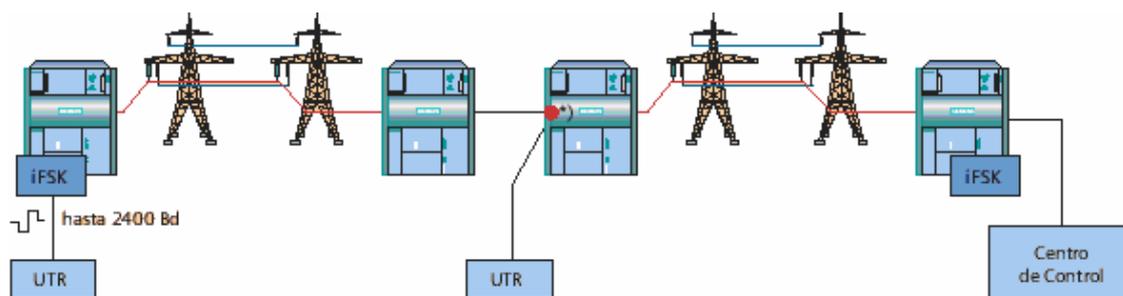


Figura 3.23. Telecontrol a través de un canal FSK (Frequency shift keying)

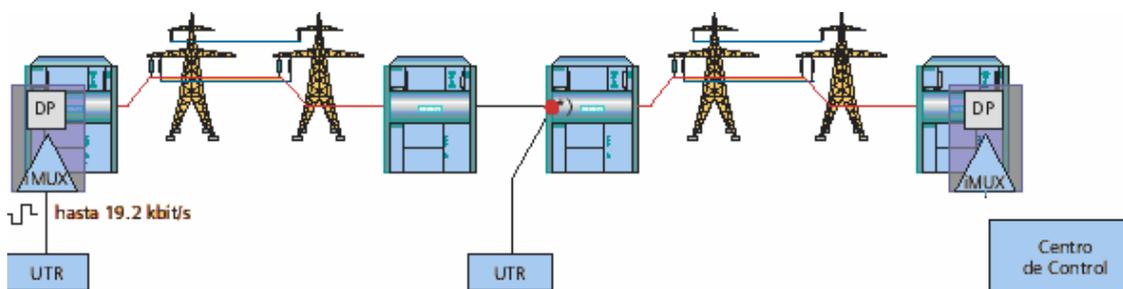


Figura 3.24. Telecontrol por medio de un multiplexor y bomba de datos (Datapump)

El Power Line Communication debe permitir interrogación secuencial desde el Centro de Control hacia la unidad terminal remota. Si una UTR local es activada por el centro del control, la señal RTS (request to send) va a conmutar la línea de transmisión de datos (TxD) de la UTR local.

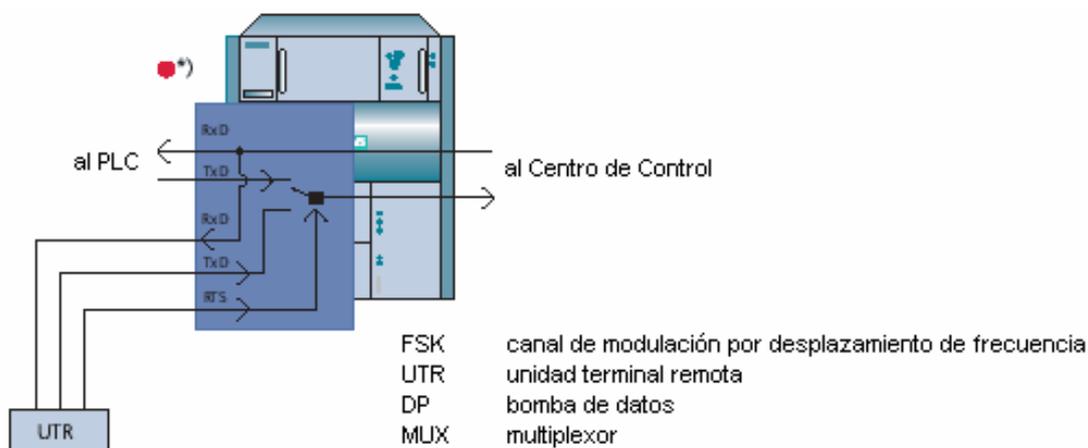


Figura 3.25. Control de la unidad Terminal Remota a través de un centro de gestión

3.14.3. Transmisión de Datos

Los multiplexores integrados que permite la transmisión de hasta 8 canales de datos asincrónicos por medio del multiplexor estadístico integrado con función de administración de prioridades. La funcionalidad del multiplexor estadístico permite asignar a los puertos en suma una tasa de bits generalizada mayor, que la corriente de bits agregados que el multiplexor puede disponer. Por ejemplo: $8 \times 19,2 \text{ kbit/s} = 153,6 \text{ kbit/s}$. Las señales RTS/CTS controlan cada canal individual. La función de administración asigna la prioridad más alta a los puertos del 1 al 4 (por ejemplo: $4 \times 19.2 \text{ kbits/s}$) y menor prioridad a los puertos del 5 al 8 (por ejemplo: $4 \times 19.2 \text{ kbits/s}$). Los canales con alta prioridad serán siempre transmitidos. Los canales de menor prioridad serán transmitidos según disponibilidad de la capacidad; por ejemplo si uno o más puertos entre el 1ero. y el 4to. están en estado de reposo.

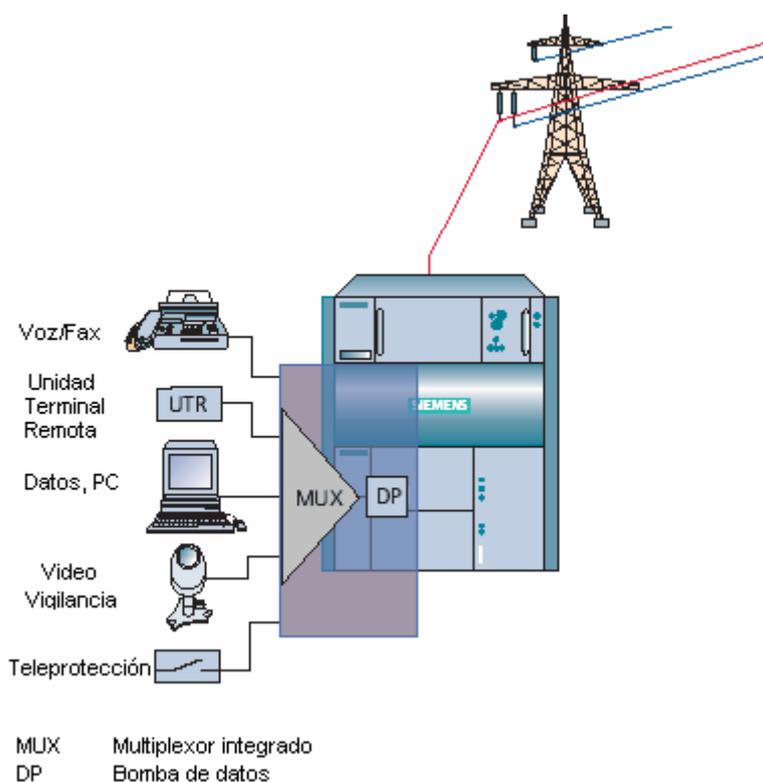


Figura 3.26. Transmisión de datos a través del sistema Power Line Communication

El sistema de Power Line Communication debe transmitir datos sincrónicos, es decir, pueda trabajar sobre redes PDH y SDH.

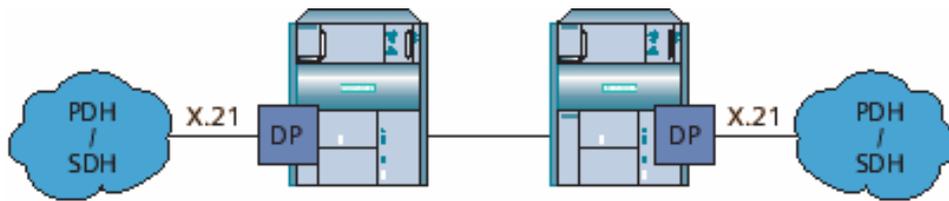


Figura 3.27. Transmisión de datos sobre redes SDH y PDH

3.14.4. Teleprotección

La teleprotección debe soportar hasta tres sistemas de transmisión de señales de protección independientes que pueden ser conectados al Power Line Communication.

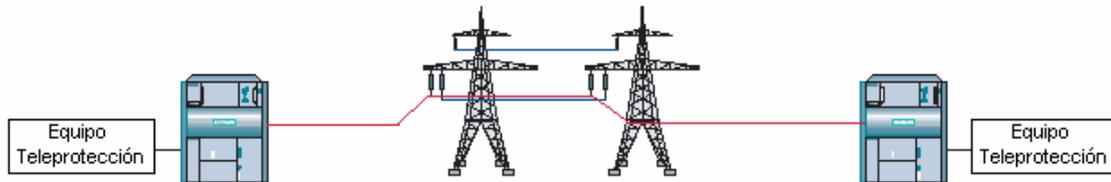


Figura 3.28. Sistema de teleprotección

Conocida la importancia del sistema de teleprotección para TRANSELECTRIC S.A. se requiere que dicho servicio tenga redundancia, es decir, sea 1+1.

3.14.4.1. Servicio Único (SP)

El servicio único de teleprotección consiste en un canal dedicado, es decir, solo cumpla con esta función.



Figura 3.29. Servicio único de teleprotección.

3.14.4.2. Servicio Múltiple Simultáneo (SMP)

El sistema múltiple simultáneo consiste en compartir el canal de teleprotección con voz o datos sin sobreponerse unos con otros, aquí conviven los disparos de guarda con la información.

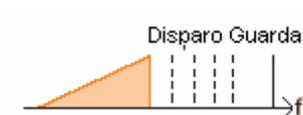


Figura 3.30. Servicio múltiple simultáneo con canal de voz.



Figura 3.31. Servicio múltiple simultáneo con canal de datos.

3.14.4.3. Servicio Múltiple Alternado (AMP)

El servicio múltiple alternado es muy similar al servicio múltiple simultáneo con la diferencia que las señales de voz y datos pueden alternar entre sí en un mismo tramo del ancho de banda.



Figura 3.32. Servicio múltiple alternado con canal de voz.



Figura 3.33. Servicio múltiple alternado con canal de datos.

CAPÍTULO IV

MANTENIMIENTO DE RED

4. MANTENIMIENTO DE LA RED

En la actualidad el sistema de onda portadora o PLC no posee centro de gestión para determinar fallas en los canales de voz, por esta razón, es de suma importancia la funcionalidad del operador en cada subestación. Mientras los canales de datos se encuentran supervisados por Centro de Operación de TRANSELECTRIC S.A., quienes son los encargados de adquirir datos como voltaje, corriente, temperatura, potencia, etc. provenientes de las Unidades Terminales Remotas de todas las subestaciones en el país. Dicha supervisión no permite solucionar problemas en los canales de comunicaciones que se presenten con el PLC, requiriendo indispensablemente de los ingenieros de campo para resolver los inconvenientes.

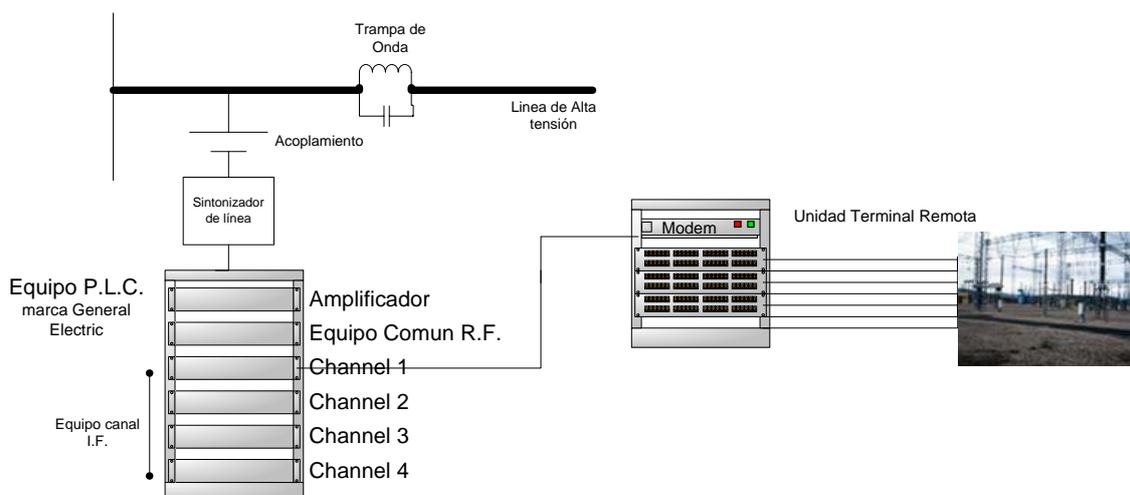


Figura 4.1. Sistema PLC utilizando un canal de datos para transmitir información de la Unidad Terminal Remota (UTR)

El mantenimiento de la red de Power Line Communication significa un control global e integral de los equipos, dispositivos y servicios prestados agrupados en características técnicas específicas.

4.1. GESTIÓN DE LA RED

El mantenimiento de los servicios prestados por el equipo debe ser controlado por un Centro de Gestión, quienes son los responsables de resolver y comunicar los inconvenientes suscitados en la red de Power Line Communication, en caso que fuera necesario deberán actuar los ingenieros de campo para solucionar el contratiempo que no se pudo resolver remotamente.

Los sistemas de gestión se dividen en dos grande áreas las cuales son:

- Gestión de mantenimiento
- Gestión de la calidad de funcionamiento



Figura 4.2. Sistema de gestión para equipos Power Line Communication

4.1.1. Gestión de Mantenimiento

La gestión de mantenimiento tiene como objetivo identificar los componentes con fallas y posteriormente ponerle es su estado normal de funcionamiento. Las principales actividades de la gestión de mantenimiento son:

- Minimizar la probabilidad de averías.
- Supervisión de fallos existentes.
- Localización y diagnóstico.
- Aislamiento si procede

- Reparación
- Verificación

La gestión de mantenimiento cumple una función importante e irremplazable en un sistema de telecomunicaciones, ya que por la causa de una falla en un servicio que preste la red puede ocasionar costos elevados para la empresa.

4.1.2. Gestión de Calidad de Funcionamiento

Es el conjunto de servicios que determina la política de calidad, objetivos y responsabilidad. La gestión de calidad de funcionamiento se implementa por medio de la planificación, control, aseguramiento y mejor calidad del servicio. Debiendo respetar una disponibilidad mínima de servicio del 99.999% con una tasa de error de bit de 10^{-6} dictada en la recomendación G.821.

4.2. INSTALACIÓN

La etapa de instalación de los equipos es fundamental, la cual se debe llevar a cabo satisfactoriamente con una apropiadamente planificación. La planificación no solo debe tomar en cuenta la situación presente, sino que debe considerar la futura expansión del sistema.

4.2.1. Inspección Mecánica

El equipo de Power Line Communication debe ser revisado minuciosamente para determinar cualquier defecto mecánico inmediatamente durante su recepción. En el proceso de instalación todo el equipo debe permanecer apagado.

4.2.2. Sala de Equipos

La sala donde el equipo va a ser instalado debe tener las siguientes características:

- Estar libre de polvo.

- Pisos y paredes de cemento deben ser terminadas con una pintura apropiada.
- El piso deberá tener una cubierta plástica semiconductor.
- La sala debe encontrarse ventilada.
- La temperatura deberán estar en el rango de +10 a +45°C.
- La humedad deberá estar en el rango de 30 a 70%.
- Las baterías no deberán estar en la misma sala.



Figura 4.3. Sala de equipos en la subestación de Quevedo

4.2.3. Requerimientos Informáticos

Los requerimientos del sistema Power Line Communication varían dependiendo de la complejidad de la red y los requerimientos que esta necesite.

Los requerimientos mínimos de las computadoras del sistema deben contar con las siguientes prestaciones:

COMPONENTE	VALOR	OBSERVACIÓN
General	Torre	Recomendación de interfaces: 2 puertos RS232C, 1 Keyboard (PS/2), 1 Mouse (PS/2)
CPU	Pentium IV - 1.79GHz	
RAM	512 MB	Depende del tamaño de la base de datos (futura expansión)
Hard Disk	20GB (Ultra-SCSI)	
CD-ROM	32x (SCSI)	
LAN-Adaptador	10/100Mbps	
Controlador de disco	SCSI	
Adaptador de tarjeta grafica	SVGA, 4MB	
Monitor Server	Color 17"	

Tabla 4.1. Requerimiento mínimos de hardware del sistema power line communication

COMPONENTE	VALOR	OBSERVACIÓN
General	Mini-Torre-Desktop	Interfaces (recomendación): 2xRS232C, Keyboard (PS/7), Mouse (PS/7)
CPU	Pentium -180GHz	
Cache	512 KB	
RAM	128MB	
Hard Disk	3.2 GB	
Floppy	1.44MB	
CD-ROM	32x IDE	
LAN-Adaptador	10/100Mbit/s	
Controlador de disco	FAST-IDE	
Keyboard	PS/2 recomendado	
Adaptador de tarjeta	SVGA, 4MB	

gráfica		
Adaptador de audio	Compatible con windows	
Monitor	Color, 17"	

Tabla 4.2. Requerimiento mínimos de hardware en los cliente del sistema power line communication

COMPONENTES	VALOR	OBSERVACIÓN
General	Notebook/Laptop	Interfaces requeridas: RS232C Interface recomendadas: VGA, Keyboard (PS/2) y Mouse (PS/2)
CPU	Pentium 1.8GHz	
Cache	256 KB	
RAM	128 MB	
Hard Disk	2.1 GB	
Floppy	1.44MB	
CD-ROM	24x	
Controlador de disco	IDE	onboard
Adaptador de tarjeta gráfica	SVGA, 2MB	onboard
LAN adaptador	10/100Mbit/s, twisted pair	
Puertos	Universal Serial Bus 4	

Tabla 4.3. Requerimiento mínimos de hardware en los computadores para revisar los terminales locales del sistema Power Line Communication

SOFTWARE	SERVIDOR	CLIENTE	LOCAL TERMINAL
Windows XP		X	X
Windows 2003 Server	X		
Adicional WIN Service Pack	X	X	X
LAN	X	X	X

Tabla 4.4. Requerimiento de software en el sistema power line communication

4.3. PRUEBAS PRELIMINARES A LA PUESTA EN SERVICIO

Previo a la puesta en servicio del equipo Power Line Communication los siguientes puntos deben ser comprobados antes de encender la alimentación auxiliar del equipo. Cualquier discrepancia y anomalía tiene que ser rectificadas sin demoras.

- Comprobar que el armario esté puesto a tierra según las indicaciones del manual.
- Comprobar que las conexiones externas vayan a los terminales correctos en el armario de acuerdo a los planos específicos para la subestación.
- Comprobar que todos los cables internos estén correctamente insertados y fijados.
- Comprobar que todas las unidades estén fijadas en las posiciones correctas de acuerdo al diagrama específico del proyecto para la subestación.

4.4. MANTENIMIENTO

La actividad de mantenimiento se realiza a través de procesos directos o indirectos en los equipos, obras o instalaciones; con la finalidad de cumplir con las normas de seguridad y eficiencia en las funciones encomendadas.

4.4.1. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es el servicio programado de control, conservación y restauración de los equipamientos, obras o instalaciones; ejecutadas con la finalidad de mantenerlos en condiciones satisfactorias de operación y de prevenir posibles eventos que pueden dar lugar a su indisponibilidad.

4.4.2. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es todo servicio efectuado en equipos, obras o instalaciones con la finalidad de corregir fallas.

4.4.2.1. Defecto

Un defecto es la alteración física o química en el estado de un equipamiento, obra o instalación, que puede ocasionar inconvenientes en los servicios prestados por el sistema.

4.4.2.2. Falla

Es el término de la funcionalidad de un equipo, obra o instalación para desempeñar los servicios requeridos.

4.4.2.3. Salida Permanente

Es el acto de retirar de servicio un equipo, obra o instalación demandando una acción de mantenimiento para recolocarlo en condiciones normales de operación.

4.4.2.4. Salida Transitoria

Es el acto de retirar de servicio un equipo, obra o instalación sin requerir acción de mantenimiento para recolocarlo en condiciones normales de operación.

4.5. MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Todos los módulos están sujetos a un chequeo estricto como un paso final durante la fabricación y antes de una completa prueba funcional final. El equipo de onda portadora o PLC completo debe ser calibrado y probado como una unidad.

Las funciones más importantes, que son críticas para las características de operación del equipo, son realizadas digitalmente por el procesador digital de señales en la unidad piloto y supervisión. Los ajustes correspondientes están hechos en switches de programación y en consecuencia no están sujetos a cambios con el tiempo.

La estabilidad de estos ajustes y también del equipo común, es asegurada por un largo período de tiempo.

Sin embargo, se recomienda hacer prueba en intervalo corto de tiempo. La frecuencia de las pruebas depende muchos de las condiciones de operación en la instalación particular, pero no debería ser menor que una cada dos años.

Son recomendadas las siguientes mediciones periódicas:

- Fuente estabilizada de tensión DC.
- Niveles de AF y RF seleccionados
- Nivel de operación del AGC (indica la fluctuación de atenuación de la línea).

Es importante encontrar las razones de lectura que varíen mucho de los valores obtenidos durante la puesta en servicio, inclusive si esto significa comprobar todo el equipo.

El chequeo y la prueba deben solo ser llevado a cabo por el correspondiente personal calificado y autorizado utilizando los instrumentos adecuados. Ajustes incorrectos pueden perjudicar la correcta operación del equipo.

4.6. SISTEMAS DE ALARMAS

Las alarmas en un sistema de comunicaciones se encuentran agrupadas en una unidad piloto y supervisión del equipo de PLC digital. En esta unidad también se generan alertas que son algunos estados de operación y fallas de baja prioridad.



Figura 4.4. Equipo de Power Line Communication Digital marca SIEMENS

Los sistemas de alarmas se remiten de la evaluación de los siguientes parámetros:

- La señal de AGC (Control Automático de Ganancia) que sirve para mantener un nivel de señal de entrada fijo.
- El Local Loop, es muy común en sistemas de telecomunicaciones donde se genera un bucle local Tx/Rx.
- Alarmas por desconexión.
- Alarmas de baja prioridad iniciadas por el equipo.
- Alarmas por fallas en transmisión o recepción.
- Relación Señal/Ruido (SNR) es muy baja.

4.7. MANTENIMIENTO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

La línea de transmisión es utilizada como medio de comunicación entre las Subestaciones Quevedo-Portoviejo, por lo tanto, es importante analizar el mantenimiento de la línea.



Figura 4.5. Subestación de Quevedo

4.7.1. Ingeniería de Mantenimiento de Líneas de Transmisión

La ingeniería de mantenimiento del sistema es un conjunto de acciones desarrolladas en las siguientes actividades:

- a. Programación del mantenimiento, control y análisis de desempeño del sistema.
- b. Acción de mantenimiento.
- c. Recomendaciones para realizar trabajos.

4.7.1.1. Programación, Control y Análisis

La programación del mantenimiento es una herramienta de fundamental importancia en el planeamiento de servicios a ser ejecutados en función de la configuración del sistema, la importancia y tiempo de operación de las líneas. Se debe elaborar un programa que defina las prioridades necesarias y tipos de mantenimiento a ser realizado.

Con el objeto de lograr una sistematización en el mantenimiento de las líneas de transmisión es conveniente establecer una secuencia de actividades como la que se describe a continuación:

4.7.1.1.1. Catastro

Considerando la gran cantidad y diversificación de líneas de transmisión es importante llevar catastro que consiste de un archivo de datos debidamente clasificados, proporcionando una disponibilidad de información técnica necesaria para la operación y mantenimiento de las líneas de transmisión.

4.7.1.1.2. Programación del Mantenimiento

Para una correcta actuación de los Grupos de Mantenimiento, se hace necesaria la elaboración de un esquema de trabajo definiendo prioridades necesarias y permitiendo un control eficiente del mantenimiento a ser realizado.



Figura 4.6. Programación del mantenimiento en la línea de 230KV

Los programas de mantenimiento pueden dividirse en anuales y trimestrales, los programas anuales deben considerar las siguientes actividades:

- Inspecciones visuales pedestres



Figura 4.7. Inspección visual de la línea de alta tensión

- Limpieza de faja de servidumbre

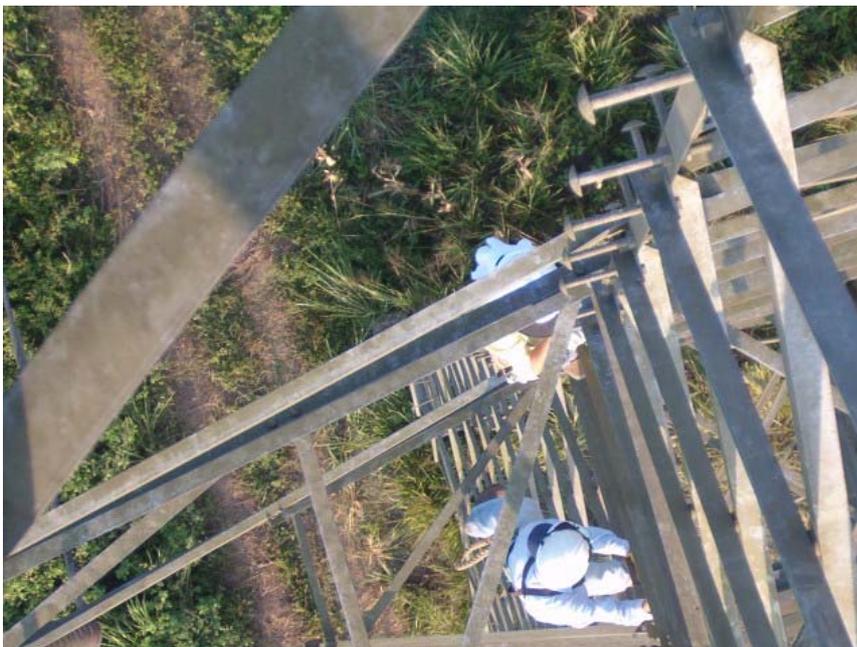


Figura 4.8. Torre de alta tensión vista de la parte superior hacia su base

- Mantenimiento de los accesos



Figura 4.9. Acceso a una torre de alta tensión

La periodicidad de las inspecciones debe ser definida, básicamente en función del tiempo de operación, desempeño de la línea de transmisión e importancia operacional.

Los programas trimestrales son basados, principalmente, en los análisis de las inspecciones realizadas y deben relacionar todos los servicios a ser desarrollados por los Grupos de Mantenimiento durante el trimestre considerado.

4.7.1.1.3. Planeamiento

Toda ejecución de servicios de mantenimiento, deben seguir una programación ejecutiva de modo de establecer un planeamiento detallado de tareas que serán realizadas. El programa ejecutivo y posterior deberá definir lo siguiente:

- Tipo de mantenimiento
- Personal
- Equipamiento/material y herramientas
- Transporte/comunicación
- Fecha/ tiempo de ejecución
- Detalle del esquema de trabajo

- Evaluación de la ejecución de mantenimiento
- Velatorio de la ejecución del mantenimiento

4.7.1.2. Acción de Mantenimiento

4.7.1.2.1. Mantenimiento Preventivo

Un mantenimiento preventivo es realizado con el objetivo de corregir defecto. Considerando la necesidad de continuidad de suministro de Energía y por lo tanto del funcionamiento del sistema de PLC, se procederá con los métodos de mantenimiento en línea de transmisión, atendiendo satisfactoriamente los aspectos técnicos, económicos, seguridad y confiabilidad.

De acuerdo con el nivel de tensión, configuración de las estructuras, etc. El método de trabajo en líneas de transmisión, que consideren componentes energizados, puede ser a distancia o a potencial.

4.7.1.2.1.1. Método de Trabajo a Distancia

El operario se mantiene en el exterior de la ZONA, actuando sobre los conductores y demás elementos activos, mediante herramientas montadas en el extremo de pértigas o cuerdas aislantes y se utilizan principalmente en líneas de transmisión de 230KV.



Figura 4.10. Mantenimiento de líneas de alta tensión.

4.7.1.2.1.2. Método de Trabajo a Potencial

Es donde el electricista trabaja directamente en contacto con los componentes energizados, usando vestimenta conductiva, protegiéndose de los efectos del campo eléctrico.

4.7.1.2.2. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es realizado con el objetivo de corregir fallas tratando de restituir la línea de transmisión a las condiciones normales de operación.



Figura 4.11. Mantenimiento correctivo en la línea de alta tensión.

Es fundamental la existencia de esquemas de Atención a las Emergencias debido a salidas permanentes, tratando de reducir los tiempos de las salidas, mediante optimización de las intervenciones de los equipos de mantenimiento de línea transmisión.

En la definición de los esquemas de emergencia, se recomienda el levantamiento y utilización de accesos considerados para el desplazamiento de personal, materiales, equipamientos, así como para todas las providencias de campo que deben ser tomadas en cuenta durante la emergencia.

4.7.1.3. Recomendaciones para Realizar Trabajos

Las siguientes consideraciones deben ser tomadas en cuenta en la realización de los trabajos:

- a. No es permitido fumar durante la ejecución de los trabajos.
- b. Las herramientas no deben ser colocadas directamente sobre el suelo para evitar que se deterioren.
- c. En caso de imposibilidad de acceso del vehículo al sitio de trabajo, el material debe ser transportado cuidadosamente por los trabajadores.
- d. Antes de iniciar los trabajos, el supervisor debe establecer contacto con los operadores de la unidad relacionada. A falta de comunicación, los trabajos no pueden ser iniciados.
- e. Si durante la ejecución del trabajo ocurre la interrupción de comunicaciones, el Grupo de Mantenimiento debe abandonar los trabajos y el supervisor comunicar las novedades.
- f. Los trabajos deben concluir dentro del periodo programado, en caso de que sea necesaria la ampliación del período, el supervisor debe realizar la solicitud a las unidades respectivas.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE ECONÓMICO

5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

5.1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como objetivo principal proveer una alternativa de comunicaciones seguras a través de la red eléctrica de alta tensión entre las subestaciones de Quevedo y Portoviejo.

El Power Line Communication es el sistema de comunicación más idóneo para ser aplicado. TRANSELECTRIC S.A. es una empresa dedicada al transporte de energía en grandes cantidades, por lo tanto, cuenta con una infraestructura eléctrica a nivel nacional lo que reduce ostensiblemente el costo del proyecto.



Figura 5.1. Patio de 230KV ubicado en la Subestación de Quevedo

El sistema Power Line Communication ocupa como medio de transmisión los cables de alta tensión que ya se encuentran instalados, esto determina que los trabajos de implementación del proyecto sean menores. TRANSELECTRIC S.A. requiere únicamente de 3 servicios esenciales: teleprotección, transmisión de voz y transmisión de datos, los cuales van a ser cubiertos con altos niveles de desempeño y calidad.

5.2. DEFINICIÓN DE ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

El estudio de factibilidad es un análisis para determinar si un proyecto que se propone será de provecho o no; y en qué condiciones se debe desarrollar para que sea exitoso.

Iniciar un proyecto de telecomunicaciones, significa invertir recursos, como tiempo, dinero, mano de obra, servicios y equipos.

Como los recursos siempre son limitados, es necesario tomar una decisión; las buenas decisiones sólo puede ser tomadas sobre la base de la evidencia y cálculos correctos, de manera que se tenga mucha seguridad de que un proyecto se desempeñará correctamente.

En las empresas se cuenta con una serie de objetivos que determinan la posibilidad de factibilidad de un proyecto sin ser limitativos. Estos objetivos son los siguientes:

- Reducción de errores y mayor precisión en los procesos.
- Reducción de costos mediante la optimización o eliminación de recursos no necesarios.
- Integración de todas las áreas y subsistemas de la empresa.
- Actualización y mejoramiento de los servicios.
- Aceleración en la recopilación de datos.
- Reducción en el tiempo de procesamiento y ejecución de tareas.
- Automatización total de procedimientos manuales.

Para la presente propuesta de un proyecto de telecomunicaciones, el estudio de factibilidad económica implica una evaluación técnica-económica, que involucra la puesta en marcha.

5.3. PROPUESTA ECONÓMICA Y FINANCIERA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

En todo proyecto su puesta en marcha y desarrollo implica una inversión de tiempo, dinero, recursos, mano de obra, etc.; para tener a cambio beneficios en el funcionamiento diario.

Este proyecto, tiene la finalidad de ser una guía práctica para tomar en cuenta en el momento de poner en marcha un sistema de Power Line Communication. Dicho proyecto tiene un tiempo de duración estimado de 14 meses.

Los campos de análisis en el estudio de factibilidad del proyecto Power Line Communication para comunicar a las subestaciones de Quevedo y Portoviejo son debidamente tratados a continuación:

1. Planeación del proyecto.
2. Valoración de los costos y beneficios del proyecto.
3. Identificación de los Costos y Beneficios del proyecto.
4. Presupuesto para el proyecto.
5. Estudio para determinar la factibilidad económica del proyecto.

5.3.1. Planeación del Proyecto

La planeación del proyecto permite analizar la organización de las diferentes etapas que implica la puesta en marcha con respecto al tiempo que requiere cada una de ellas.

El plazo de tiempo destinado para el desarrollo del proyecto, se encuentra repartido de la siguiente manera:

Tiempo total para la ejecución del proyecto. Se refiere al tiempo de vida del proyecto, dentro del cual se pretende obtener beneficios, este tiempo total de proyecto está contemplado en 14 meses; el cual se divide en las siguientes etapas:

ETAPA 1.

La primera etapa del proyecto contempla un tiempo de 6 meses dividido en:

Implementación

La implementación del proyecto está constituida en la construcción e instalación de equipos iniciales.

Pruebas y Ajustes

Es el tiempo donde se verificará el correcto funcionamiento de los equipos instalados. Estas pruebas deben superar los índices de calidad del servicio.

ETAPA 2.

La segunda etapa del proyecto iniciará inmediatamente culminada la etapa uno y tendrá una duración de 2 meses aproximadamente que se encuentra dividida en:

Etapa de Capacitación

La etapa de capacitación estará determinada por la preparación de personal en gestión y mantenimiento del sistema Power Line Communication, determinando un correcto control, gestión y supervisión del sistema.

Etapa de Presentación del Servicio

Esta etapa contempla la presentación e indicaciones generales sobre el funcionamiento de la red PLC digital. Adicionalmente, se mostrarán los beneficios que trae la nueva tecnología de comunicaciones al funcionamiento diario de la empresa.

ETAPA 3

La tercera etapa del proyecto tiene su inicio al momento de terminar la segunda etapa y consiste en:

Ampliación del proyecto

Son periodos cortos de tiempo, en los cuales el sistema de la red implementada es tomado como referente y reproducido en comunicaciones de diferentes subestaciones a nivel nacional. El proceso de ampliación se ejecutará en base a necesidades y presupuestos de TRANSELECTRIC S.A.

En la figura 5.2., se representa la planificación del proyecto por etapas y subetapas:

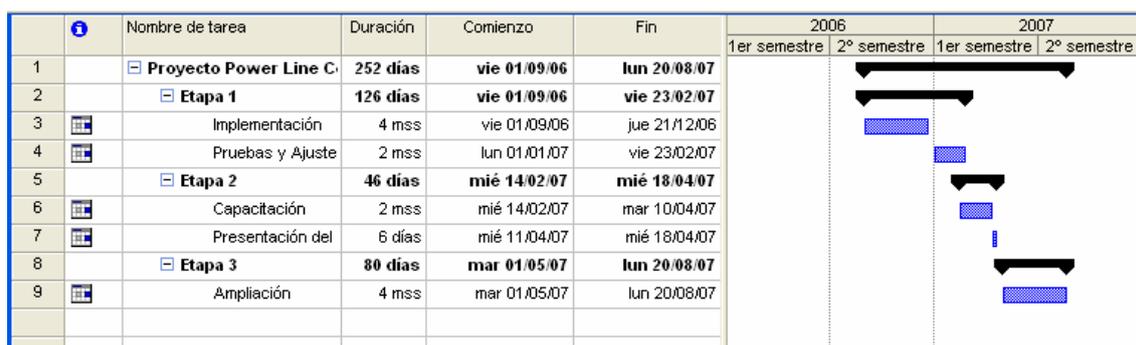


Figura 5.2. Diagrama de Gantt de la planificación del proyecto de etapas.

5.3.2. Valoración de Costos y Beneficios del Proyecto

El proceso de valoración se lo realizará de manera individual para cada subestación de TRANSELECTRIC S.A.

5.3.2.1. Valoración de Costos

Para la valoración de costos, hay que tener claramente identificados los tipos de costos o inversiones involucrados en el proyecto, los cuales se describen de manera general a continuación.

5.3.2.1.1. Costos Directos

Son los costos de mano de obra, materiales y similares, asociados con el proyecto que varían directamente con el tiempo requerido para terminar el trabajo.

5.3.2.1.2. Costos Indirectos

Son los costos de administración en que se incurren durante la realización del proyecto (mantenimiento, gastos generales, etc.).

5.3.2.2. Valoración de Beneficios

Los beneficios de un proyecto determina las ventajas que proporciona a TRANSELECTRIC S.A. la ejecución del mismo. Existen beneficios directos e indirectos en un proyecto.

5.3.2.2.1. Beneficios Directos

Los beneficios son evaluados en el tiempo, son aquellas prestaciones mejoradas del sistema Power Line Communication que se reflejan en las actividades de la empresa (transmisión de voz y datos).

5.3.2.2.2. Beneficios Indirectos

Los beneficios indirectos también están evaluados en el tiempo, son todas aquellas actividades beneficiadas indirectamente del servicio.

5.3.3. Identificación de Costos y Beneficios

A continuación se hace un análisis de los parámetros que se van a considerar como costos y beneficios.

COSTOS	BENEFICIOS
COSTOS DIRECTOS	BENEFICIOS DIRECTOS
Costos de inversión Equipos Power Line Communication Dispositivos de acoplamiento Trampa de onda Capacitor de acoplamiento Costos de operación y mantenimiento Mano de obra Ingeniería del proyecto Instalaciones adecuadas Documentación Mantenimiento del equipamiento	Mejor servicios en teleprotección Mayor cantidad de canales de voz y datos Se cuenta con canales digitales Comunicaciones seguras
COSTOS INDIRECTOS	BENEFICIOS INDIRECTOS
Compra de nuevos equipos para los servicios prestados. Ejemplo: teléfonos, ruteadores, etc.	Mejor control del servicios eléctrico

Tabla 5.1. Identificación de costos y beneficios

5.3.4. Presupuesto para el Proyecto

La lista de precios indicado a continuación contemplan los siguientes parámetros:

- Ingeniería
- Ensamblaje
- Programación
- Pruebas de fábrica
- Documentación

5.3.4.1. Subestación Quevedo

La subestación de Quevedo se encuentra en funcionamiento, por lo tanto, algunos dispositivos ya existen.

CANTIDAD	RUBROS	C. UNITARIO	C. TOTAL
1	Equipo Power Line Communication <i>Características:</i> Cuatro canales de transmisión Rango de frecuencia en RF 40 a 500kHz Capacidad de transmisión >64Kbps Impedancia nominal 75 ohmios Ancho de banda de RF 16kHz	7659,56	7659,56
TOTAL (\$)			7659,56

Tabla 5.2. Costos de equipos en la subestación Quevedo

5.3.4.2. Subestación Portoviejo

En la subestación de Portoviejo se debe tomar en cuenta elementos adicionales a la subestación de Quevedo ya que está en proceso de construcción.

CANTIDAD	RUBROS	C. UNITARIO	C. TOTAL
1	Equipo Power Line Communication Digital	7659,56	7659,56
2	Trampa de Onda 45-500 KHz	15658,41	31316,82
1	Dispositivo de Acople Bifásico	4193,82	4193,82
2	Capacitor de Acoplamiento de 245 Kv	7266,28	14532,56
TOTAL (\$)			57702,76

Tabla 5.3. Costos de instalación del sistema PLC en la subestación Portoviejo

5.3.4.3. Personal

El personal requerido para la instalación y puesta en marcha del proyecto se detalla a continuación.

TRABAJADORES	CARGO	TIEMPO DE TRABAJO	SALARIO
1	Superintendente de obra	126 días	12600,00
1	Supervisor de montaje	126 días	10920,00
1	Técnico de montaje	126 días	3780,00
2	Ayudante	126 días	3780,00
1	Chofer	126 días	2520,00
1	Supervisor de seguridad industrial	126 días	1600,00
TOTAL (\$)			35200,00

Tabla 5.4. Se detalla el tiempo, cantidad y salario a percibir por el personal participante en la puesta en servicio.

5.3.4.4. Capacitación

Los sistemas de telecomunicaciones requieren indispensable de una capacitación que permita a la empresa explotar al máximo sus servicios, por lo tanto:

CANTIDAD	RUBRO	C. UNITARIO	C. TOTAL
1	Capacitación	4250,00	4250,00
TOTAL (\$)			4250,00

Tabla 5.5. Costo de la capacitación está determinado por la empresa ABB

Adicionalmente, la importación de los equipos al país tiene su determinado costo:

CANTIDAD	RUBRO	C. UNITARIO	C. TOTAL
1	Empaque de Exportación	5717,87	5717,87
1	Costos de Importación	17153,81	17153,81
1	Imprevisto (10%)	8863,13	8863,13
TOTAL (\$)			31734,81

Tabla 5.6. Costos de importación de los equipos y imprevistos del proyecto

5.3.4.5. Presupuesto Total del Proyecto

El costo total de proyecto para comunicar las subestaciones Quevedo-Portoviejo con el sistema Power Line Communication es:

CANTIDAD	RUBRO	C. UNITARIO	C. TOTAL
1	Subestación Quevedo	7659,56	7659,56
1	Subestación Portoviejo	57702,79	57702,79
1	Personal	35200,00	35200,00
1	Capacitación	4250,00	4250,00
1	Costos de Importación	22871,68	22871,68
1	Imprevistos	8863,13	8863,13
TOTAL(\$)			136547,16

Tabla 5.7. Presupuesto total del proyecto de PLC entre las subestaciones de Quevedo-Portoviejo

5.3.4.6. Herramientas y Equipos

Se detalla a continuación las herramientas y equipos requeridos en caso que se desee montar nuevas torres de alta. Estos equipos en la actualidad ya posee TRANSELECTRIC S.A.

ITEM	NOMBRE EQUIPO
1	Camión Grúa
2	Vehículo 4 X 4
3	Cordina de Acero
4	Poleas para OPGW
5	Malacate
6	Freno
7	Equipo de Flechado
8	Equipo de Radio Comunicación
9	Equipo de Puesta a Tierra

Tabla 5.8. Herramientas y equipos para la puesta en servicio de torres de alta tensión

5.3.5. Factibilidad Económica del Proyecto

La proyección financiera es una visión de cómo será la situación futura en la economía del proyecto.

Este es uno de los aspectos más importantes del estudio de factibilidad, pues indicará si el proyecto será sostenible y de este análisis se desprende los beneficios esperados.

La renovación de las tecnologías aplicadas por TRANSELECTRIC S.A. es necesaria con el objetivo de mejorar el control del sistema eléctrico a nivel nacional. El nuevo sistema de comunicaciones Power Line Communication Digital permitirá establecer ventajas con respecto al sistema actual instalado:

- Es un sistema digital.
- Mayores tasas de transmisión de datos (mayores 64Kbps).
- Mayor cantidad de canales si fuese el caso.
- Mejor calidad en el servicio.
- Puede ser integrado a una red PDH o SDH.
- Puede pertenecer a una red WAN o LAN.
- Tiene canales compartidos, es decir, que un canal de 64Kbps puede ser dividido según la aplicación requerida.
- La transmisión de voz está en el orden de 2400 baudios con la recomendación G.723.
- Se asigna niveles de importancia en los canales transmitidos.
- Posee control remoto a través de un centro de gestión.
- Actúa con software amigable.

Por lo tanto, la integración de nuevas herramientas para el funcionamiento de una empresa de transmisión eléctrica hace necesario requerir de equipos con mayores capacidades, esto permitirá mantener un desarrollo sostenible en función de cumplir con las constates mejoras que exige un mundo globalizado y competitivo.

Una de las ventajas adicionales con las que cuenta el sistema Power Line Communication con respecto a otras tecnologías, es que no requiere obra civil; lo que determina que sus costos sean reducidos.

5.4. RELACIÓN DE COSTOS CON FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica alcanza elevadas velocidades y distancias sin pérdida de señal. Este medio de comunicación logra transportar 2.5 Gbps permitiendo prestar servicios de Portador de Telecomunicaciones.

Lastimosamente, en la instalación de fibra óptica se incurren en gastos costosos requiriendo ampliar considerablemente el presupuesto del proyecto. En la tabla 5.9. se indica sus costos:

CANTIDAD	RUBRO	C. UNITARIO	C. TOTAL
1	Suministro de cables de fibra óptica, materiales y accesorios	330000,00	330000,00
1	Montaje de cables de fibra óptica, materiales y accesorios	330000,00	330000,00
1	Cable de fibra óptica OPGW, accesorios de alta tensión	330000,00	330000,00
2	Equipos terminales con tecnología SDH y PDH (STM-16)	120000,00	240000,00
Sub-TOTAL			1'230.000
Imprevisto (10%)			123.000
TOTAL (\$)			1'350.000,00

Tabla 5.9. Presupuesto de fibra óptica para el tramo Santo Domingo-Guayaquil, según TRANSELECTRIC S.A.

Remitiéndonos al capítulo III, se puede observar los requerimientos de comunicaciones para las subestaciones de Quevedo-Portoviejo, en caso de ocupar el sistema de fibra óptica OPGW es sobredimensionar la cantidad de información a transmitir, por lo tanto, es recurrir en gasto innecesario.

El costo del proyecto en caso de utilizar fibra óptica asciende a 1'350.000 dólares, mientras que utilizando el sistema Power Line Communication asciende a 132.279,345 dólares. Para justificar el uso de la fibra óptica como medio de transmisión en el proyecto de TRANSELECTRIC S.A. en el tramo Quevedo-Portoviejo se deberá prestar servicios de portador de telecomunicaciones, ya que el sistema Power Line Communication digital únicamente satisface los requerimientos de servicios internos de la empresa.

CONCLUSIONES

- El sistema de comunicaciones Power Line Communication puede alcanzar una velocidad máxima de transmisión de 76,8 Kbps, característica presente en la totalidad de equipos P.L.C. promocionados por las distintas empresas como es el caso de SIEMENS, ABB, DIMAT y GENERAL ELECTRIC.
- El costo del sistema puede ir variando dependiendo de los equipos de campo que se requieran y los accesorios solicitados. El equipo de P.L.C. tiene un valor de \$15501,915 dólares, lo que implica gastos de ingeniería, ensamblaje, programación, pruebas de fábrica, documentación y empaque de exportación. Los equipos de patio para el sistema PLC como trampas de ondas, dispositivo de acople bifásico y capacitor de acoplamiento ascienden a \$98888,55 dólares.
- El Power Line Communication es un sistema de comunicación aplicable a las actividades internas de TRANSELECTRIC S.A., ya que se cuenta con toda la infraestructura de alta tensión puesta en servicio.
- Existen varias ventajas del sistema sobre los otros, con respecto a la fibra óptica puede tener menor capacidad de información a transmitir, pero en relación a costos, seguridad y funcionalidad que va a tener el equipo, sigue marcando diferencia el sistema Power Line Communication. Adicionalmente, el sistema PLC digital proporciona ventajas a su antecesor el PLC análogo, esta superioridad se manifiesta en mejor calidad del servicio, puede ser integrado a una red PDH o SDH, puede ser controlado remotamente, los canales de voz llegan a 2400 baudios, etc.
- La principal desventaja del sistema Power Line Communication se desprende del análisis de las líneas de alta tensión, donde dicha infraestructura no fue diseñada

para transmitir datos a alta velocidad, obteniendo alta niveles de ruido. Por ende, el medio de transmisión es el principal limitante para el desarrollo de los equipos PLC.

- La modulación en el sistema Power Line Communication es robusta logrando minimizar la intromisión del ruido en las señales transmitidas. Por citar un ejemplo la modulación utilizada por los equipos DIMAT es QAM utilizando combinado con Codificación Trellis, que proporciona una ganancia de codificación equivalente a un incremento de 4dB en la relación señal a ruido existente en la entrada del receptor.
- La factibilidad de la implementación del proyecto Power Line Communication Digital entre las subestaciones Quevedo-Portoviejo, está determinada por la necesidad de tener un sistema de comunicaciones seguras que puedan satisfacer los servicios de transmisión de datos y voz. Existen varios sistemas de comunicación que cubren satisfactoriamente los servicios requeridos por TRANSELECTRIC S.A., es donde cobra gran importancia el aspecto económico. El sistema PLC digital es menos costoso que otros, se requiere menor tiempo para la implementación y casi no necesita mantenimiento.

RECOMENDACIONES

- Las telecomunicaciones tienen entes reguladores a nivel mundial promulgando normativas y recomendaciones que permiten tener niveles óptimos de calidad en el servicio. Por lo tanto, se requiere tomarlas en cuenta en el proceso de ejecución del proyecto.
- El equipo PLC Digital requiere poco mantenimiento, pero es recomendable tener indicadores periódicos de las fuentes estabilizadas de DC, niveles de RF y AF seleccionados y niveles de operación de AGC.
- Se recomienda que el esquema de acoplamiento de señal permita tener altos niveles de seguridad para los operarios y equipos de comunicaciones. Las dimensiones del equipamiento tienen un papel importante para minimizar la dificultad al momento de ser instaladas en las subestaciones.
- Para la puesta en servicio del equipo de onda portadora o PLC se recomienda verificar las conexiones de puesta a tierra, que los terminales vayan hacia los lugares correctos, los cables se encuentren correctamente insertados y los cables tengan una correcta polaridad en la alimentación.
- Para seleccionar la frecuencia portadora del equipo PLC adecuadamente se debe tener en cuenta que no puede sobrepasar los 500kHz; caso contrario los niveles de ruido introducidos en la señal afectará a las comunicaciones entre las estaciones.
- El proyecto de Power Line Communication debería servir como una guía teórico-práctico para su implementación y adicionalmente para posibles ampliaciones de la red en el país.

- Los mantenimientos en las líneas de transmisión se debe realizar con todas las medidas de seguridad, contemplando el tipo de mantenimiento, personal, equipamiento, tiempo de ejecución y detalles del trabajo; esto garantizará que los procedimientos de mantenimiento no perjudiquen a los sistemas de comunicaciones.
- Se recomienda contar con un equipo de profesionales altamente capacitados que proporcionen a TRANSELECTRIC S.A. el soporte técnico del equipo de Power Line Communication.

REFERENCIAS

PARÉS, J., HERNÁNDEZ, E. Y MARTÍNEZ, J., “Estado de la Tecnología de las Redes PLC (Power Line Communication)”, 2001.

PROAKIS, J. G., MANOLAKIS, D. G., “Tratamiento Digital de Señales” Prentice Hall, 1999.

GENERAL ELECTRIC, “PLC Application Guide”, 1981.

CHOMYCZ, B., “Instalación de fibra óptica. Fundamentos, Técnicas y Aplicación” McGraw-Hill, 1998.

PIRELLI S.A., “Aplicaciones del Cableado O.P.G.W.”, 2004.

USBECK, C., “Tecnología de Transmisión por cable de Fibra Óptica” .

CHÁVEZ, R. Y SERRANO G. “Fibra Óptica” TRANSELECTRIC S.A., 2004.

INTERNATIONL TELECOMMUNICATION UNION, “Telecommunication Standardization Sector of ITU G.652”, 2003.

NARANJO, F., “Procedimientos de diseño, construcción, mantenimiento y ampliación de la red troncal de fibra óptica del Ecuador”, 2003.

TRANSELECTRIC S.A., “Estudio de Impacto Ambiental Definitivo de la Línea de Transmisión Quevedo-Portoviejo”, 2005

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR, “Atlas Universal y del Ecuador”, 2003

IEEE, “Guide for Power-Line Carrier Applications”, 2005.

ITU-T, “Recomendación G.821”

ITU-T, “Recomendación G.826”

CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization), “Norma EN-50065-1”.

DIMAT TELECOMUNICACIONES, “Sistema de Onda Portadora Digital Power-Line Carrier System” Barcelona-España, 2005.

SIEMENS, “PowerLink Tecnología avanzada de OP/AT en un concepto orientado a futuro” Alemania, 2004.

BERTERREIX, GERMÁN Y BONET, MAXIMILIANO, “Transmisión de Datos por la Red Eléctrica”, 2006.

BERNARD SKLAR, “Digital Communications Fundamentals and Applications”, segunda edición.,2001

GENERAL ELECTRIC, “Power Line Carrier Equipment – Instruction Manual”, Volumen 4, 1981.

LAPUERTA, N., “Mantenimiento de líneas de transmisión” INECEL, Unidad Operativa Norte, 1992.

ABB, Infocom Ltd., “Comunicaciones para sistemas de potencia”, 1998.

QUISNANCELA, L. Y ROA, D., “Análisis y diseño de dos tarjetas de interfaz de red de datos para comunicaciones Power Line – In Home”, 2005.

DOUILLET, A., “El análisis financiero en la practica” Ibérica Europea de Ediciones, Madrid-España 1995.

GOMEZ, M., “Gestión financiera” Ediciones Pirámides, Madrid-España, 1998.

PEARCE, D.W., “Análisis Coste-Beneficio” Colecciones MacMillan Vicens-Vives, Barcelona-España.

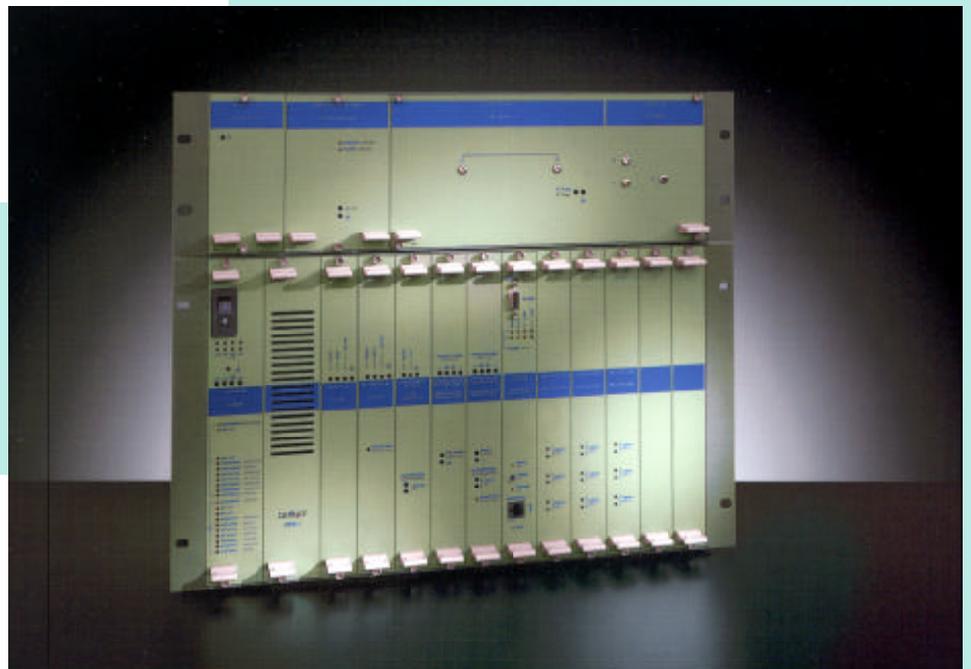
ANEXO I

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y MECÁNICAS DEL EQUIPO DE POWER LINE COMMUNICATION MARCA DIMAT

SISTEMA DE ONDA PORTADORA DIGITAL DIGITAL POWER-LINE CARRIER SYSTEM

OPD-1

DIMAT
TELECOMUNICACIÓN



- Multiplexación de canales de voz y datos, hasta un total de 79 kbit/s
- Implementación de un canal de 64 kbit/s, más 15 kbit/s para voz y datos
- Implementación de un canal de 72 kbit/s para redes de conmutación de paquetes, más 7 kbit/s para voz y datos

- Multiplexing of speech and data channels, up to a total of 79 kbit/s
- Implementation of a channel of 64 kbit/s, plus 15 kbit/s for speech and data
- Implementation of a channel of 72 kbit/s, for packet-switching networks, plus 7 kbit/s for speech and data

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS DE ALTA FRECUENCIA

Rango de frecuencia	De 40 kHz a 500 kHz
Bandas de emisión y recepción	Superpuestas o distanciadas
Ancho de banda	Bandas superpuestas: 16 kHz Bandas distanciadas: 16 kHz en cada sentido (con una separación mínima entre bandas de 16 kHz)
Conexión a línea	Seleccionable entre balanceada y no balanceada
Impedancia nominal	Seleccionable entre 50, 75, 125 y 140 Ω
Atenuación de reflexión	Mejor que 11 dB
Equilibrio respecto a tierra	Mejor que 40 dB a 50 Hz
Pérdidas por conexión en paralelo	Según CEI 495, fig. A.1, con n=4

Rigidez dieléctrica	2 kVef / 50 Hz / 1 min
Onda de choque	5 kV en modo común. 2,5 kV en modo diferencial
Disturbios de alta frecuencia	1 kV en modo diferencial
Test de impulsos	2 kV, según CEI 801-4 nivel III

Emisor

Potencia nominal (PEP) sobre carga resistiva	40 W
Potencia media transmitida	+37 dBm
Frecuencia central del filtro de línea de emisión	Programable a saltos de 2 kHz

Receptor

Frecuencia central del filtro de línea de recepción	Programable a saltos de 2 kHz
Sensibilidad	-10 dBm (potencia de la señal QAM recibida)
Selectividad	Según CEI 495 cls. 5.3.1.5
Rango del Control Automático de Ganancia (CAG)	50 dB
Mínima relación S/R, con ruido gaussiano blanco (AWGN), a la entrada del receptor y para una probabilidad de error mejor que 10 ⁻⁸	25 dB a 81 kbit/s, 18 dB a 40,5 kbit/s, 14 dB a 27 kbit/s

TECHNICAL CHARACTERISTICS

HIGH-FREQUENCY CHARACTERISTICS

Frequency range	40 kHz to 500 kHz
Transmission and reception bands	Superimposed or non-adjacent
Bandwidth	Superimposed bands: 16 kHz Non-adjacent bands: 16 kHz in each direction (with a minimum band-spacing of 16 kHz)
Line connection	Selectable between balanced and non-balanced
Nominal impedance	Selectable between 50, 75, 125 and 140 Ω
Return loss	Better than 11 dB
Balance to ground	Better than 40 dB at power frequency
Tapping loss	In accordance with IEC 495, fig. A.1, with n=4
Dielectric strength	2 kVrms / 50 Hz / 1 min
Impulse-voltage withstanding	5 kV for common mode. 2.5 kV for differential mode
High-frequency disturbance	1 kV for differential mode
Fast Transient	2 kV, in accordance with IEC 801-4 level III

Transmitter

Peak envelope power over resistive load	40 W
Transmitted mean power	+37 dBm
Central frequency of the transmit line filter	Programmable in 2 kHz steps

Receiver

Central frequency of the receive line filter	Programmable in 2 kHz steps
Sensitivity	-10 dBm (received power of QAM signal)
Selectivity	In accordance with IEC 495 cls. 5.3.1.5

Automatic Gain Control (AGC) range	50 dB
Minimum S/N ratio, with white gaussian noise (AWGN) at receiver input and for an error probability better than 10 ⁻⁸	25 dB at 81 kbit/s, 18 dB at 40.5 kbit/s, 14 dB at 27 kbit/s

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MÓDEM

Velocidad total en línea	81 kbit/s, 40,5 kbit/s ó 27 kbit/s
Modulación	128 QAM con Codificación Trellis, 16 QAM con Codificación Trellis ó 4 QAM para las velocidades de 81 kbit/s, 40,5 kbit/s y 27 kbit/s, respectivamente
Capacidad útil del sistema	79 kbit/s, 39,5 kbit/s ó 26,3 kbit/s

CONVERTIDOR DE FRECUENCIA

Frecuencia de trabajo	Programable a saltos de 1 Hz
-----------------------	------------------------------

INTERFAZ DE USUARIO

Equipo básico	Un puerto de datos síncronos a elegir por programación entre: - Interfaz según Recomendación V.35 de la UIT-T de 1200, 2400, 3600, 4800, 6400, 7200, 8000, 9600, 14400, 16000, 19200, 28800, 32000, 38400, 64000 y 72000 bit/s. - Interfaz G.703, co-diræcional o contradiræccional, de la UIT-T de 64 kbit/s. Un puerto de datos asíncronos de 50, 100, 200, 600, 1200, 2400, 3600, 4800, 7200, 9600 y 14400 bit/s con interfaz según Recomendación V.24/V.28 de la UIT-T (EIA RS-232C)
Multiplexor incorporado (opcional)	Hasta 9 puertos adicionales, de voz o datos, distribuidos en tres módulos (hasta tres puertos por módulo)
Puertos de voz	16 kbit/s (ADPCM). 4800, 6400 u 8000 bit/s; señales de fax del Grupo 3 hasta 7200 bit/s según las Recomendaciones V.21, V.27ter y V.29 de la UIT-T; señales de módem a 2400 y 1200 bit/s según la Recomendación V.22bis y a 75/1200 bit/s según la Rec. V.23 de la UIT-T (MP-MLQ)
Conexión	A 2 hilos y a 4 hilos con señalización E/M ó DTMF
Puertos de datos	Síncronos, de 600, 1200, 2400, 3600, 4800, 6400, 7200, 8000, 9600, 14400, 16000, 19200, 28800, 32000 y 38400 bit/s. (Hasta 19200 bit/s para la capacidad máxima de 27 kbit/s). Asíncronos, de 50, 100, 200, 600, 1200, 2400, 3600, 4800, 6400, 7200, 9600, 14400, 19200 y 28800 bit/s. (Hasta 19200 bit/s para la capacidad máxima de 27 kbit/s). Anisócronos, de 60, 120, 240, 360, 480, 640, 720, 800, 960 y 1440 bit/s
Interfaz	V.24/V.28 de la UIT-T (EIA RS-232C)
Formato de los datos asíncronos	1 bit de Start De 6 a 9 bits de datos 1 ó 2 bits de Stop

GENERAL CHARACTERISTICS OF THE MODEM

Gross bit rate	81 kbit/s, 40.5 kbit/s or 27 kbit/s
Modulation	128 QAM with Trellis coding, 16 QAM with Trellis coding or 4 QAM for the rates of 81 kbit/s, 40.5 kbit/s and 27 kbit/s, respectively
Net bit rate	79 kbit/s, 39.5 kbit/s or 26.3 kbit/s

FREQUENCY CONVERTER

Operating frequency	Programmable in 1 Hz steps
---------------------	----------------------------

USER INTERFACE

Basic equipment	One synchronous data port to be chosen by programming between: - Interface in accordance with Rec. V.35 of the ITU-T of 1200, 2400, 3600, 4800, 6400, 7200, 8000, 9600, 14400, 16000, 19200, 28800, 32000, 38400, 64000 and 72000 bit/s. - Interface G.703, codirectional or contra-directional, of the ITU-T of 64 kbit/s. One asynchronous data port of 50, 100, 200, 600, 1200, 2400, 3600, 4800, 7200, 9600 and 14400 bit/s with interface in accordance with Rec. V.24/V.28 of the ITU-T (EIA RS-232C)
Built-in multiplexer (optional)	Up to nine additional ports, either speech or data, distributed in three modules (up to three ports per module)
Speech ports	16 kbit/s (ADPCM). 4800, 6400 or 8000 bit/s; Group 3 fax signals up to 7200 bit/s in accordance with Recommendations V.21, V.27ter and V.29 of the ITU-T; modem signals at 2400 and 1200 bit/s in accordance with Recommendation V.22bis and at 75/1200 bit/s in accordance with V.23 of the ITU-T (MP-MLQ)
Connection	2-wire and 4-wire with E and M signalling or DTMF
Data ports	Synchronous, of 600, 1200, 2400, 3600, 4800, 6400, 7200, 8000, 9600, 14400, 16000, 19200, 28800, 32000 and 38400 bit/s. (Up to 19200 bit/s at the 27 kbit/s gross bit rate). Asynchronous, of 50, 100, 200, 600, 1200, 2400, 3600, 4800, 6400, 7200, 9600, 14400, 19200 and 28800 bit/s. (Up to 19200 bit/s at the 27 kbit/s gross bit rate). Anisochronous, of 60, 120, 240, 360, 480, 640, 720, 800, 960 and 1440 bit/s
Interface	V.24/V.28 of the ITU-T (EIA RS-232C)
Asynchronous data format	1 Start bit 6 to 9 data bits 1 or 2 Stop bits

OTRAS CARACTERÍSTICAS

Retardo de transmisión de los datos	15 ms a 81 kbit/s 20 ms a 40,5 kbit/s 25 ms a 27 kbit/s
Telefonía de servicio	Con codificación ADPCM a 16 kbit/s
Alarmas y señalizaciones	
Alarmas	<ul style="list-style-type: none">- Fallo de alimentación- Fallo del amplificador de potencia- Excesivo nivel en recepción- Insuficiente nivel en recepción- Fallo del sintetizador de frecuencias- Pérdida de sincronismo- Módulo desconectado- BER > 10⁻³
Señalizaciones	<ul style="list-style-type: none">- BER > 10⁻⁶- Mantenimiento (Pruebas, bucles o desactivación de un puerto) En cada terminal se visualizan tanto las alarmas y señalizaciones locales como las remotas
Indicación de alarmas y señalizaciones	Mediante LEDs
Señalización externa de las alarmas	Mediante cuatro relés, uno de doble contacto conmutado y tres de simple contacto conmutado, a los cuales se pueden asignar, desde un ordenador tipo PC, las distintas alarmas en la combinación deseada por el usuario
Contactos	1 A / 250 V _{CA} / 150 V _{CC}
Elementos de prueba	<ul style="list-style-type: none">- Bucle de datos en equipo local y en equipo remoto.- Bucle de alta frecuencia (terminal aislado).- Visualización mediante un osciloscopio de la constelación del espacio de la señal en emisión y recepción
Interfaz para el sistema de programación y supervisión	EIA RS-232C. Velocidad de comunicación: 600, 1200, 2400, 4800 ó 9600 bit/s, seleccionable por el usuario

CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Temperatura y humedad	De -5° C a +45° C y humedad relativa no superior al 95%, según CEI 721-3-3 clase 3K5 (climatograma 3K5)
Temperatura máxima	+55° C durante un periodo no superior a 24 horas (CEI 495 cls. 3.1)
Tensión de alimentación	48 V _{CC} ± 20%. Otras tensiones bajo demanda
Consumo máximo	Equipo base: 160 W Multiplexor interno opcional: 20 W Sistema de teleprotección: 15 W
Aislamiento de la alimentación	Según CEI 495
EMI y EMC	Según CEI 495
Condiciones de almacenamiento	Según CEI 721-3-1, clase 1K5

OTHER CHARACTERISTICS

Data transmission delay	15 ms at 81 kbit/s 20 ms at 40.5 kbit/s 25 ms at 27 kbit/s
Service telephony	With ADPCM coding at 16 kbit/s
Alarms and signalling	
Alarms	<ul style="list-style-type: none">- Power-supply failure- Power amplifier failure- Excessive RCV level- Low RCV level- Frequency synthesizer failure- Loss of synchronism- Card out- BER > 10⁻³
Signalling	<ul style="list-style-type: none">- BER > 10⁻⁶- Maintenance (Tests, loops or de-activation of one port) Both local and remote alarms and signalling are displayed on each terminal
Alarm and signalling indication	By means of LEDs
External signalling of the alarms	By means of four relays, one of double changeover contact and three of single changeover contact, to which the different alarms, in the combination required by the user, can be assigned from a computer type PC
Contact rating	1 A / 250 V _{AC} / 150 V _{DC}
Test elements	<ul style="list-style-type: none">- Data loop in local and remote terminals- High-frequency loop (isolated terminal)- Displaying of the XMT and RCV signal space constellation by means of oscilloscope
Interface for the programming and supervision system	EIA RS-232C. Transmission rate: 600, 1200, 2400, 4800 or 9600 bit/s, selectable by the user

OPERATING CONDITIONS

Temperature and humidity	From -5° C to +45° C and relative humidity not greater than 95%, in accordance with IEC 721-3-3 class 3K5 (3K5 climatogram)
Maximum temperature	+55° C for a period not greater than 24 hours (IEC 495 cls. 3.1)
Power-supply voltage	48 V _{DC} ± 20%. Other voltages on request
Maximum consumption	Base equipment: 160 W Optional internal multiplexer: 20 W Teleprotection system: 15 W
Power-supply insulation	In accordance with IEC 495
EMI and EMC	In accordance with IEC 495
Storage conditions	In accordance with IEC 721-3-1, class 1K5

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TELEPROTECCIÓN INCORPORADO

Aplicación	Teledisparo directo y teledisparo permisivo
Principio de funcionamiento	Emisión de un tono de guarda en reposo, conjuntamente con la señal QAM, que se sustituye por un tono de disparo cuando se desea enviar la orden. La señal QAM se elimina solamente durante la transmisión del tono de disparo (máximo 500 ms)
Capacidad	Hasta tres
Tiempo total de transmisión	Disparo permisivo: 18 ms Disparo directo: 28 ms
Entradas de orden	
Número de entradas	2 circuitos para cada orden
Tensión nominal de activación	Seleccionable entre 24, 48, 110 y 220 Vcc
Tensión mínima de activación	En función de la tensión nominal seleccionada: 15, 30, 85 y 165 Vcc
Tensión máxima de trabajo	260 Vcc
Polaridad	Indistinta
Consumo	20 mA constante en todo el rango de tensiones
Aislamiento	Según CEI 834-1
Salidas de orden	
Tipo	Por relé de estado sólido
Corriente máxima	2 A en permanencia. 3 A durante un máx. de 20 s
Tensión máxima	300 Vcc
Aislamiento	Según CEI 834-1
Señalización envío de orden	Por relé. Contacto conmutado. Capacidad máxima del contacto 1A / 250 Vca / 150 Vcc
Señalización de recepción de orden	Por relé. Contacto conmutado. Capacidad máxima del contacto 1A / 250 Vca / 150 Vcc
Alarma general	Por relé. Contacto conmutado. Capacidad máxima del contacto 1A / 250 Vca / 150 Vcc
Bloqueo receptor	Por relé. Contacto conmutado. Capacidad máxima del contacto 1A / 250 Vca / 150 Vcc
Indicaciones visuales	
Señalizaciones	Recepción de guarda, Emisión de órdenes, Recepción de órdenes, Prueba manual/automática en curso, Prueba manual/automática correcta, Prueba manual/automática incorrecta
Alarmas	Falta de vía, Baja relación Señal/Ruido, Alarma general
Dispositivos de prueba	Prueba manual en bucle local Prueba automática en bucle local

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Dimensiones	482 x 400 x 324 mm (un panel de 6U de altura y otro de 3U para montaje en rack de 19")
Peso máximo	21 kg

CARACTERÍSTICAS DEL TERMINAL DE PROGRAMACIÓN

Tipo	Ordenador personal compatible (PC)
Modelo	AT o superior
Sistema operativo	MS-DOS 3.0 o superior
Memoria RAM disponible	640 kbyte
Tipo de monitor	VGA monocromo o color

CHARACTERISTICS OF THE BUILT-IN TELEPROTECTION SYSTEM

Application	Direct and permissive tripping
Principle of operation	Transmission of a guard tone in quiescent conditions, together with the QAM signal, that is substituted by a command tone when a command needs to be transmitted. The QAM signal is only eliminated when a command tone is transmitted (500 ms max.)
Capacity	Up to three
Total transmission time	Permissive tripping: 18 ms Direct tripping: 28 ms
Command inputs	
Number of inputs	2 circuits for each command
Nominal activation voltage	Selectable between 24, 48, 110 and 220 Vdc
Minimum activation voltage	Depending on the selected nominal voltage: 15, 30, 85 and 165 Vdc
Maximum operating voltage	260 Vdc
Polarity	Indistinct
Consumption	Constant 20 mA across the whole range of voltages
Insulation	In accordance with IEC 834-1
Command outputs	
Type	By solid-state relay
Maximum current	Permanent: 2 A 3 A for a max. of 20 s
Maximum voltage	300 Vdc
Insulation	In accordance with IEC 834-1
Command XMT signalling	By relay. Changeover contact. Contact rating 1A / 250 VAc / 150 Vdc
Command RCV signalling	By relay. Changeover contact. Contact rating 1A / 250 VAc / 150 Vdc
General alarm	By relay. Changeover contact. Contact rating 1A / 250 VAc / 150 Vdc
Receiver blocking	By relay. Changeover contact. Contact rating 1A / 250 VAc / 150 Vdc
Visual indications	
Signalling	Guard reception, Command transmission, Command reception, Manual/automatic test in course, Manual/automatic test correct, Manual/automatic test incorrect
Alarms	Signal loss, Low signal-to-noise ratio, General alarm
Test devices	Manual test in local loop Automatic test in local loop

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Dimensions	482 x 400 x 324 mm (one 6 s.u. shelf and another of 3 s.u. for 19" rack mounting)
Maximum weight	21 kg

CHARACTERISTICS OF THE PROGRAMMING TERMINAL

Type	Compatible personal computer (PC)
Model	AT or higher
Operating system	MS-DOS 3.0 or higher
RAM memory available	640 kbyte
Monitor	VGA monochrome or colour

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1.	Equipo de Power Line Communication marca ABB.....	2
Figura 1.2.	Área de cobertura de un sistema P.L.C. desde la generación hasta los domicilios.....	3
Figura 1.3.	Centro de gestión.....	6
Figura 1.4.	Equipo de Power Line Communication analógico marca General Electric.....	6
Figura 1.5.	Patio de equipos de la Subestación Daule-Peripa.....	8
Figura 1.6.	Canalización de datos en sistema de tiempo real SPIDDER-ABB en 1994.....	9
Figura 1.7.	Espectro de un sistema Power Line Communication en banda base.	10
Figura 1.8.	Espectro de frecuencia del Power Line Communication en radiofrecuencia.....	11
Figura 1.9.	Modulación de amplitud AM.....	11
Figura 1.10.	Modulación SSB Single Side Band.....	12
Figura 1.11.	Señal modulada con FSK (Frequency Shift Keying).....	12
Figura 1.12.	Equipo de patio del sistema Power Line Communication en la subestación de Quevedo.....	13
Figura 1.13.	Equipo de capacitares de acoplamiento en la subestación de Quevedo.....	14
Figura 1.14.	Equipo de trampa de onda en la subestación de Quevedo.....	15
Figura 1.15.	Estructura de un sintonizador de línea o unidad de sintonía.....	16
Figura 1.16.	Unidad de sintonía ubicada en la Subestación de Quevedo.....	16
Figura 1.17.	Sintonizador que utiliza dos frecuencias.....	17
Figura 1.18.	Gabinete de Power Line Communication marca General Electric....	18
Figura 1.19.	Sistema Power Line Communication.....	19

Figura 1.20.	Equipo de teleprotección en la subestación de Quevedo marca General Electric.....	20
Figura 1.21.	Equipo de teleprotección marca General Electric.....	21
Figura 1.22.	Transmisión básica en fibra óptica con modulación digital, analógica y digital con conversor A-D.....	23
Figura 1.23.	Espectro Electromagnético.....	24
Figura 1.24.	Estructura de la fibra óptica.....	25
Figura 1.25.	Tipos de fibras multimodo.....	26
Figura 1.26.	Fibra multimodo de índice escalonado.....	26
Figura 1.27.	Fibra multimodo de índice gradiente gradual.....	27
Figura 1.28.	Transmisión a través de fibra monomodo.....	27
Figura 1.29.	Tipos de fibra monomodo.....	28
Figura 1.30.	Torre de alta tensión.....	30
Figura 1.31.	Estructura del sistema de Fibra Óptica propiedad de Translectric S.A.....	30
Figura 1.32.	Equipo de fibra óptica SMA-16 en la subestación de Quevedo marca SIEMENS.....	31
Figura 1.33.	Equipo de fibra óptica (FMX) de uso interno con capacidad de 64Kbps en la subestación de Quevedo de marca SIEMENS.....	33
Figura 1.34.	Ubicación de la subestaciones de TRANSELECTRIC S.A. que poseen fibra óptica.....	34
Figura 1.35.	Multiplexores Siemens TransXpress SMA-16.....	36
Figura 1.36.	Fotografías de la subestación Quevedo.....	37
Figura 1.37.	Convertidor óptico-eléctrico marca RAD serie FOM-40.....	37
Figura 1.38.	Equipo de teleprotección Siemens SWT 3000.....	38
Figura 1.39.	Distribuidor de fibra óptica ODF.....	38

CAPÍTULO II

Figura 2.1.	Torres de alta tensión ruta Santo Domingo-Quevedo.....	39
Figura 2.2	Esquema del enlace en torres de alta tensión con el sistema PLC.....	40
Figura 2.3.	Mapa físico del enlace entre las subestaciones de Quevedo y Portoviejo.....	41

Figura 2.4.	Proceso en que levanta una torre de alta tensión.....	42
Figura 2.5.	Servidumbre de una torre de alta tensión en la ruta Santo Domingo –Quevedo.....	42
Figura 2.6.	Torre de alta tensión de 230KV con sus respectivas medidas.....	44
Figura 2.7.	Líneas de menor tensión en la ciudad de Guayaquil.....	45
Figura 2.8.	Torres de alta tensión.....	46
Figura 2.9.	Cable de alta tensión.....	47
Figura 2.10.	Ruta de la línea de transmisión de 230KV entre Quevedo- Portoviejo.....	48
Figura 2.11.	Transporte de cable de guarda previa a su instalación.....	51
Figura 2.12.	Preparación del suelo para la instalación de una torre de alta tensión.....	52
Figura 2.13.	Puesta de pilones en la línea de alta tensión.....	53
Figura 2.14.	Fundición de una torre en la línea Quevedo-Policentro.....	54
Figura 2.15.	Levantamiento de una torre de 230 KV.....	54
Figura 2.16.	a) Transportando un aisladores. b) Aislador colocados en torres de alta tensión.....	55
Figura 2.17.	Puesta a tierra del cable de guarda en la torre de alta tensión.....	56
Figura 2.18.	Proceso de colocación de contrapesos en los cables de guardia.....	57
Figura 2.19.	Tendido del cable de guardia en la línea Santo Domingo-Quevedo con malacate.....	58
Figura 2.20.	Equipo de frenado donde se para la instalación del cable.....	58
Figura 2.21.	Amortiguadores de alta tensión en la línea de Santo Domingo a Quevedo tomada desde la torre.....	59
Figura 2.22.	Colocación de balizas en la línea de alta tensión en el tramo Santo Domingo-Quevedo.....	60
Figura 2.23.	Situación climatológica en los alrededores de la ciudad de Quevedo.....	60
Figura 2.24.	Fotografía de un bosque deciduos de tierra baja.....	61
Figura 2.25.	Fotografía de un bosque semideciduo.....	62
Figura 2.26.	Fotografía del bosque sabanas.....	62
Figura 2.27.	Plano de sala y patio de equipos en la Subestación Quevedo.....	65
Figura 2.28.	Plano de sala y patio de quipos en la Subestación Portoviejo.....	66

Figura 2.29.	Interfaces y servicios del enlace de P.L.C. digital.....	67
--------------	--	----

CAPÍTULO III

Figura 3.1.	Modos básicos	69
Figura 3.2.	Contenido modal demostrando la propagación de la corriente sobre líneas de alta tensión.....	70
Figura 3.3.	Ejemplos de propagaciones de corrientes sobre líneas de alta tensión.....	72
Figura 3.4.	Energía en modos de propagación	73
Figura 3.5.	Atenuación modal para los modos 1, 2 y 3 en función de la frecuencia.....	75
Figura 3.6.	Impedancia característica de la línea de alta tensión.....	76
Figura 3.7.	Torres de alta tensión con hilo de guarda.....	78
Figura 3.8.	Conductores de línea trifásica cuando no forman triángulo equilátero.....	79
Figura 3.9.	Diseño de la transposición en una línea de alta tensión.....	79
Figura 3.10.	Pérdidas de transposición y propagación de la corriente en la línea..	80
Figura 3.11.	Pérdidas típicas por cable en líneas de 230kV.....	81
Figura 3.12.	Acoplamiento fase a tierra.....	84
Figura 3.13.	Acoplamiento entre fases.....	85
Figura 3.14.	Acoplamiento en dos circuitos eléctricos ocupando sus fases centrales en cada uno de ellos.....	86
Figura 3.15.	Pérdidas por conversión en modo 3.....	87
Figura 3.16.	Ruido impulsivo producido randómicamente en la línea de alta tensión.....	88
Figura 3.17.	Campo de influencia del efecto corona en una línea de alta tensión con respecto a la frecuencia.....	90
Figura 3.18.	Rangos de frecuencia para bandas de transmisión, según la norma EN 50065-1.....	90
Figura 3.19.	Relación de S/N con respecto a la probabilidad de error con modulación QAM.....	99
Figura 3.20.	Relación de S/N con respecto a la probabilidad de error.....	100

Figura 3.21.	Red telefónica sobre un sistema de Power Line Communication.....	103
Figura 3.22.	Red telefónica con Frame Relay sobre Power Line Communication	104
Figura 3.23.	Telecontrol a través de un canal FSK (Frequency Shift Keying).....	105
Figura 3.24.	Telecontrol por medio de un multiplexor y bomba de datos (Datapump).....	105
Figura 3.25.	Control de la unidad Terminal Remota a través de un centro de gestión.....	105
Figura 3.26.	Transmisión de datos a través del sistema Power Line Communication.....	106
Figura 3.27.	Transmisión de datos sobre redes SDH y PDH.....	107
Figura 3.28.	Sistema de teleprotección.....	107
Figura 3.29.	Servicio único de teleprotección.....	107
Figura 3.30.	Servicio múltiple simultáneo con canal de voz.....	108
Figura 3.31.	Servicio múltiple simultáneo con canal de datos.....	108
Figura 3.32.	Servicio múltiple alternado con canal de voz.....	108
Figura 3.33.	Servicio múltiple alternado con canal de datos.....	108

CAPÍTULO IV

Figura 4.1.	Sistema PLC utilizando un canal de datos para transmitir información de la Unidad Terminal Remota (UTR).....	109
Figura 4.2.	Sistema de gestión para equipos Power Line Communication.....	110
Figura 4.3.	Sala de equipos en la subestación de Quevedo.....	112
Figura 4.4.	Equipo de Power Line Communication Digital marca SIEMENS...	118
Figura 4.5.	Subestación de Quevedo.....	119
Figura 4.6.	Programación del mantenimiento en la línea de 230KV.....	120
Figura 4.7.	Inspección visual de la línea de alta tensión.....	121
Figura 4.8.	Torre de alta tensión vista de la parte superior hacia su base.....	121
Figura 4.9.	Acceso a una torre de alta tensión.....	122
Figura 4.10.	Mantenimiento de líneas de alta tensión.....	123
Figura 4.11.	Mantenimiento correctivo en la línea de alta tensión.....	124

CAPÍTULO V

Figura 5.1.	Patio de 230KV ubicado en la Subestación de Quevedo.....	126
Figura 5.2.	Diagrama de Gantt de la planificación del proyecto de etapas.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1.	Subestaciones a cargo de Transelectric S.A con sistema Power Line Communication.....	7
Tabla 1.2.	Características del sistema Power Line Communication.....	10
Tabla 1.3.	Datos técnicos del divisor capacitivo potencial instalado en la Subestación Quevedo.....	14
Tabla 1.4.	Características de la unidad de sintonía marca General Electric...	17
Tabla 1.5.	Características del sistema Power Line Communication.....	33
Tabla 1.6.	Características de la fibra óptica instalada.....	36

CAPÍTULO II

Tabla 2.1.	Datos de la línea de alta tensión de 230KV.....	43
Tabla 2.2.	Distancia mínima de los conectores energizados a los sitios de vivienda.....	44
Tabla 2.3.	Distancia mínima de las torres al momento de ser instaladas.....	45
Tabla 2.4.	Detalles técnicos de las torres a instalarse.....	46
Tabla 2.5.	Características del conductor proporcionado por Cables Eléctricos Ecuatorianos S.A.....	47
Tabla 2.6.	Características del cable de guarda proporcionado por Cables Eléctricos Ecuatorianos S.A.....	47
Tabla 2.7.	Ubicación geográfica de los vértices (desvíos) en la ruta Quevedo-Portoviejo.....	50
Tabla 2.8	Condiciones Geográficas del sector estudiado.....	62
Tabla 2.9.	Población de las provincias por donde pasa la nueva línea de	

230kV.....	63
------------	----

CAPÍTULO III

Tabla 3.1.	Factores de conversión de voltaje lineal para la atenuación modal..	74
Tabla 3.2.	Atenuación modal para los modos 1, 2 y 3 en función de la frecuencia.....	75
Tabla 3.3	Pérdidas en dB según el número transposiciones en una línea de alta tensión.....	80
Tabla 3.4.	Atenuación típica en un cable coaxial RG-8/U.....	82
Tabla 3.5.	Resultado de diseño del sistema Power Line Communication.....	102

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1.	Requerimiento de hardware en los servidores del sistema Power Line Communication.....	113
Tabla 4.2.	Requerimiento de hardware en los clientes del sistema Power Line Communication.....	114
Tabla 4.3.	Requerimiento de hardware en los computadores para revisar los terminales locales del sistema Power Line Communication.....	114
Tabla 4.4.	Requerimiento de software en el sistema Power Line Communication.....	114

CAPÍTULO V

Tabla 5.1.	Identificación de costos y beneficios.....	132
Tabla 5.2.	Costos de equipos en la subestación Quevedo.....	133
Tabla 5.3.	Costos de instalación del sistema PLC en la subestación Portoviejo.....	133
Tabla 5.4.	Se detalla el tiempo, cantidad y salario a percibir por el personal participante en la puesta en servicio.....	134
Tabla 5.5.	Costo de la capacitación está determinado por la empresa ABB....	134
Tabla 5.6.	Costos de importación de los equipos y imprevistos del proyecto...	134

Tabla 5.7.	Presupuesto total del proyecto de PLC entre las subestaciones de Quevedo-Portoviejo.....	135
Tabla 5.8.	Herramientas y equipos para la puesta en servicio de torres de alta tensión.....	135
Tabla 5.9.	Presupuesto de fibra óptica para el tramo Quevedo-Portoviejo, según TRANSELECTRIC S.A.....	137

GLOSARIO

AMD	Multiplicador de aumentos y caídas
Análogo	Un formato de forma de onda continuo y uniforme, utilizando para representar infinitos niveles de la amplitud de una señal.
Ancho de banda	Rango de frecuencia que un medio de comunicaciones puede transportar con distorsión mínima.
Atenuación	Disminución de la señal en un medio de comunicación. Se expresa generalmente sin su signo negativo en dB o dB/km.
Banda Ancha	Régimen de datos igual o superior a 45 Mbps o DS3
Baudios	Número de transiciones eléctricas por segundo de las señales digitales transmitidas. No es lo mismo que régimen de datos. Un módem puede tener un régimen de transmisión de datos más elevado que su régimen de baudios.
BER	(Tasa de Error de Bit) Relación de bits recibidos con error respecto a los bits enviados.
Bit	Un dígito binario
bps	Bits por segundo
Codec	Dispositivo que convierte las señales analógicas en digitales y viceversa.
Conductor	Material que permite el paso de la corriente eléctrica
dB	Decibelio. Medida logarítmica de la potencia óptica
dBm	Decibelio referido a un miliwatio; $dBm=10\log(\text{salida potencia miliwatios}/1\text{miliwatio})$
Dieléctrico	Material que no conduce la electricidad (aislador).
Empalmes	Unión permanente entre dos cables originada por la fusión de sus extremos o por método de unión mecánica.
Fibras Ópticas	Transmisión de la luz a través de la fibra óptica para comunicaciones y señalización.

Frecuencia	Número de repeticiones de un evento periódico por unidad de tiempo. Las unidades utilizadas son los hercios (Hz).
Full Duplex	Posibilidad de transmitir y recibir las señales al mismo tiempo.
Hercio (Hz)	Un ciclo por segundo
IEEE	(Institute of Electrical and Electronic Engineers) Instituto de Ingenieros Eléctrico y Electrónicos.
Impedancia	Oposición total que ofrece un circuito eléctrico a la circulación de corriente alterna y que incluye tanto resistencia como reactancia.
Inserción (Pérdidas)	Pérdida de potencia óptica debida a la inserción de componentes como conectores, empalmes o atenuadores.
Kilo	Prefijo que significa mil (10^{-3}).
Módem	Aparato electrónico que convierte una forma de señal a otra diferente utilizando una técnica de modulación.
Modulación	Alteración de la onda portadora de forma que pueda transportar otra señal de información.
Ohmios	Unidad de resistencia eléctrica.
PBX	(Private Branco Exchange) Central telefónica privada.
PLC	(Power Line Communication) Comunicación en línea de energía.
Sensibilidad	Mínima cantidad de potencia óptica que un equipo necesita recibir para poder mejorar señales de transmisión de acuerdo a las especificaciones del equipos
Tierra o Masa	(Ground) Punto común de retorno a tierra de la corriente eléctrica, usualmente mediante un conductor metálico.
Velocidad de la luz	2.999×10^8 metros pos segundo en el absoluto vacío, pero menos en cualquier otro materia.

