

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UNA RED PLC (POWER LINE COMMUNICATION) PARA DAR UN SERVICIO DE TRANSPORTE DE VOZ, DATOS Y VIDEO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**GISELLA BEATRIZ MANTILLA MORALES
(gisella_mantilla@hotmail.com)
ANGÉLICA MARÍA OÑA MORALES
(angymom@hotmail.com)**

**DIRECTOR: DR. LUÍS CORRALES PhD.
(luiscorne5049@yahoo.com)**

Quito, julio 2009

DECLARACIÓN

Nosotros, Gisella Beatriz Mantilla Morales y Angélica María Oña Morales, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Gisella Beatriz Mantilla Morales

Angélica María Oña Morales

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gisella Beatriz Mantilla Morales y Angélica María Oña Morales, bajo mi supervisión.

Dr. Luís Corrales PhD.
DIRECTOR DE PROYECTO



AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS por darme la voluntad de no decaer en los momentos difíciles. Siempre encontré alguna fuerza ya sea creada en situaciones o en personas que me inspiraban a continuar y no desanimarme, esa fuerza para mi es DIOS.

Agradezco a mis padres Dolores Morales y Román Mantilla que me dieron la oportunidad de iniciar una carrera universitaria brindándome toda su confianza y apoyo.

La culminación de este trabajo tuvo situaciones bajas y altas, pero en el proceso tuve la ayuda de excelentes personas.

Agradezco infinitamente al Doctor Luís Corrales por su ayuda, apoyo y palabras de ánimo.

Para Javier Prado (MG), mi agradecimiento, ya que su ayuda fue incondicional y su paciencia, cualidad que lo ayudaron a soportarme en los momentos de desesperación y saber que puedo contar con él, tanto en los momentos divertidos como en los momentos serios.

Para empezar un proyecto, hace falta valentía. Para terminar un proyecto, hace falta perseverancia.

Gracias





DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres Dolores Morales (Sra. Lola) y Román Mantilla (Don Román) ellos que me dieron la oportunidad de poder prepararme para emprender una carrera, dándome su confianza y deseando que la aprovechara para hacerlos sentir orgullosos.

A mi abuelita Flerida que me alegra mucho cuando viene a Quito y me hace compañía.

A mis amigos que me acompañaron durante los años que estuve en la EPN, compartiendo muchas vivencias que quedarán en mi corazón como experiencias de un momento imborrable en mi vida.

A Javi con quien pude aprender cuan importante es sentirte apoyado por alguien que no tiene ninguna obligación con uno y que lo hace por que le nace.

*La verdad es que amamos la vida,
no porque estemos acostumbrados
a ella, sino porque estamos
acostumbrados al amor.*

Friedrich Nietzsche



CONTENIDO

RESUMEN.....	XV
PRESENTACIÓN	XVII

INDICE

CAPÍTULO 1	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
------------------	-------------------------------

GENERALIDADES DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO DE ELEPCO S.A.....	19
--	----

1.1 OBJETIVO.....	19
1.2 SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	19
1.2.1 DEFINICIÓN	19
1.2.2 COMPONENTES	20
1.2.2.1 Etapa de Generación.....	21
1.2.2.1.1 Central Generadora de Electricidad.....	21
1.2.2.1.1.1 Tipos de centrales eléctricas.....	21
1.2.2.1.2 Línea de media tensión.....	23
1.2.2.2 Etapa de Transmisión.....	23
1.2.2.2.1 Estaciones transformadoras elevadoras.....	23
1.2.2.2.2 Líneas de transporte.....	24
1.2.2.2.2.1 Tipos de líneas de transmisión para el transporte de la electricidad.....	24
1.2.2.3 Etapa de distribución.....	26
1.2.2.3.1 Subestaciones de transformación	27
1.2.2.3.2 Subestación transformadora de distribución	28
1.2.2.3.3 Centro de transformación de distribución.....	28
1.2.2.3.4 Red secundaria de distribución.....	28
1.2.2.3.4.1 Líneas de baja tensión.....	28
1.2.2.3.4.2 Acometida	29
1.2.2.3.4.3 Cuadro general de protección	29
1.3 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE ELEPCO S.A.....	30
1.3.1 ÁREA DE CONCESIÓN	30
1.3.2 FUENTES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA	30
1.3.2.1 Generación local.....	31
1.3.2.2 Nodos del S.N.I.....	32
1.3.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN	33
1.3.4 SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN	33
1.3.5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	34
1.3.5.1 Sistema de distribución primario	34
1.3.5.2 Sistema de distribución secundario	34
1.3.6 SUBESTACIONES.....	36
1.3.6.1 Equipos de una Subestación.....	36
1.3.6.2 Datos de los Transformadores instalados en las Subestaciones	37
1.3.6.3 Número de transformadores de ELEPCO S.A.....	38
1.3.6.4 Alumbrado público	39
1.3.6.5 Número de habitantes que se conectan al sistema eléctrico de ELEPCO S.A.....	39
1.4 PERTURBACIONES PRODUCIDAS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS	39
1.4.1 PERTURBACIONES INTERNAS	40
1.4.1.1 Variación de voltaje	41
1.4.1.1.1 Variaciones de corta duración.....	41
1.4.1.1.2 Variaciones de larga duración.....	42
1.4.1.1.3 Causas de la variación de voltaje.....	43
1.4.1.1.4 Soluciones para la variación de voltaje.....	53
1.4.1.2 Fluctuaciones de voltaje o Parpadeo (Flicker).....	54

➤ Índice de Calidad	55
➤ Límites.....	56
1.4.1.2.1 Causas	57
1.4.1.2.2 Soluciones	57
1.4.1.3 Armónicos.....	57
1.4.1.3.1 Problemas generados por las armónicas de corriente y voltaje	59
1.4.1.3.2 Interarmónicos en la red de alimentación.....	60
1.4.1.3.3 Solución para disminuir los armónicos.....	60
1.4.1.3.4 Efectos de los Armónicos.....	61
1.4.1.4 Transitorios	63
1.4.1.4.1 Transitorio impulsivo.....	63
1.4.1.4.2 Transitorio oscilatorio.....	63
1.4.2 PERTURBACIONES EXTERNAS.....	64
1.4.2.1 Ruido.....	64
1.4.2.1.1 Ruido eléctrico	65
1.4.2.1.2 Ruido Síncrono	65
1.4.2.1.3 Ruido Asíncrono	66
1.4.2.1.4 Ruido de fondo.....	66
1.4.2.1.5 Ruido de banda angosta.....	66
1.4.2.1.6 Ruido Impulsivo.....	66
1.4.2.2 Perturbaciones generadas por Interferencias Electromagnéticas.....	67
1.4.2.2.1 Acoplamiento por conducción	68
1.4.2.2.2 Acoplamiento por radiación	68
1.5 TRANSMISION DE DATOS SOBRE LINEAS DE ENERGIA ELECTRICA	71
1.5.1 PARÁMETROS ELÉCTRICOS	71
1.5.2 DIFICULTADES DEL CANAL ELÉCTRICO	73
1.5.3 INMUNIDAD A INTERFERENCIAS DE LOS CABLES CON CONDUCTORES DE COBRE	78
1.5.3.1 TIPOS DE INMUNIDAD A INTERFERENCIAS.....	78
1.5.4 COMPORTAMIENTO DE LAS LINEAS ELÉCTRICAS COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN	79
CAPÍTULO 2	80
ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATION).....	80
2.1 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA PLC	80
2.1.1 DEFINICIÓN	80
2.1.2 FUNCIONAMIENTO	81
2.1.2.1 Integración del Sistema Eléctrico y PLC	81
2.1.2.2 Transmisión paralela de energía e información	82
2.1.2.3 Frecuencia utilizada.....	83
2.1.2.4 Velocidades de transmisión	83
2.1.2.5 Tipos de modulación empleadas en PLC	84
2.1.2.6 Modulación OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing).....	87
2.1.2.6.1 Funcionamiento de OFDM	88
2.1.2.6.2 Constelaciones Básicas.....	89
2.1.2.6.3 Ortogonalidad	92
2.1.2.6.4 Modulación y Demodulación OFDM.....	93
2.1.2.6.5 Beneficios de OFDM	94
2.2 PLC Y EL MODELO OSI	96
2.2.1 CAPA FÍSICA.....	97
2.2.2 CAPA ENLACE DE DATOS	97
2.3 CAPACIDAD DEL CANAL PLC.....	100
2.4 ARQUITECTURA DE LA RED PLC	101
2.4.1 TOPOLOGÍA.....	102
2.4.1.1 Topología física de la Red PLC.....	103
2.4.1.2 Topología lógica de la Red PLC.....	104
2.4.2 SISTEMAS PLC	105
2.4.2.1 Sistema de Distribución.....	105
2.4.2.2 Sistema PLC de Acceso.....	106
2.4.2.3 Sistema PLC doméstico	107

2.4.2.4	Sistemas de Gestión.....	108
2.4.3	CONFIGURACIÓN DE UNA RED PLC	109
2.4.3.1	HE o Unidad de Acondicionamiento	109
2.4.3.2	Unidad Repetidora.....	111
2.4.3.3	Unidad de Usuario o MÓDEM PLC	112
2.4.4	ELEMENTOS ADICIONALES PARA ESTRUCTURARA LA RED PLC	115
2.4.4.1	Acoplamiento de las Líneas Eléctricas	115
2.4.4.1.1	<i>Tipos de acoplamiento</i>	116
2.4.4.1.1.1	<i>Unidades de Acoplamiento Capacitivo</i>	116
2.4.4.1.1.2	<i>Unidades de Acoplamiento Inductivo</i>	117
2.4.5	LIMITACIONES TÉCNICAS DE PLC.....	118
2.4.6	REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO EN LAS REDES PLC.....	123
2.4.6.1	Seguridad en Redes PLC	123
2.4.6.2	Calidad de servicio QoS.....	124
2.4.7	COMPATIBILIDAD DE PLC CON REDES EXISTENTES	125
2.4.7.1	PLC y un Enlace Satelital.....	126
2.4.7.2	PLC y WIMAX	126
2.4.8	VENTAJAS DE PLC	126
2.4.9	DESVENTAJAS DE PLC.....	128
2.4.10	APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA PLC.....	129
2.5	ORGANISMOS INTERNACIONALES DE ESTANDARIZACIÓN	131
2.6	POSICIONAMIENTO DEL PLC EN EL MERCADO MUNDIAL.....	139
2.6.1	DESPLIEGUE COMERCIAL Y PILOTO	140
2.7	TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA Y PLC	143
2.7.1	CONEXIÓN DIAL-UP	143
2.7.2	LÍNEAS DEDICADAS	144
2.7.3	ISDN-RSDI.....	145
2.7.4	LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA (ADSL).....	146
2.7.5	CABLE MÓDEM.....	147
2.7.6	TECNOLOGÍA CELULAR.....	148
2.7.7	TECNOLOGÍA SATELITAL	149
2.8	REDES DE BANDA ANCHA INALÁMBRICAS.....	152
2.8.1	WiMAX (WORLDWIDE INTEROPERABILITY FOR MICROWAVE ACCESS).....	152
2.8.1.1	<i>Características</i>	152
2.8.2	WIRELESS FIDELITY (WiFi).....	153
2.8.2.1	<i>Características</i>	153
CAPÍTULO 3		156
ESTUDIO DEL TRANSPORTE DE DATOS, VOZ Y VIDEO EN FORMA CONVERGENTE.....		156
3.1	TENDENCIA GLOBAL DE LAS COMUNICACIONES	156
3.2	DEFINICIÓN DE CONVERGENCIA	157
3.2.1	OBJETIVOS DE LA CONVERGENCIA	158
3.2.2	TENDENCIA DE LA CONVERGENCIA	158
3.2.3	PANORAMA ACTUAL DE LA CONVERGENCIA	159
3.2.3.1	Elementos impulsores de la convergencia.....	160
3.3	ORGANISMOS QUE FOMENTAN LA CONVERGENCIA EN EL PAIS.....	161
3.3.1	COMISIÓN NACIONAL DE CONECTIVIDAD.....	161
3.3.2	FONDO DE DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES (FODETEL).....	162
3.4	BARRERAS DE NUEVAS REDES Y SERVICIOS EN ECUADOR	164
3.5	ELEMENTOS REGULADORES, TECNICOS Y ORGANIZACIONALES DE LA CONVERGENCIA.....	165
3.5.1	ASPECTOS TECNOLÓGICOS	166
3.5.2	ASPECTOS DE MERCADO	167
3.5.3	ASPECTOS REGULATORIOS	168
3.6	TIPOS DE CONVERGENCIA	169
3.6.1	CONVERGENCIA DE SERVICIOS	169
3.6.2	CONVERGENCIA DE TECNOLOGÍAS.....	170
3.6.3	CONVERGENCIA DE REDES.....	170
3.6.3.1	Calidad del Servicio (QoS) en la Convergencia de Redes	171

3.7	EMPRESAS PROVEEDORAS DE CONVERGENCIA.....	172
3.7.1	CONVERGENCIA DE REDES Y LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS	172
3.7.2	BENEFICIOS DE LA CONVERGENCIA DE REDES PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS.....	173
3.7.3	BARRERAS DE LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS AL INGRESAR AL MERCADO DE LAS COMUNICACIONES	174
3.7.3.1	Barreras tecnológicas.....	175
3.7.3.2	Barreras económicas.....	175
3.7.3.3	Barreras regulatorias.....	176
3.7.3.4	Barreras organizacionales	176
3.8	MOTIVACION DE ELEPCO S.A. PARA INCURSIONAR EN LAS COMUNICACIONES	177
3.8.1	CONDICIONES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO COMERCIAL.....	178
3.8.2	SERVICIOS A IMPLEMENTAR EN LA REDES DE ELEPCO S.A.	180
3.8.2.1	Aplicaciones de AMR (Medición Automática Remota)	180
3.8.2.2	Servicios de banda ancha	181
3.8.2.3	Adecuación a los servicios considerados	182
3.8.3	CAPACIDADES DE INFORMACIÓN A SER TRANSMITIDAS	183
3.8.4	CONSIDERACIONES DE NEGOCIO A SEGUIR.....	183
3.8.4.1	Como arrendador de su infraestructura	183
3.8.4.2	Como prestador del servicio de telecomunicaciones	184
3.8.4.3	Alianza con empresas de Telecomunicaciones.....	184
3.8.5	BENEFICIOS PARA LOS USUARIOS DE LA RED DE ELEPCO S.A.	185
3.8.6	BENEFICIOS PARA LA PROVINCIA Y LA CIUDAD	185
3.9	SITUACION ACTUAL DEL SERVICIO DE INTERNET EN ECUADOR	186
3.9.1	PENETRACION DE INTERNET	186
3.9.1.1	Barreras que impiden incrementar la conectividad nacional.....	187
3.9.2	PRINCIPALES ENTIDADES INTERESADAS EN EL SERVICIO DE INTERNET	189
3.9.3	PENETRACIÓN DE INTERNET EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI	190
3.9.3.1	Número de usuarios a ser atendidos por ELEPCO S.A.....	191
CAPÍTULO 4		194
DISEÑO DE LA RED PLC EN LA RED ELECTRICA DE ELEPCO S.A.....		194
4.1	ALCANCE	194
4.2	ESTADO ACTUAL DE LA RED ELÉCTRICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.	195
4.2.1	SUBESTACIONES DE TRANSFORMACION LA COCHA Y EL CALVARIO	196
4.2.1.1	Ubicación de la subestaciones	196
4.2.1.2	Diagramas Unifilares de las subestaciones el Calvario y la Cocha	198
4.2.1.3	Calibre de los conductores	199
4.2.1.4	Longitud de las Líneas de transmisión.....	199
4.2.1.5	Número de Transformadores aéreos hasta el Sistema Subterráneo.....	199
4.2.1.6	Número de usuarios aproximado por transformador	200
4.2.2	CÁMARAS DE TRANSFORMACION SUBTERRANEAS	200
4.2.2.1	Número de Cámaras de Transformación Subterráneas	201
4.2.2.2	Red de MT que alimenta a las CT Subterráneas.....	202
4.2.2.3	Interconexión de las Cámaras de Transformación	202
4.2.2.4	Conexión de las CT en el enlace de MT.....	204
4.2.2.4.1	Segmentos de las Cámaras de Transformación Subterráneas.....	205
4.2.2.5	Distancia entre las CT subterráneas.....	206
4.2.2.6	Estructura de las Cámaras de Transformación	208
4.2.2.6.1	Equipos y elementos.....	208
4.2.2.6.2	Red de Media y Baja Tensión	208
4.2.2.7	Número de circuito y usuarios por Cámara de Transformación	210
4.2.2.8	Cámara de Transformación de Santo Domingo CT-04	211
4.3	ESTUDIO DE LA ZONA PILOTO CONSIDERADA PARA EL DISEÑO DE LA RED PLC	215
4.3.1	OBTENER UN CONOCIMIENTO DEL SECTOR.....	215
4.3.2	CONOCER LA COMPETENCIA.....	215
4.3.3	CAPACIDAD DE TRANSMISION DE DATOS OFRECIDAS	215
4.3.4	COSTOS QUE TIENE EL SERVICIO DE INTERNET	215

4.4	CONSIDERACIONES DEL DISEÑO	217
4.4.1	RED ELÉCTRICA	217
4.4.2	RED DE DATOS	218
4.4.2.1	Velocidad de transmisión	219
4.4.2.2	Aplicaciones.....	220
4.5	EQUIPOS REQUERIDOS EN EL DISEÑO.....	221
4.5.1	EQUIPOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN O BACKBONE.....	221
4.5.1.1	Equipos del CCR ubicados en la Subestación El Calvario	222
4.5.2	EQUIPOS DE LA RED PLC.....	223
4.5.2.1	Unidad de Acondicionamiento (UA).....	223
4.5.2.2	Unidades de acoplamiento (UDA).....	223
4.5.2.3	Unidad repetidora (UR).....	223
4.5.2.4	Unidades de Usuario (UU).....	224
4.6	DISTANCIAS INVOLUCRADAS EN EL DISEÑO DE LA RED PLC	224
4.6.1	DISTANCIAS CT-04 DE SANTO DOMINGO.....	224
4.7	DESPLIEGUE DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN O BACKBONE	226
4.8	DISEÑO DE LA RED PLC.....	228
4.8.1	MÓDULOS JERÁRQUICOS DEL DISEÑO	229
4.8.2	DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA (MT).....	230
4.8.2.1	Backbone de Fibra óptica.....	230
4.8.2.2	Longitud y número de pares de FO por enlace	231
4.8.2.3	Cálculo de la Potencia Mínima del Transmisor $P_{min(Tx)}$	234
4.8.2.4	Interconexión del BACKBONE o Red de Distribución	236
4.8.3	EQUIPOS REQUERIDOS PARA REALIZAR EL DISEÑO EN CADA CAMARA DE TRANSFORMACIÓN.....	239
4.8.3.1	Diseño de la Red de Acceso que parte de CT-04 Sto. Domingo.....	239
4.8.3.2	Número total de Equipos en la Red PLC	240
4.8.3.3	Interconexión hacia el Usuario	243
4.8.3.3.1	<i>Equipos de Usuario</i>	244
4.8.3.3.2	<i>Requisitos para una conexión PLC domiciliaria</i>	245
4.8.3.3.3	<i>Consideraciones del diseño de una Red PLC domiciliaria</i>	246
4.8.3.3.4	<i>Características de la Red domiciliaria</i>	247
4.8.3.3.5	<i>Aplicaciones</i>	248
4.8.4	REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE SERVICIO Y SEGURIDAD.....	248
4.8.4.1	Calidad de servicio que ofrecen los equipos PLC.....	248
4.8.4.2	Seguridad.....	248
4.9	EQUIPOS ESCOGIDOS PARA REALIZAR EL DISEÑO DE LA RED PLC	248
4.9.1	EQUIPO ACCESO PLC.....	250
4.9.2	EQUIPO PLC DOMICILIARIA	250
4.9.3	COSTO INVOLUCRADO EN EL DISEÑO DE LA RED PLC.....	251
4.9.3.1	Instalación del medio de trasmisión en el Backbone	251
4.9.3.2	Tarifas por uso de frecuencia < 30 MHz.....	252
CAPÍTULO 5		256
5.1	CONCLUSIONES	256
5.2	RECOMENDACIONES.....	261
GLOSARIO		234
BIBLIOGRAFÍA		236
ANEXOS.....		243
ANEXO A.....		278
ANEXO B.....		281
ANEXO C.....		312
ANEXO D.....		314

ÍNDICE DE FIGURAS.....XI

CAPÍTULO 1

<i>Figura 1.1: Esquema del Sistema de suministro eléctrico</i>	2
<i>Figura 1.2: Estación transformadora elevadora.....</i>	5
<i>Figura 1.3: Líneas aéreas de transmisión eléctrica.....</i>	7
<i>Figura 1.4: Línea convencional de media tensión.....</i>	7
<i>Figura 1.5: Línea de red trenzada de media tensión</i>	8
<i>Figura 1.6: Líneas subterráneas de transmisión eléctrica.....</i>	8
<i>Figura 1.7: Representación del Sistema Eléctrico.....</i>	11
<i>Figura 1.8: Nodos de interconexión con el S.N.I. S/E de Ambato y Mulaló.....</i>	15
<i>Figura 1.9: Red de distribución, tensión de suministro.....</i>	17
<i>Figura 1.10: Tablero de Control de la Subestación El Calvario.....</i>	19
<i>Figura 1.11: Tipos de Transformadores de ELEPCO S.A.....</i>	20
<i>Figura 1.12: Triangulo de Potencia.....</i>	26
<i>Figura 1.13: Rango del Factor de potencia.....</i>	27
<i>Figura 1.14: Parpadeo o Flicker.....</i>	37
<i>Figura 1.15: Valores de armónicos que afectan el espectro de frecuencias</i>	40
<i>Figura 1.16: Combinación de las Ondas sinusoidales.....</i>	40
<i>Figura 1.17: Señal de voltaje con presencia de señales de ruido de alta frecuencia.....</i>	47
<i>Figura 1.18: Tipos de ruidos presentes en la Red eléctrica.....</i>	49
<i>Figura 1.19: Parámetros distribuidos de una línea eléctrica.....</i>	53
<i>Figura 1.20: Atenuación en función de la frecuencia.....</i>	56
<i>Figura 1.21: Esquema de las Líneas de Trasmisión como medio Comunicación.....</i>	59

CAPÍTULO 2

<i>Figura 2.1: Estructura típica de la red de distribución de energía eléctrica.....</i>	63
<i>Figura 2.2: Rango de trabajo de la Red Eléctrica y la Red PLC.....</i>	64
<i>Figura 2.3: Distribución de Frecuencias del Espectro PLC ETSI TS 101 867.....</i>	65
<i>Figura 2.4: Anchos de Banda en PLC.....</i>	66
<i>Figura 2.5: Subportadoras OFDM.....</i>	69
<i>Figura 2.6: Tipos de Constelaciones QAM.....</i>	71
<i>Figura 2.7: Intervalo de Guarda $\frac{1}{4}$ del período del símbolo.....</i>	73
<i>Figura 2.8: Ortogonalidad de portadoras en OFDM.....</i>	74
<i>Figura 2.9: Diagrama de bloques modulador OFDM.....</i>	75
<i>Figura 2.10: Diagrama de bloques demodulador OFDM.....</i>	75
<i>Figura 2.11: Adaptabilidad de la Señal de datos a las condiciones del canal.....</i>	77
<i>Figura 2.12: Modulación OFDM.....</i>	78
<i>Figura 2.13: Pila de protocolos de la tecnología PLC.....</i>	80
<i>Figura 2.14: Trama utilizada en PLC.....</i>	81
<i>Figura 2.15: Arquitectura de la red PLC.....</i>	84
<i>Figura 2.16: Topología Tipo Árbol de la Red PLC.....</i>	85
<i>Figura 2.17: Topología Lógica Tipo Bus empleada por PLC.....</i>	86
<i>Figura 2.18: Sistema PLC de Distribución que utiliza la red Media Tensión Eléctrica.....</i>	88
<i>Figura 2.19: Sistema PLC de Acceso.....</i>	89
<i>Figura 2.20: Sistema PLC Doméstico.....</i>	89
<i>Figura 2.21: Elementos de la red PLC.....</i>	91
<i>Figura 2.22: Unidad de Acondicionamiento instalada en una Cámara de Transformación</i>	92

Figura 2.23: Unidad Repetidora PLC.....	93
Figura 2.24: Posición de la Unidad Repetidora en la Red Eléctrica.....	93
Figura 2.25: Unidad de Usuario PLC.....	94
Figura 2.26: Diagrama funcional de la Unidad de usuario PLC.....	95
Figura 2.27: Conexión de la Unidad de Usuario.....	96
Figura 2.28: Tipo de filtros instalados en los equipos PLC.....	97
Figura 2.29: Bypass en el Transformador eléctrico.....	98
Figura 2.30: Unidad de acoplamiento capacitivo.....	99
Figura 2.31: Unidad de acoplamiento inductivo.....	99
Figura 2.32: Esquema general de la tecnología PLC.....	100
Figura 2.33: Esquema de medición de interferencias.....	103
Figura 2.34: Diagrama de aplicaciones PLC.....	113
Figura 2.35: Panorama estandarizador del PLC.....	114
Figura 2.36: Desarrollo PLC a nivel mundial.....	121
Figura 2.37: Tipos de Redes de Acceso.....	125

CAPÍTULO 3

Figura 3.1: Tendencia del mercado de las comunicaciones.....	140
Figura 3.2: Tendencia de las tecnologías hacia la convergencia.....	142
Figura 3.3: Índice de penetración de Internet en el Ecuador.....	145
Figura 3.4: Integración Empresarial Tecnologías de Información.....	150
Figura 3.5: Tendencia de la Convergencia de Servicios.....	151
Figura 3.6: Tendencia de la Convergencia tecnológica.....	152
Figura 3.7: Modelos de negocio para la Empresa Eléctricas.....	166
Figura 3.8: Proyección de Índices de Penetración de Banda Ancha en América Latina.....	168
Figura 3.9: Tipos de Cuentas de Internet en la provincia de Cotopaxi.....	172

CAPÍTULO 4

Figura 4.1: Alimentador 2 que interconecta a las SE La Cocha y El Calvario.....	178
Figura 4.2: Subestación la Cocha.....	179
Figura 4.3: Subestación el Calvario.....	179
Figura 4.4: Diagrama unifilar de las S/E La Cocha y el Calvario.....	180
Figura 4.5: Transformadores que ingresan a la Red Subterránea de ELEPCO S.A.....	182
Figura 4.6: Distribución de las Cámaras de Transformación subterránea.....	185
Figura 4.7: Interconexión de las CT subterráneas a través del cableado de MT.....	186
Figura 4.8: Distancias entre Cámaras de Transformación.....	188
Figura 4.9: Transformador trifásico.....	190
Figura 4.10: Ingreso de los circuitos a la Red de BT.....	191
Figura 4.11: Diagrama de la Red de BT de la CT-04.....	194
Figura 4.12: Enlace de FO entre las CT de MT/BT.....	209
Figura 4.13: Módulos jerárquicos del diseño de la Red PLC.....	211
Figura 4.14: Números de pares de FO utilizados.....	213
Figura 4.15: Pares de FO que harían la Interconexión de las CT en la red de MT.....	214
Figura 4.16: Potencia-ancho de banda en el receptor.....	216
Figura 4.17: Interconexión del Backbone y las CT.....	219
Figura 4.18: Red de Acceso PLC que parte desde la CT-04.....	222
Figura 4.19: Esquema de la Conexión de las Unidades de Usuarios.....	226
Figura 4.20: Escenario de una FAX conectado a través de la red eléctrica.....	227
Figura 4.21: Principales Fabricantes de Equipos PLC.....	231

ÍNDICE DE TABLAS.....XIV

CAPÍTULO 1

<i>Tabla 1.1: Clases de centrales de generación eléctrica.....</i>	4
<i>Tabla 1.2: Centrales de Generación Local.....</i>	14
<i>Tabla 1.3: Líneas de Subtransmisión.....</i>	16
<i>Tabla 1.4: Subestaciones de ELEPCO S.A.....</i>	18
<i>Tabla 1.5: Datos del transformador de la S/E El Calvario.....</i>	19
<i>Tabla 1.6: Transformadores Eléctricos en Subestaciones de ELEPCO S.A.....</i>	20
<i>Tabla 1.7: Relación del fp y la potencia disponible.....</i>	28
<i>Tabla 1.8: Factor de potencia de algunos aparatos eléctricos.....</i>	30
<i>Tabla 1.9: Cálculo del consumo de varios aparatos eléctricos.....</i>	32
<i>Tabla 1.10: Valores del Efecto piel en los conductores.....</i>	44
<i>Tabla 1.11: Categorías y Características Fenómenos Electromagnéticos en los Sistemas de Potencia Según la Norma IEEE 1159-1995</i>	52

CAPÍTULO 2

<i>Tabla 2.1: Comparación de los diferentes esquemas de modulación para sistemas PLC.....</i>	68
<i>Tabla 2.2: Número de portadoras para sistemas PLC.....</i>	70
<i>Tabla 2.3: Constelaciones usadas en PLC.....</i>	71
<i>Tabla 2.4: Modelo de referencia OSI.....</i>	78
<i>Tabla 2.5: Estimación de la capacidad de canal PLC en la “Red de Acceso”</i>	83
<i>Tabla 2.6: Nivel jerárquico que permite el Monitoreo de los equipos en la red PLC.....</i>	86
<i>Tabla 2.7: Limite de interferencias estipulados por la FCC.....</i>	103
<i>Tabla 2.8: Organismos Internacionales de Estandarización.....</i>	115
<i>Tabla 2.9: Países que utilizan PLC.....</i>	124
<i>Tabla 2.10: Comparación de la tecnología PLC frente a redes alámbrica de banda ancha.....</i>	132
<i>Tabla 2.11: Comparación de la tecnología PLC - Tecnología inalámbrica.....</i>	136
<i>Tabla 2.12: Ubicación de PLC en soluciones de Acceso de alta velocidad.....</i>	137

CAPÍTULO 3

<i>Tabla 3.1: Tecnologías utilizadas para dar inicio a la convergencia.....</i>	141
<i>Tabla 3.2: Rangos de las capacidades de la información a transmitir.....</i>	165
<i>Tabla 3.3: Grupos de Interés para brindar servicios de datos en Latacunga.....</i>	171
<i>Tabla 3.4: Número de usuarios de Internet en Cotopaxi.....</i>	172
<i>Tabla 3.5: Número de usuarios Eléctricos.....</i>	174
<i>Tabla 3.6: Número de usuarios que reciben el servicio de datos por parte de ELEPCO S.A.....</i>	174
<i>Tabla 3.7: Número de habitantes en Latacunga.....</i>	174
<i>Tabla 3.8: Número de usuarios del área urbana en Latacunga.....</i>	174
<i>Tabla 3.9: Muestra del Número de usuarios a ser atendidos por ELEPCO S.A con el servicio de datos.....</i>	175

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1: Distribución de primarios de las subestaciones La Cocha y El Calvario.....	178
Tabla 4.2: Conductores empleados en las redes de MT y BT.....	181
Tabla 4.3: Longitud de las Líneas de transmisión.....	181
Tabla 4.4: Cámaras Subterráneas de ELEPCO S.A.....	183
Tabla 4.5: Distribución de las Subestaciones que alimentan a las CT subterráneas.....	184
Tabla 4.6: Detalle de las CT Subterráneas y sus CT particulares.....	187
Tabla 4.7: Distancia entre CT Subterráneas y sus respectivas CT privadas.....	189
Tabla 4.8: Características de los equipos de una CT.....	190
Tabla 4.9: Número de Circuitos y usuarios de las CT subterráneas.....	192
Tabla 4.10: Distribución de Circuitos, Pozos, Distancias y Usuarios de la CT-04 Sto. Domingo.....	195
Tabla 4.11: Valores del Flujo de información que viajará por la Red PLC.....	201
Tabla 4.12: Consideraciones principales para el Diseño de la Red PLC.....	202
Tabla 4.13: Distancia desde la CT-04 a los Pozos de distribución en el Circuito N° 9.....	203
Tabla 4.14: Combinación de tecnologías y V_{Tx} en la red de distribución.....	207
Tabla 4.15: Enlaces de FO de 6 pares.....	208
Tabla 4.16: Cuadro de longitudes de la FO.....	215
Tabla 4.17: Ecuación de la Potencia mínima del transmisión.....	215
Tabla 4.18: Ecuación de la A_T en FO.....	216
Tabla 4.19: Potencia Mínima de Transmisión.....	217
Tabla 4.20: Equipos a ser instalados en cada CT.....	218
Tabla 4.21: Número total de repetidores en los circuitos de la CT-04.....	220
Tabla 4.22: Número de UR requeridas por cada Circuito de las Cámaras de Transformación.....	224
Tabla 4.23: Número Total de UR por Cámaras de Transformación.....	225
Tabla 4.24: Elementos básicos por los que esta formada una instalación eléctrica domiciliaria.....	229
Tabla 4.25: Costos totales del Diseño de la Red PLC.....	236

RESUMEN

Actualmente la red de acceso para la transmisión de datos es uno de los mayores impedimentos para tener conectividad total en una región, debido al alto costo que implica su instalación, por lo que no cubre áreas donde la población se encuentra alejada y dispersa. La tecnología PLC es una alternativa que se presenta para enfrentar el problema de acceso tanto en áreas cercanas como en áreas alejadas ya que involucra a una de las infraestructuras más extendidas en el territorio nacional como lo es la Red de transmisión eléctrica.

El Sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. cubre el 96.75 %, llegando así a casi toda la población urbana, rural y urbano marginal de la provincia de Cotopaxi. El área que se consideró para el desarrollo del diseño de la Red PLC en este trabajo comprende la zona central de la ciudad de Latacunga, cuya red eléctrica está formada por un conjunto de Cámaras de transformación subterráneas interconectadas entre sí a través de la red de Media tensión de 13,8 KV y que alimentan a un importante sector comercial de la ciudad. Las Cámaras de Transformación alimentan a través de sus varios circuitos a la red de Baja Tensión de la ciudad, a un total de 2694 contadores de energía que representa a los usuarios del servicio eléctrico y que para el diseño se consideran como un potencial cliente para el servicio de datos en la red PLC. El diseño se estructuró sobre la interconexión de una red de distribución de Fibra óptica en la Red de MT y una red PLC en la red de BT.

En este documento PLC no será tratada como una tecnología sustitutiva de las redes de acceso que actualmente están vigentes, sino como una tecnología complementaria integrada con infraestructuras de comunicaciones existentes (fibra óptica, ADSL) para llegar a sectores no atendidos.

ELEPCO S.A. al querer ingresar al mercado de las comunicaciones tiene varias opciones para ofertar servicios a través de la tecnología PLC. Además debe elegir las consideraciones de negocio a seguir, esto le abre muchas puertas a la empresa ya que con esta implementación lograría dar servicios unificados de voz, datos y energía eléctrica logrando aumentar su carpeta de servicios, facturando todos ellos en una sola planilla como único proveedor.

Los equipos considerados para el diseño de la red PLC para BT son los del fabricante Corinex debido a que posee una gama de productos que son factibles para la red eléctrica de ELEPCO S.A. tanto en características técnicas como en costo de equipos. El número de equipos totales que se determinaron para el diseño varía según la longitud de cada cámara de transformación. A partir del número total de equipos requeridos para el diseño se determinó el valor del costo total de la implementación de la Red PLC para ELEPCO S.A.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo exponer el uso la tecnología emergente denominada PLC (Power Line Communications), como solución para diseñar una red de datos utilizando las líneas de transmisión eléctrica. Se analiza los requerimientos que debe cumplir la red eléctrica para brindar este servicio, prestándolos de una forma segura, confiable y eficiente. También se considera el modelo de negocio al que pueden dirigirse las empresas eléctricas interesadas en implementar la red PLC en su infraestructura. Se realiza un diseño esquemático de la red PLC, donde se involucran todos los equipos necesarios para acondicionar las líneas eléctricas. Este trabajo es una guía para la creación de una Red PLC de acceso que sea capaz de brindar servicios de telecomunicaciones de Banda Ancha como Datos, Voz y Video. El proyecto se realiza apegado a las condiciones del Sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A.

CAPITULO 1.- Este capítulo se desarrolla con una breve explicación de cómo se encuentra estructurado el sistema de suministro eléctrico en general, luego se detalla el área de concesión de la empresa eléctrica provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. y toda su infraestructura. Se estudia las líneas eléctricas de medio y bajo voltaje como medios de transmisión de señales de comunicaciones, indicando los tipos de perturbaciones más comunes presentes en las redes eléctricas y la forma en que pueden afectar a las señales transmitidas en altas frecuencias.

CAPITULO 2.- Este capítulo tiene la finalidad de hacer una recopilación de las características principales de la tecnología PLC. Se muestra cuales son las frecuencias de trabajo, velocidades de transmisión, tipo de modulación empleada, tipos de redes PLC, equipo requerido para hacer una infraestructura de red con PLC, métodos de seguridad empleados para la encriptación de los datos. Además se considera las limitaciones técnicas, las ventajas y desventajas que posee la tecnología. También abarca las aplicaciones que pueden darse. Se recopilan los

principales organismos que trabajan para la creación de normas y regulación en el mundo y los países que actualmente han realizado pruebas para implantar PLC, finalizando con la comparación del PLC con varias tecnologías de acceso de banda ancha.

CAPITULO 3.- En este capítulo se define conceptos de convergencia, tipos de convergencia, así como el desarrollo de la convergencia de redes aplicada a las redes eléctricas. Se identifica a los organismos que fomentan la convergencia en el país con fines sociales. Se describen los servicios que ofrecería ELEPCO S.A. al ingresar al mercado de las comunicaciones, determinando las barreras que debería enfrentar para ingresar al mercado de las telecomunicaciones y la tendencia del negocio que podría implementar.

CAPITULO 4.- En este capítulo se detalla el área sobre la cual se va a realizar el diseño de la Red PLC, haciendo una descripción de las Subestaciones de Distribución que alimentan las Cámaras de transformación Subterráneas de Media Tensión. Se realiza una descripción de los elementos por los que están conformadas las CT describiendo la interconexión que existe entre ellas. Se especifica el número de usuarios totales que son abastecidos. Se detalla el diseño de la Red de distribución de Fibra óptica sobre la red de MT y los equipos involucrados tanto para la red de distribución como para la red de Acceso PLC. Se determina el fabricante de equipos PLC, con las consideraciones técnicas que estos poseen, determinando el número de equipos totales requeridos para implantar la red junto a los costos que conlleva dicha implementación.

CAPITULO 5.- En este capítulo se describen las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó, luego de haber hecho un análisis de la infraestructura eléctrica de ELEPCO S.A. y la viabilidad de implementar la tecnología PLC. Teniendo como fin el desarrollo de un diseño esquemático de la Red PLC considerando los equipos y elementos por los que debe estar compuesta.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO DE ELEPCO S.A.

1.1 OBJETIVO

Este capítulo se desarrolla inicialmente con una breve explicación de cómo se encuentra estructurado el sistema de suministro eléctrico en general, luego se analiza detalladamente el área de concesión de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. y toda su infraestructura, sobre esta empresa se implementará el diseño de una red PLC¹. Se estudia las líneas eléctricas de medio y bajo voltaje como medios de transmisión de señales de comunicaciones. Además se presentan los tipos de perturbaciones más comunes en las redes eléctricas internas como externas y la forma en que pueden afectar a las señales transmitidas en altas frecuencias.

1.2 SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

1.2.1 DEFINICIÓN

Comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica hasta los usuarios. Este conjunto está formado de mecanismos de control, seguridad y protección. Se encuentra regulado por un sistema de control centralizado que garantiza una explotación racional de los recursos de generación y una calidad de servicio acorde con la demanda.

¹ PLC (Power Line Communications)

1.2.2 COMPONENTES

El proceso que sigue la energía eléctrica desde su generación hasta la entrega a los abonados esta constituido por elementos que se clasifican por etapas.

En la *Figura 1.1* se puede observar las distintas etapas del sistema de suministro eléctrico, las cuales se diferencia principalmente por los niveles de voltaje con que operan.

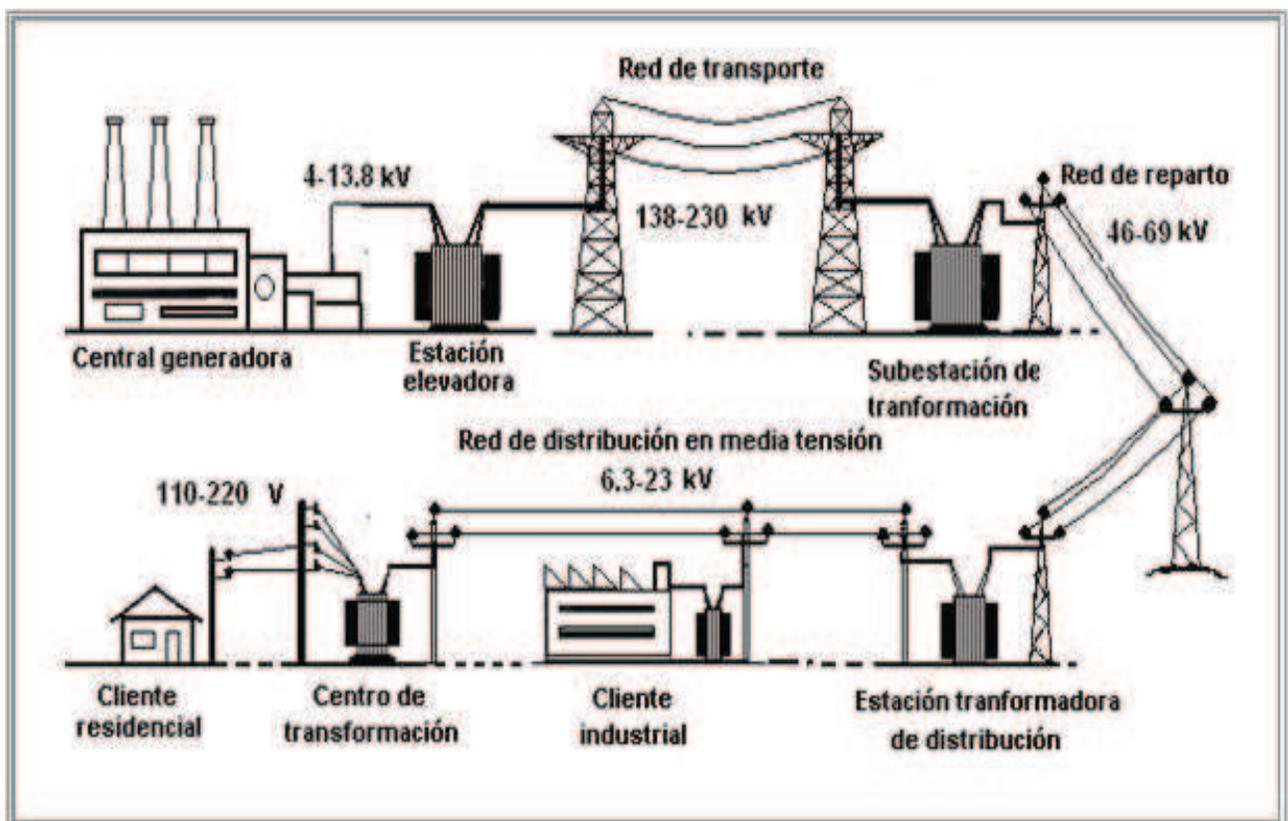


Figura 1.1: Esquema del Sistema de suministro eléctrico

1.2.2.1 Etapa de Generación

La generación de la electricidad consiste en transformar algún tipo de energía (no eléctrica) sea química, mecánica, térmica, luminosa o hidráulica en energía eléctrica. La energía eléctrica no puede ser almacenada ya que esta debe consumirse en el instante mismo que se produce, lo que hace necesario disponer de capacidades de producción con grandes potencias que permitan abastecer la demanda de consumo con flexibilidad y calidad.

1.2.2.1.1 Central Generadora de Electricidad

Es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para mediante un proceso mecánico, químico, luminoso etc. mover una turbina u otros elementos, lo cual causa una transformación de la energía no eléctrica en energía eléctrica. El voltaje producido en las centrales de generación es de 4 a 13.8 kV, una tensión suficiente para alcanzar distancias de 5 a 25 km.

1.2.2.1.1.1 Tipos de centrales eléctricas

De acuerdo a la fuente primaria de energía utilizada para la generación, las centrales eléctricas pueden clasificarse de la siguiente manera:

Tipo de central	Fuente	Principio	Uso
Eólica 	Viento	La energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.	Para generar electricidad, especialmente en áreas expuestas a vientos frecuentes, como zonas costeras, alturas montañosas o islas.
Geotérmica	Vapor	Es una central térmica movida por los vapores subterráneos de las regiones volcánicas	Limitado

Tipo de central	Fuente	Principio	Uso
Heliotérmica 	Solar	Es una instalación industrial en la que, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar y su uso en un ciclo termodinámico convencional, se produce la potencia necesaria para mover un alternador para generación de energía eléctrica.	Instalaciones de escasa potencia y rendimiento.
Hidráulica 	Agua	Mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central. El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la generación de energía eléctrica en alternadores.	Se encuentra muy difundida debido a su rentabilidad. Depende de los recursos naturales con que cuenta una región.
Mareomotriz 	Agua de mar	Resulta de aprovechar las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas.	Requieren alta inversión inicial. Su uso se limita a pocos países
Nuclear 	Desintegración de átomos	Se caracteriza por el empleo de materiales fisionables que mediante reacciones nucleares proporcionan calor.	No son muy difundidas por su potencial riesgo y peligro de contaminación.
Energía solar fotovoltaica 	Solar	Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos.	La corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica, operación que es muy rentable económicamente.
Térmica 	Combustión	A partir de la energía liberada en forma de calor, mediante la combustión de algún combustible fósil como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico para mover un alternador y producir energía eléctrica.	Son consideradas las centrales más económicas y rentables, por lo que su utilización está muy extendida en el mundo.

Tabla 1.1: Clases de centrales de generación eléctrica

1.2.2.1.2 Línea de media tensión

Luego de las centrales eléctricas se utilizan líneas de media tensión para la transmisión de energía hacia la primera estación transformadora que eleva el voltaje de la energía para posibilitar su óptima transmisión.

1.2.2.2 Etapa de Transmisión

En esta etapa se lleva la energía generada en las centrales eléctricas hasta las áreas de consumo. La energía eléctrica antes de ser transmitida debe ser transformada, debido a que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar el voltaje se reduce la corriente que circula, reduciendo así las pérdidas por efecto Joule y permitiendo dimensiones adecuadas del conductor.

1.2.2.2.1 Estaciones transformadoras elevadoras

Se encuentran junto a las centrales generadoras y se encargan de elevar la tensión de la energía eléctrica lo que facilita su transporte minimizando las pérdidas de energía eléctrica y luego su distribución. El voltaje generado en las centrales es elevado a un nivel de alta tensión que varía entre 138 kV y 230 kV.



Figura 1.2: Estación transformadora elevadora

1.2.2.2.2 Líneas de transporte

Representan el medio físico que se encarga del transporte de la energía. Están constituidas por cables de cobre, aluminio o acero recubierto de aluminio o cobre. Los cables se encuentran suspendidos de postes o altas torres de acero, mediante una sucesión de aislantes de porcelana o polímero.

El uso de acero recubierto y altas torres permite que las distancias entre estas puedan ser mayores, esto ayuda a obtener una reducción de los costos en el tendido de las líneas de conducción. En lugares donde los cables aéreos son peligrosos se utilizan cables aislados subterráneos.

Para obtener un uso controlado y confiable de la electricidad, es necesario que las líneas de transporte estén interconectadas, formando una red tipo malla o anillo lo que permite transportar electricidad entre lugares distantes, en cualquier sentido y con las menores pérdidas posibles. Esta red recibe el nombre de red de transporte o de alta tensión debido a que maneja voltajes de 138 kV o mayores.

1.2.2.2.2.1 Tipos de líneas de transmisión para el transporte de la electricidad

➤ Transmisión aérea

Una línea de transmisión aérea está constituida por los conductores, estructuras de soporte, aisladores y accesorios usados para sujetar los conductores a las estructuras de soporte. Las líneas de alta tensión requieren cables de guarda adicionales para proteger la línea de las descargas directas de los rayos. El esquema aéreo es el más utilizado por el menor costo que genera su construcción.

La altura mínima a la que deben encontrarse las líneas aéreas de transmisión debe ser mayor que 12 m, con el propósito de evitar cortocircuitos o accidentes que afecten a los moradores.



Figura 1.3: Líneas aéreas de transmisión eléctrica

➤ *Líneas aéreas de distribución en media tensión*

Se pueden representar por:

Línea convencional de media tensión: utiliza conductores no aislados de cobre o aluminio soportado por aisladores transversales montados en la parte superior de un poste, las distancias entre conductores varía de 30 cm a 100 cm. aproximadamente.

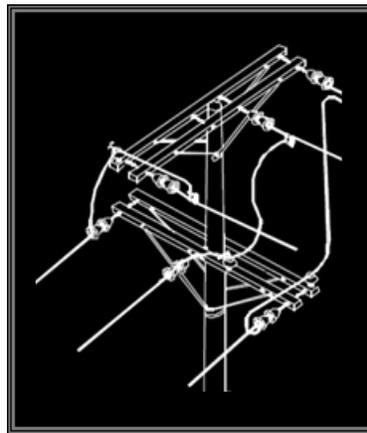


Figura 1.4: Línea convencional de media tensión

Línea de red trenzada: estas son redes que están constituidas por 3 conductores aislados que son entrelazados y son fijados en la parte superior de los postes

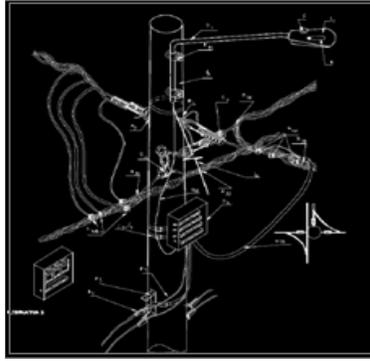


Figura 1.5: Línea de red trenzada de media tensión

➤ *Transmisión subterránea*

El transporte de la energía se realiza a través de tubos o ductos enterrados a más de un metro de profundidad bajo el nivel del suelo. Este es un esquema utilizado en grandes ciudades, debido a que las líneas aéreas representan un peligro.



Figura 1.6: Líneas subterráneas de transmisión eléctrica

1.2.2.3 Etapa de distribución

Desde las subestaciones de distribución ubicadas cerca de las áreas de consumo, el servicio eléctrico es responsabilidad de la compañía distribuidora, que construye y mantiene las líneas necesarias para llegar a los clientes. Estas líneas están realizadas a distintas tensiones, ingresan a instalaciones donde se reduce la tensión hasta los valores utilizables por los usuarios.

En la etapa de distribución se diferencia 2 redes:

➤ *Red de reparto o de subtransmisión*

Parte de las subestaciones de transformación, y distribuye la energía a través de una topología de anillo que rodea a los centros de consumo, hasta llegar a las subestaciones transformadoras de distribución. El nivel de voltaje en estas redes se encuentra entre 46 kV y 69 kV, por lo que se denominan líneas de media tensión.

➤ *Red primaria de distribución*

Forma una red de topología tipo malla, enlaza las subestaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación. Las líneas de distribución usadas en este tramo manejan voltajes nominales de 6.3 kV a 23 kV y corresponden a la última etapa del suministro de media tensión.

Por su capacidad de transporte se constituyen en la parte principal de la red y toman el nombre de la subestación del cual parten, la empresa distribuidora asigna un nombre para cada red primaria Ej. Primario A de la Subestación San Rafael. A la sección de la red primaria que se inicia en las barras de alta tensión de la subestación de distribución se le denomina Alimentador y la sección de la red primaria que se deriva de un alimentador, para alcanzar un área determinada de suministro se denomina ramal.

Las redes primarias de distribución se interconectan unas con otras, lo que forma compleja redes que dejan conectados en paralelo todos los centros de transformación; esto favorece la seguridad y confiabilidad en el servicio eléctrico.

1.2.2.3.1 Subestaciones de transformación

Están formadas por transformadores y circuitos de transmisión que disminuyen el nivel de voltaje a un rango de media tensión comprendido entre 46 kV y 69 kV. La energía es transportada mediante la red de reparto hacia las subestaciones de distribución.

1.2.2.3.2 Subestación transformadora de distribución

Grupo de equipos que reciben la energía eléctrica proveniente de la red de reparto y la convierten en la forma adecuada para su distribución a los consumidores, maneja voltajes entre (6.3 kV a 23 kV).

1.2.2.3.3 Centro de transformación de distribución

Aquí se produce la última transformación de la energía antes de ser consumida. Se encuentra provista de bancos de transformadores o simplemente de transformadores de distribución y sus elementos de protección, los que son alimentados por las líneas de distribución en media tensión. Desde estos centros se distribuye la energía de baja tensión (110V-220V o 220V-440 V) a los hogares mediante una red tipo estrella.

El centro de transformación puede ser aéreo o de cámara.

- ***Centro de transformación aéreo.-*** Se lo instala sobre una estructura de soporte en redes aéreas.
- ***Cámara de transformación.-*** Se instala en un local cubierto, el cual es diseñado y construido exclusivamente para el alojamiento de equipos en redes eléctricas subterráneas.

1.2.2.3.4 Red secundaria de distribución

Aquí opera el voltaje secundario que es de (110V-220V o 220V-440V) según sean transformadores de distribución monofásicos, bifásicos o trifásicos. Las redes secundarias pueden ser aéreas o subterráneas.

1.2.2.3.4.1 Líneas de baja tensión

Se transportan niveles de baja tensión a cortas distancias (200 m), lo que evita pérdidas de potencia. Se posibilita la conexión entre transformadores localizados en los postes y los consumidores finales. Se provee entre 6 y 12 líneas de baja tensión por cada centro de transformación. Los usuarios conectados por cada

línea son variables ya que esto depende de la empresa distribuidora de energía eléctrica.

1.2.2.3.4.2 Acometida

Es el enlace entre la red secundaria de distribución en baja tensión con la instalación del consumidor, mediante un contador de energía eléctrica, dependiendo del circuito secundario las acometidas pueden ser aéreas o subterráneas.

1.2.2.3.4.3 Cuadro general de protección

Parte de la instalación que contiene los elementos de protección de los diferentes circuitos de la vivienda, el interruptor de control de potencia, el interruptor diferencial y los pequeños interruptores automáticos.

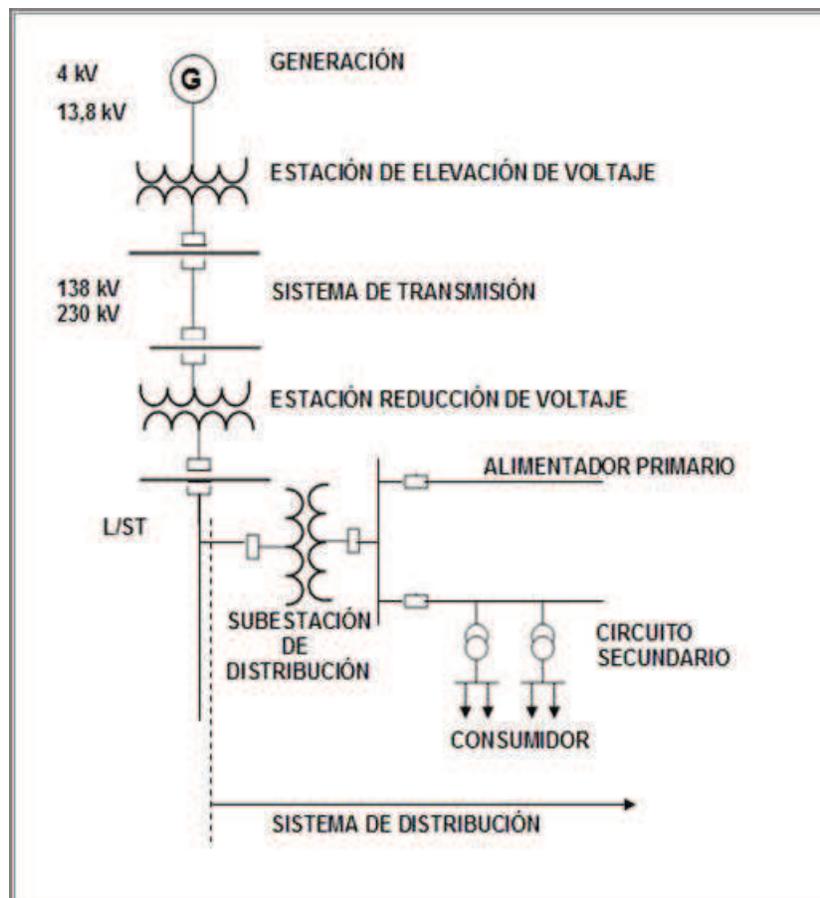


Figura 1.7: Representación del Sistema Eléctrico

1.3 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE ELEPCO S.A.

1.3.1 ÁREA DE CONCESIÓN

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. tiene a su administración el área de concesión de los cantones: Latacunga, Salcedo, Pujilí, Sigchos, Pangua y La Maná, en la provincia de Cotopaxi (3000 km²). ELEPCO S.A. no brinda servicio a la ciudad de la Maná, la cual se encuentra en el sector occidental de la Provincia, esta ciudad esta bajo la administración de la Empresa Eléctrica EMELGUR perteneciente a la provincia de Los Ríos, la que extendió su influencia a este cantón y varios de sus recintos tales como: Chipe-Hamburgo, El Toquillal, Tres Coronas, Manguila y San Pablo. Cabe indicar que la concesión del cantón La Maná se encuentra en trámite para la asignación de la totalidad de su área a la Empresa Eléctrica de Cotopaxi S.A.

La Empresa Eléctrica Ambato de igual manera que EMELGUR da servicio en el extremo sur de la provincia de Cotopaxi al sector de Cunchibamba. En el cantón Sigchos, la parroquia Palo Quemado está servida por la Empresa Eléctrica EMELGUR y la parroquia Las Pampas está servida por la Empresa Eléctrica Santo Domingo. ELEPCO S.A. paulatinamente esta extendiendo sus redes eléctricas y actualmente ha llegado a rodear las instalaciones de EMELGUR en la Maná, impidiendo su avance y de igual manera a las otras dos empresas vecinas de Ambato y Santo Domingo.

1.3.2 FUENTES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

ELEPCO S.A. posee dos fuentes de suministro de energía eléctrica:

- La Generación local.
- Los Nodos del S.N.I.² Sistema Nacional Interconectado (S/E Ambato y S/E Mulaló), que son las fuentes de mayor aporte de la energía que es consumida.

² S.N.I.: Sistema Nacional Interconectado, permite la producción y transferencia de energía eléctrica entre

1.3.2.1 Generación local

El sistema eléctrico de ELEPCO S.A. cuenta con fuentes propias de generación local de energía. Está conformada por cinco Centrales Hidráulicas, ubicadas en diferentes sectores de la provincia. La capacidad instalada disponible para la generación de energía eléctrica suma 15,25 MVA de potencia total.

Centrales hidroeléctricas de mayor aporte energético se encuentran ubicadas en la parroquia de Pusuchisí, al oriente de la ciudad de Latacunga, aproximadamente a 10 km. de distancia, y estas son:

- Illuchi No.1: 5,25 MVA
- Illuchi No.2: 6,5 MVA

Centrales hidroeléctricas de menor aporte, se encuentran en el sector occidental de la provincia y estas son:

- El Estado: 2,5 MVA, ubicada en el cantón La Maná
- Catazación: 1,0 MVA, ubicada en el cantón Pangua
- Angamarca: 0,375 MVA, ubicada en el cantón Pujilí

Angamarca tiene como particularidad la forma aislada en que opera su sistema eléctrico, respecto del resto que corresponden a ELEPCO S.A.

Central	Illuchi 1	Illuchi 2	El Estado	Catazación	Angamarca
Generación	Hidráulica	Hidráulica	Hidráulica	Hidráulica	Hidráulica
Capacidad (kVA)	5250	6500	2500	1000	375
Voltaje (V)	2400	2400	4160	440	4160
Frecuencia (Hz)	60	60	60	60	60
Fp	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Nº Grupo	4	2	2	2	2
Año servicio	1951	1979	1986	1991	1994

Tabla 1.2: Centrales de Generación Local

1.3.2.2 Nodos del S.N.I

ELEPCO S.A. posee dos nodos de interconexión con el Sistema Nacional Interconectado, para provisión de potencia y energía del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Estos se encuentran en las subestaciones de Ambato y Mulaló. El primero está ubicado en la S/E Mulaló. Este es el de mayor importancia debido a la cantidad de energía que fluye la cual es el 62.7% de la energía eléctrica disponible en la provincia. Esta subestación se interconecta a la línea de transmisión Pucará-Santa Rosa a 138 kV y cuenta con un transformador LTC de 50/63 MVA, que reduce el voltaje de 138 kV a 69 kV.

El segundo nodo está en la S/E Ambato que dota solamente de energía al cantón Salcedo, a la fábrica Fairis y a la planta Holcim por medio de la L/T Ambato-Salcedo de 69 kV. Esta subestación se interconecta con las líneas de transmisión de Pisayambo-Totorasa 138 kV del S.N.I. y cuenta con un transformador de 33/44 MVA, que reduce el voltaje de 138 kV a 69 kV.

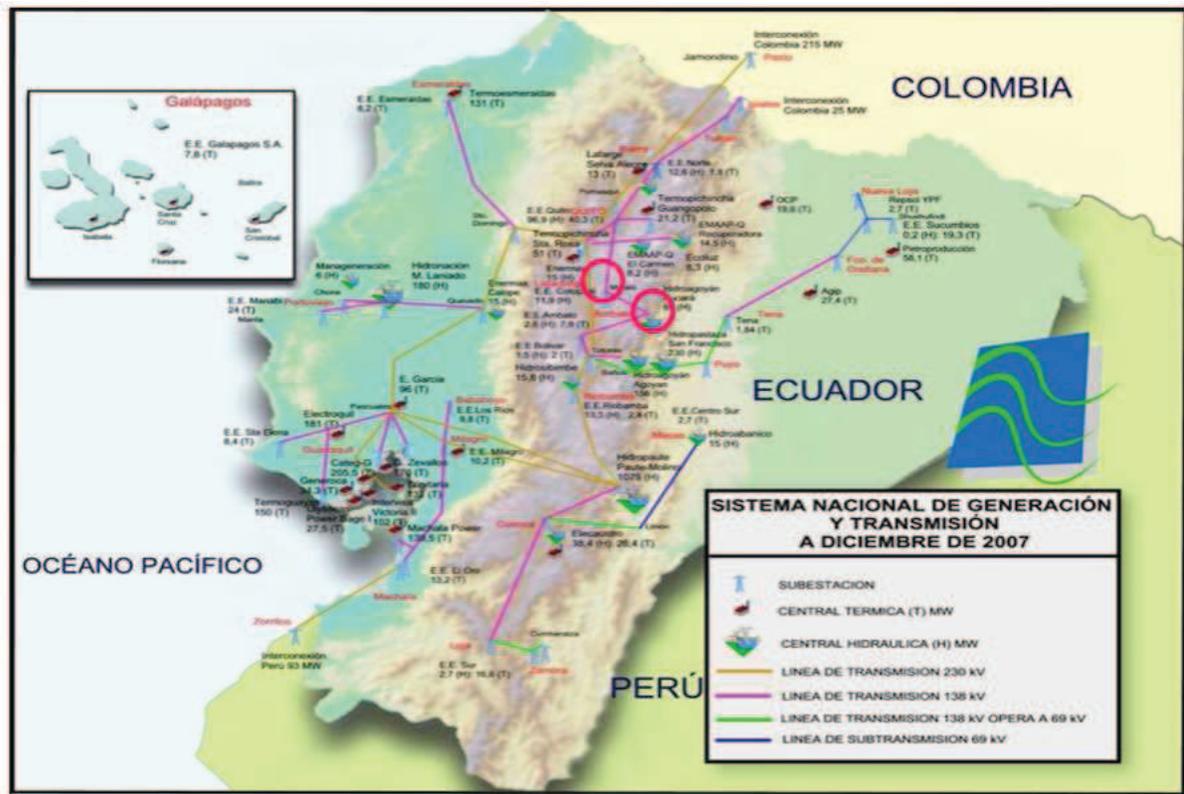


Figura 1.8: Nodos de interconexión con el S.N.I. S/E de Ambato y Mulaló

1.3.3 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Conecta el lugar físico donde se localizan las centrales generadoras que posee ELEPCO S.A. con los lugares en que se transforma la electricidad. Así la electricidad se transporta al mercado consumidor por medio de transformadores y líneas de alta tensión. Los principales componentes de una línea son las estructuras o torres, de las cuales penden aisladores que soportan a los conductores.

1.3.4 SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN

Las líneas que enlazan las subestaciones de ELEPCO S.A. tanto de distribución como de generación, se denomina Sistema de Subtransmisión y está conformado por 212 km. de longitud, de los cuales 103 km. operan a 13,8 kV, 100 km. operan a 69 kV y 9 km. operan a 22 kV. Por la cantidad de potencia que transmiten y las cargas que abastecen, las líneas más importantes son todas las de 69 kV, la línea

Illuchi 1 y El Calvario de 22 kV y las líneas San Rafael - El Estado y La Cocha - El Calvario de 13,8 kV.

No.	Barra i	Barra j	Voltaje nominal kV	No. De Circuitos	Long. Km.	Tipo de conductor	Capacidad MVA
1	Ambato	Salcedo	69	1	28	300 MCM	58,56
2	Salcedo	San Juan	69	1	5,79	300 MCM	
3	San Juan	Rocacem	69	1	0,8	3/0	
4	San Juan	San Rafael	69	1	1,21	300 MCM	58,56
5	San Rafael	El Calvario	13,8	1	2	3/0	7,14
6	San Rafael	El Estado	13,8	1	72,1	3/0	7,17
7	El Estado	Puembo	13,8	1	21,2	3/0	7,17
8	Illuchi1	El Calvario	22	1	9	2 - Cu	8,76
9	Illuchi2	El Calvario	13,8	1	7,65	477 MCM	16,01
10	San Rafael	Laigua	69	1	9	266,8 MCM	54,98
11	Laigua	La Cocha	69	1	6	266,8 MCM	54,98
12	Laigua	Mulaló	69	1	9	266,8 MCM	54,98
13	Mulaló	Lasso	69	1	6,5	266,8 MCM	54,98
14	Lasso	Sigchos	69	1	33,87	266,8 MCM	54,98

Tabla 1.3: Líneas de Subtransmisión

1.3.5 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

1.3.5.1 Sistema de distribución primario

Consta de 2700 km. de redes, tiene 28 alimentadores primarios, es exclusivamente de tipo radial a un nivel de voltaje de 13,8 kV. En los centros históricos de las ciudades de Latacunga y Pujilí se encuentran instaladas líneas subterráneas y redes de distribución áreas de media tensión.

1.3.5.2 Sistema de distribución secundario

Aquí opera el voltaje secundario o de usuario, es la sección de la red secundaria comprendida entre el centro de transformación y el extremo más alejado de la

misma, recibe la alimentación del transformador de distribución correspondiente. Los voltaje de uso son 110/120 V o 220/240 V.

Las tensiones de suministro son las siguientes:

- Monofásicos bifilar a 120 Voltios 5% mediante acometida de dos conductores conectados a fase y neutro.
- Monofásicos trifilar a 110/120 Voltios 5% o 120/240 Voltios 5% o tomado de un sistema trifásico a 208/120 Voltios 5%.
- Trifásico a 120/208 Voltios 5% mediante acometida de cuatro conductores conectados a las tres fases y el neutro.

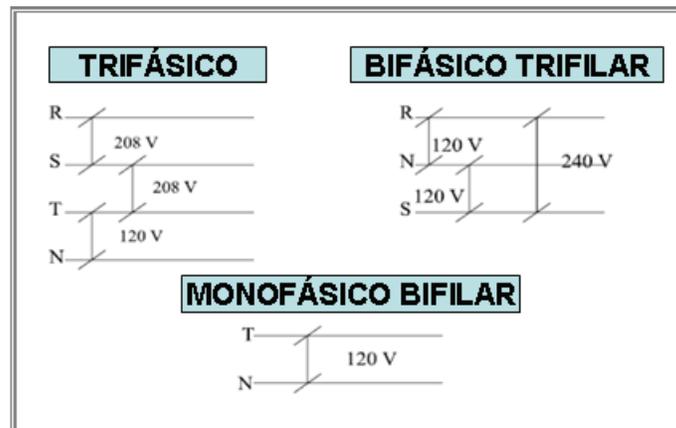


Figura 1.9: Red de distribución, tensiones de suministro

1.3.6 SUBESTACIONES

Las Subestaciones de distribución de ELEPCO S.A. cuentan con 74,25 MVA de capacidad instalada y las Subestaciones de elevación en las centrales de generación cuentan con 15,62 MVA.

En la provincia de Cotopaxi existen las siguientes Subestaciones:

SUBESTACIÓN	VOLTAJE (kV)	CONEXIÓN	CAPACIDAD (MVA)
S/E SALCEDO	69/13,8	Dy1	10/12,5
S/E SAN RAFAEL	69/13,8	Dy1	10/13
S/E EL CALVARIO T1	22/13,8	Dy1t	4/5,2
ILLUCHI 1	2,4/22	Dy	3x 1,75
ILLUCHI2	2,4/13,8 – 69/13,8	Yd5	6,5
S/E LA COCHA	69/13,8	Dy1	10/12,5
S/E LASSO T1	69/13,8	Dy1	10/12,5
S/E LASSO T2	69/13,8	Dy1	20
S/E MULALO	69/13,8	Dy1	10/12,5
S/E SIGCHOS	4,16/13,8	Dy1	2,5
S/E EL ESTADO	0,44/13,8	Ynd11	2,5
S/E CATAZACON	4,16/13,8	Ynd11	1,0
S/E ANGAMARCA			0,375

Tabla 1.4: Subestaciones de ELEPCO S.A.

Las S/Es elevan y bajan el nivel de voltaje para ser utilizado en la transmisión de energía, antes que llegue a los consumidores se debe producir una nueva transformación, por lo que se emplean transformadores, que constituyen nodos de la red eléctrica. En ellas se ubican los transformadores encargados de efectuar la reducción de alta tensión (entre 230 kV y 138 kV) a media tensión (entre 23 kV y 13.8 kV). Las subestaciones contienen los equipos que permiten conectar o desconectar elementos, así como los equipos de control, protección y medida.

1.3.6.1 Equipos de una Subestación

- Seccionador tripolar y de puesta a tierra
- Disyuntores (S10, S30, S40, S50, S60)
- Transformador 2 devanados conexión en triángulo 20/26.7/33 MVA
- Fases ABC, 6 cables 2 por fase cobre aislado, conductores de aluminio
- Entrada aérea , Salida Subterránea
- Alimentadores primarios de distribución (A, B, C, D, F)

- Banco de capacitores de 3 MVAR y 4,5 MVAR
- Tablero de comando y equipo de medición, sistema de control a través del cual es posible conocer los niveles de voltaje que ingresan a la subestación a través de las líneas de alimentación de alto voltaje y la potencia consumida por los usuarios de la red.



Figura 1.10: Tablero de Control de la Subestación El Calvario.

1.3.6.2 Datos de los Transformadores instalados en las Subestaciones

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Capacidades Nominales en MVA (Potencia del transformador)	10 / 13 MVA
Tensiones en el Primario (Kilo-Voltios)	69 kV
Tensiones en el Secundario (Kilo-Voltios)	13,8 kV
Frecuencia Nominal(Hz)	60 Hz
Impedancia (%)	6.87
Ventilación	Normal y Forzada

Tabla 1.5: Datos del transformador de la S/E El Calvario

Lista de Transformadores Eléctricos en Subestaciones de ELEPCO S.A.									
Nº	EE's	UBICACIÓN	KV	MVA	MARCA	Nº SERIE	Litros/placa	Año	Origen
1	ELEPCO S.A.	Illuchi 1 (T3)	2.4/22	1,75	BBC	B601506	2082	1949	SUIZA
1	ELEPCO S.A.	Illuchi 1 (T2)	2.4/22	1,75	BBC	B89424	2082	1949	SUIZA
1	ELEPCO S.A.	Illuchi 2	2.4/13.8	6,5	BBC	HST16011-1-1	2015	1979	SUIZA
1	ELEPCO S.A.	San Rafael	69/13.8	10/12.5	FEDERAL PIONNER	63987	58668	1974	CANADA
1	ELEPCO S.A.	El Calvario	23/13.8	4/5.2	FEDERAL PIONNER	63988	25095	1974	CANADA
1	ELEPCO S.A.	Mulaló	69/13.8	10/12.5	mitsubishi	8771710101	5200	1987	JAPON
1	ELEPCO S.A.	Salcedo (T1)	69/13.8	5	mitsubishi	8771740101	3200	1987	JAPON
1	ELEPCO S.A.	Lasso (T1)	69/13.8	10/12.5	mitsubishi	88176001,03	5200	1998	JAPON
1	ELEPCO S.A.	Salcedo (T2)	69/13.8	12,5	PAUWELS	93.2.4016	5300	1994	BELGICA
1	ELEPCO S.A.	Lasso (T2)	69/13.8	20	PAUWELS	97.2.4217	2773	1998	BELGICA
1	ELEPCO S.A.	La Cocha	69/13.8	10/12.5	PAUWELS	99.2.408.0	2409	1999	BELGICA
1	ELEPCO S.A.	El Estado	4.16/13.8					1986	
1	ELEPCO S.A.	Catazación	0.44/13.8					1986	
1	ELEPCO S.A.	Angamarca	0.44/13.8					1989	
1	ELEPCO S.A.	Sigchos							

Tabla 1.6: Transformadores Eléctricos en Subestaciones de ELEPCO S.A. ^[3]

1.3.6.3 Número de transformadores de ELEPCO S.A.

El sistema de transformadores de distribución actualmente se compone de 4451 transformadores monofásicos y trifásicos, con la capacidad de 103,83 MVA, con lo que se cubre las necesidades de energía a bajo voltaje de los usuarios.



Figura 1.11: Tipos de Transformadores de ELEPCO S.A.

^[3] http://www.ambiente.gov.ec/paginas_espanol/5cooperacion/proyectos_ejecucion/gef/cuadro%201_resultados.htm

1.3.6.4 Alumbrado público

La empresa eléctrica ELEPCO S.A. posee 16.177 luminarias, que consumen una potencia de 2.488 kW.

1.3.6.5 Número de habitantes que se conectan al sistema eléctrico de ELEPCO S.A.

El número total de habitantes en la provincia de Cotopaxi es de 402,877 habitantes, de acuerdo a datos obtenidos en el INEC.

El número de usuarios que tienen servicio eléctrico proporcionado por ELEPCO S.A. es de 389,784 habitantes que representan el 96.75% de la población total de Cotopaxi.

1.4 PERTURBACIONES PRODUCIDAS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

En la actualidad el aumento de equipos electrónicos modernos en todo tipo de aplicaciones como (computadores, impresoras, fotocopiadoras, UPS, motores etc.), han aumentado las cargas no lineales en los sistemas eléctricos. A diferencia de los equipos que presentan cargas lineales esto es de tipo resistivo, capacitivo e inductivo, como (iluminación, calefactores eléctricos), los equipos electrónicos requieren de una energía de mayor eficiencia llamada “Modo de interrupción”, que funciona a manera de pulsaciones, que no tiene forma de onda sinusoidal en la corriente. Estos equipos necesitan de un dispositivo que convierte la corriente alterna en corriente continua. Aproximadamente el 50% de la energía eléctrica pasa por este tipo de dispositivos antes de ser aprovechada finalmente. No obstante estos dispositivos tiene efectos secundarios que provocan anomalías en la transmisión de las señales a través del cableado eléctrico ya sea para señales eléctricas como de comunicaciones.

1.4.1 PERTURBACIONES INTERNAS

Se pueden producir en la estructura física de un sistema eléctrico, son provocadas por cargas denominadas No Lineales ejemplo: descargas eléctricas, conmutación de cargas, fallas en los sistemas de potencia, afectando en grandes proporciones el funcionamiento óptimo de la misma. La acción de estas perturbaciones es impredecible en algunos casos y pueden presentarse en periodos cortos o de larga duración.

Las perturbaciones que con mayor frecuencia afectan a la red son: Perturbación conducida, variaciones de frecuencia, variaciones de tensión, variaciones rápidas de tensión, transitorios (picos y depresiones), interrupciones cortas, microcorte, flicker⁴, armónicos, desequilibrio de tensión.

Los parámetros que se ven afectados son:

➤ ***Frecuencia***

La energía viaja como ondas senoidales de 60 ciclos por segundo; es decir su frecuencia es de 60 Hz. Se presentan anomalías cuando existe alguna variación en esta frecuencia nominal.

➤ ***Forma de onda***

La forma de onda que deben recibir los equipos debe ser lo más senoidal posible, cualquier variación en esta señal puede presentar al igual que la no-regulación de voltaje y de frecuencia, daños significativos a los equipos.

➤ ***Amplitud***

Cuando una onda senoidal de voltaje y/o corriente cambia su amplitud máxima hacia otro valor diferente del normal, manteniendo la frecuencia del sistema de potencia que es de 60 Hz.

⁴*Flicker* : Consiste en variaciones periódicas de amplitud o frecuencia en la forma de onda de la tensión

1.4.1.1 Variación de voltaje

Es uno de los principales problemas que afecta la calidad de la energía eléctrica. Las fuentes comunes de estas variaciones son los rayos, operación de dispositivos de interrupción de los sistemas eléctricos, conexiones flojas o fallas intermitentes. El medio al que presta servicio la empresa eléctrica de distribución ELEPCO S.A. es un medio comercial y es frecuente que se produzcan variaciones significativas de voltaje, originadas por el constante encendido y apagado de equipos, especialmente si estos equipos son grandes (zona Industrial), sumado a que la distribución de la energía eléctrica se hace complejamente por una maraña de diferentes subestaciones que a su vez se encargan de continuar la transmisión y distribución por medio de las redes eléctricas y los transformadores, para finalmente entregar la energía a cualquier toma eléctrica. Las variaciones de voltaje pueden ser divididas dependiendo de su tiempo de duración.

1.4.1.1.1 Variaciones de corta duración

Las variaciones de voltaje de corta duración, de origen transitorio (huecos y picos de tensión e impulsos) se generan como consecuencia de los cambios en la operación eléctrica, conexión de artefactos eléctricos, descargas eléctricas de origen atmosférico, éstas pueden ser minimizadas pero no eliminadas.

Según su duración se clasifican en: instantáneas, momentáneas o temporales.

Según su comportamiento se clasifican en:

➤ *Sags (Caídas de tensión o de intensidad de corta duración)*

Son decrementos en el valor RMS del voltaje o corriente que ocurren a la frecuencia fundamental con magnitudes entre el 10% y el 90% del valor nominal que duran de 0.5 ciclos a 1 minuto. Son usualmente provocados cuando cargas pesadas tales como motores son puestos en operación. Estas cargas tienen corrientes de arranque de seis a diez veces su corriente nominal por lo que llegan a afectar la señal de voltaje.

➤ ***Sweel (Sobrevoltaje o corriente de corta duración)***

Se presenta como un incremento temporal en el valor RMS del voltaje de más del 10% del valor nominal que ocurre a la frecuencia fundamental con duración de 0.5 ciclos a 1 minuto. Estos fenómenos son asociados con condiciones de falla del sistema.

➤ ***Interrupciones de corta duración***

Ocurre cuando la fuente de voltaje o la corriente de carga decrecen a menos del 10% por un periodo de tiempo no mayor a 1 minuto. Estas interrupciones pueden ser el resultado de fallas en el sistema de potencia, mal funcionamiento del equipo y en el control.

1.4.1.1.2 Variaciones de larga duración

Son aquellas variaciones RMS, que a la frecuencia fundamental del sistema, duran más de un minuto, se clasifican en:

➤ ***Bajo voltaje***

Es el decremento en el voltaje RMS en la forma de onda AC que ocurren a la frecuencia fundamental y donde el tiempo de duración es mayor a unos cuantos segundos. Normalmente se habla de un bajo voltaje cuando se tienen valores menores al 10% del valor nominal.

➤ ***Sobrevoltaje***

Son perturbaciones transitorias de alto voltaje con Voltaje RMS de 20.000 Voltios donde el tiempo de duración es mayor a un minuto en la forma de onda AC que ocurren a la frecuencia fundamental. Normalmente se habla de un sobrevoltaje cuando se tienen valores de al menos 10% arriba del valor nominal, se originan por descargas atmosféricas (rayos), cambio de operaciones en las Subestaciones, fallos de electricidad, entrada súbita de energía y por descargas estáticas. Los problemas que pueden generar los sobrevoltaje son: pérdida de memoria, algunas veces irrecuperables, errores

y pérdidas de datos, sobrecarga de componentes y en el peor de los casos accidentes humanos si no se cuenta con un adecuado sistema de puesta a tierra en las instalaciones eléctricas.

➤ *Interrupciones sostenidas*

Se producen cuando la fuente de voltaje de alimentación llega a cero por un periodo de tiempo que excede el minuto. Estas interrupciones son a menudo permanentes y se requiere de la intervención de un operario para restablecer el servicio.

1.4.1.1.3 Causas de la variación de voltaje

Los aparatos de alto consumo eléctrico, como elevadores, aires acondicionados y refrigeradores y la mayoría de los equipos eléctricos utilizan potencia activa o eficaz que realiza el trabajo útil y utilizan también la potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, mas es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia

Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores.
- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.
- Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria

Cuando los motores inician su operación crean variaciones en el flujo eléctrico de la instalación local, que pueden no tener un efecto inmediato como sucede con las tormentas eléctricas, pero con el paso del tiempo van degradando la precisión de los componentes eléctricos y electrónicos generando instalaciones defectuosas o improvisadas.

Descripciones específicas sobre las causas de la variación de voltaje:

➤ *Factor de potencia*

Factor de Potencia es el nombre dado a la relación entre la potencia activa (kW) usada en un sistema y la potencia aparente (kVA) que se obtiene de las líneas de alimentación, o dicho de otro modo, el coseno del ángulo formado por el desfase de la corriente con respecto al voltaje aplicado.

Las potencias activa, reactiva y aparente forman el triángulo de potencias. La potencia que se usa realmente es la Potencia Activa (P). La potencia reactiva (Q) es la ineficiencia eléctrica y tiene un costo adicional que se refleja en las planillas eléctricas mensuales. El ángulo formado en el triángulo de potencias por P y S equivale al desfase entre la corriente y la tensión y es el mismo ángulo de la impedancia; por lo tanto el $\cos\phi$ depende directamente del desfase.

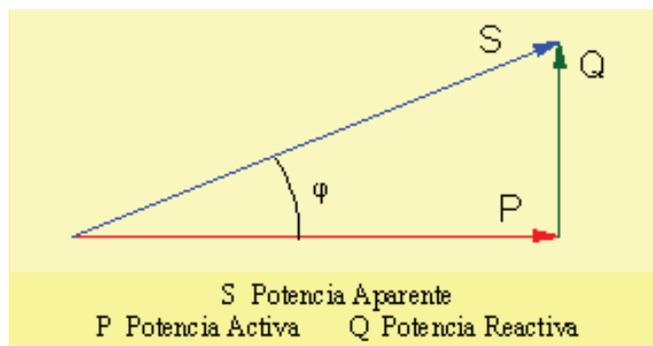


Figura 1.12: Triangulo de Potencia

El factor de potencia es la eficiencia con la que los equipos eléctricos están haciendo uso de la energía que requieren para operar, un elevado factor de potencia supone un mejor aprovechamiento de la energía.

El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.



Figura 1.13: Rango del Factor de potencia

Cargas puramente resistivas tales como lámparas incandescentes, planchas, termos y estufas eléctricas, toda la energía que requieren para su funcionamiento se transforma en energía lumínica o energía calórica, en estos casos el Factor de Potencia toma valor 1 (100 % energía activa).

En otros como lavarropas, neveras, aire acondicionado, ventiladores y todos aquellos que poseen un motor para su funcionamiento, como también los tubos fluorescentes, una parte de la energía se transforma en energía mecánica, frío, luz o movimiento (energía activa), y la parte restante requiere otro tipo de energía, llamada energía reactiva, que es necesaria para su propio funcionamiento. En estos casos, el Factor de Potencia toma valores menores a 1.

Cos φ	Potencia disponible %
1	100
0,8	90
0,6	80
0,4	60

Tabla 1.7: Relación del fp y la potencia disponible

En caso de que el Factor de Potencia sea inferior a **0,95**, implica que los artefactos tienen elevados consumos de energía reactiva respecto a la energía activa, produciéndose una circulación excesiva de corriente eléctrica en sus instalaciones y en las redes de la Empresa Distribuidora, mayor consumo de corriente, aumenta la potencia aparente para igual potencia activa utilizada. La potencia aparente es tanto mayor cuanto más bajo sea el Factor de Potencia, lo que origina una mayor dimensión de los generadores de energía eléctrica de las empresas suministradoras, así como mayores pérdidas de energía por la transmisión de dicha energía lo que genera un mayor costo tanto de los recursos de la empresa suministradora como de la empresa que utiliza esta energía.

El hecho de que exista un bajo factor de potencia en la industria produce los siguientes inconvenientes:

Al Cliente:

1. Multas y Recargos en las facturas por bajo factor de potencia.
2. Aumento de la intensidad de corriente
3. Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión
4. Incrementos de potencia de las plantas, transformadores, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores
5. La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.

A la empresa distribuidora de energía:

1. Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor, para poder entregar esa energía reactiva adicional.
2. Mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución así como en transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.
3. Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje, lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.

➤ *Beneficios de la compensación de Energía Reactiva:*

La energía reactiva generalmente está asociada a los campos magnéticos internos de los motores y transformadores. Se mide en KVAR. Esta energía provoca sobrecarga en las líneas transformadoras y generadoras, sin producir un trabajo útil, es necesario neutralizarla o compensarla.

Los excesivos consumos de energía reactiva pueden ser compensados con el uso de condensadores, estos elementos eléctricos generan energía reactiva de sentido inverso a la consumida en la instalación, elevando el Factor de Potencia por sobre los valores exigidos, lo que hace que el funcionamiento del sistema sea más eficaz y, por lo tanto, requiera menos corriente en la línea. La aplicación de éstos neutraliza el efecto de las pérdidas por campos magnéticos. Al instalar condensadores se reduce el consumo total de energía (activa + reactiva), obteniéndose varias ventajas.

La compensación de energía reactiva tiene los siguientes beneficios:

- Elimina la facturación de energía reactiva en los recibos de la suministradora.
- Reduce las caídas de tensión.
- Reduce las pérdidas por efecto Joule.
- Protege la vida útil de sus instalaciones.

Aparato			cos φ	tg φ
Motor asíncrono	carga a	0%	0,17	5,80
		25%	0,55	1,52
		50%	0,73	0,94
		75%	0,80	0,75
		100%	0,85	0,62
Lámparas incandescentes			1	0
Tubos fluorescentes no compensados			0,5	1,73
Tubos fluorescentes compensados			0,93	0,39
Lámparas de descarga			0,4 a 0,6	2,29 a 1,33
Hornos a resistencias			1	0
Hornos a inducción con compensación incorporada			0,85	0,62
Hornos a calentamiento dieléctrico			0,85	0,62
Hornos de arco			0,8	0,75
Máquinas de soldar a resistencia			0,8 a 0,9	0,75 a 0,48
Electrodos monofásicos, estáticos de soldadura al arco			0,5	1,73
Electrodos rotativos de soldadura al arco			0,7 a 0,9	1,02 a 0,48
Transformadores-rectificadores de soldadura al arco			0,7 a 0,9	1,02 a 0,75

Tabla 1.8: Factor de potencia de algunos aparatos eléctricos

- **Cálculo del consumo**

Ejemplo del cálculo del consumo de un motor:

P.- Potencia en vatios (W) watt

V.- Voltaje o tensión aplicado en voltios (V)

I.- Valor de la corriente en amperios (A)

1 HP = 0,736 KW

Cos φ = factor de potencia (menor que "1")

Si queremos conocer la potencia que desarrolla un motor eléctrico monofásico, cuyo consumo de corriente es de 10,4 amperios (A), posee un factor de potencia o $\text{Cos} = 0,96$ y está conectado a una red eléctrica de corriente alterna también monofásica, de 110 voltios (V), tendremos:

$$P_{\text{activa}} = W = V \times I \times \text{Cos } \varphi$$

$$P_{\text{activa}} = 110 \times 10,4 \times 0,96 = 1.098,24 \text{ V} = 1,1 \text{ KW}$$

Ejemplo:

Para obtener el rendimiento de un motor de 2 HP P_A , si su consumo instantáneo puntual P_S , es de 1.7 KW.

$$\frac{2 \times 0,736}{1.7} \times 100 = 86,5 \%$$

Su rendimiento o factor de potencia es de 86,5%

Si el consumo en treinta días de un hogar fue 270 kWh, y su potencia media del mes se determina por: $270 \text{ kWh} / (30 \text{ días} \times 24 \text{ horas}) = 0,375 \text{ kW}$, o sea, 375 W. Este valor tiene que ser menor que la suma de las potencias de todos sus equipos eléctricos (que es su potencia instalada), pues no todos ellos están conectados simultáneamente las 24 horas del día, los treinta días del mes.

EJEMPLO DE CALCULO DEL COSUMO A NIVEL INDUSTRIAL												
	Tipo de Carga	# Cargas	Potencia Activa (Hp)	Potencia Activa (Kw)	Potencia Activa total	Factor de Demanda	Potencia Reactiva	Potencia aparente	Factor de Potencia	Consumo de Potencia Mensual kW	Costo kWh 0,089	Costo kWh
Cargas	Planchas	1		1,00	1,00	0,2	0,00	1,00	1,00	6,00		0,534
	Licuadoras	1		0,40	0,40	0,2	0,00	0,40	1,00	2,40		0,2136
	Refrigeradoras	1		0,75	0,75	1	0,00	0,75	1,00	22,38		1,99182
	Cafeteras	1		0,50	0,50	0,4	0,00	0,50	1,00	6,00		0,534
Iluminación	Lamparas Inca	10		0,20	2,00	0,8	0,00	2,00	1,00	48,00		4,272
	Lámparas Fluo	20		0,15	3,00	0,8	2,25	3,75	0,80	72,00		6,408
Tomas	Tomas	18		0,20	3,60	0,8	0,00	3,60	1,00	86,40		7,6896
Cargas Especiales	Motor	1	5	3730,00	3730,00	0,8	2311,65	4388,24	0,85	89520,00		7967,28
	Ventilador	1	5	3730,00	3730,00	0,6	1806,52	4144,44	0,90	67140,00		5975,46
	Ascensor	1	10	7460,00	7460,00	1	5595,00	9325,00	0,80	223800,00		19918,2
	Compresor	1	5	3730,00	3730,00	0,8	2797,50	4662,50	0,80	89520,00		7967,28
				Potencia Activa	18661,25					Costo Consumo Activo		41849,86302
				Potencia React	12512,92					Sanción Por Factor P.		4506,30
				Potencia Apare	22468,09					Pago Total		46356,16
				Fp Total mensu	0,83							

Tabla 1.9: Cálculo del consumo de varios aparatos eléctricos

➤ ***Fallas Fase –tierra***

Es el tipo de falla más común en un sistema eléctrico y produce una elevación de voltaje en las fases sanas, cuyo valor depende principalmente del grado de “puesta a tierra”. En sistemas aislados de tierra, las sobretensiones en las fases sanas pueden ser superiores a 1,73 pu. En sistemas efectivamente puestos a tierra las sobretensiones en las fases sanas llegaran a 1,4 pu. Las fugas de corriente en la red de tierra se produce debido a los defectos de aislamiento en equipos y cables, cuando un conductor eléctrico tiene problemas de aislamientos y hace contacto con una superficie extraña (pared, parte metálica etc.) se produce una filtración de la corriente hacia tierra. El voltaje filtrado aparece como corrientes en el sistema de tierra que tiene frecuencias muy altas (hasta 100 kHz.), y que no están sincronizadas con la frecuencia fundamental. Originalmente la conexión a tierra tenía un propósito de seguridad pero con la inclusión de equipo electrónico hace que esta conexión tenga que ser capaz de recibir estas corrientes. El mal funcionamiento de la conexión a tierra puede ocasionar a más de los shocks eléctricos interferencias de equipos.

➤ ***Rechazo de carga***

Son sobretensiones producidas por la pérdida súbita de carga. La generación en un sistema de energía eléctrica tiene que ser en cada instante igual a la demanda. Si en un momento dado la generación es superior a la demanda, el exceso de energía se almacena en forma de energía cinética en el rotor de los generadores, produciéndose una aceleración de los mismos que determina un aumento de la frecuencia del sistema. Por el contrario, si la demanda es superior a la generación, el déficit de energía se toma de la energía cinética de los rótores, produciéndose una disminución de su velocidad, que determina una disminución de la frecuencia. El desequilibrio entre generación y demanda puede tener su origen en variaciones de la demanda o pérdidas de generación. Por ello, la única forma de equilibrar generación y demanda es mediante la desconexión de carga.

El rechazo de carga se considera como la opción final y rápida para prevenir el acercamiento de la tensión de un sistema de potencia hacia la tensión de colapso. Es un recurso del sistema para retornar al estado normal de operación, cuando después de una falla el sistema ingresa al estado de emergencia. Cuando la tensión en las barras de tensión cae por debajo de ciertos valores críticos, se procede a desconectar la carga necesaria para restituir la tensión a valores superiores a dichos umbrales y las caídas internas del generador y del transformador desaparecen aproximando la tensión en la línea a la fuerza electromotriz interna del generador. De esta manera se aporta un margen de seguridad mínimo para que se efectúen en el sistema las acciones correctivas necesarias para que la tensión alcance los niveles operativos del estado normal. El colapso de tensión provoca la actuación de las protecciones, principalmente las de distancia, con la apertura no deseada de una o más líneas se podrían desmembrar el sistema en forma no controlada. Así mismo, estas bajas tensiones podrían producir la desconexión de los servicios auxiliares de algunas unidades de generación, agravando y deteriorando la calidad de servicio en general. Interrumpir el servicio tiene unos costes asociados muy elevados. Por una parte se deja de vender la energía que se corta (se pierde el beneficio), por otra es necesario pagar las indemnizaciones y demandas de los clientes afectados y finalmente se produce un deterioro significativo de la calidad del servicio y la imagen corporativa de la empresa suministradora.

➤ ***Resonancia y Ferro-resonancia***

Resonancia: un circuito que contiene capacitancias e inductancias lineales es excitado por una tensión a una frecuencia próxima o igual a su frecuencia natural.

Ferro-resonancia: Son efectos introducidos por la presencia de saturación en el circuito magnético de la inductancia.

➤ ***Efecto Ferranti***

Es un fenómeno en el que la tensión sostenida en el terminal receptor abierto de una línea de transmisión, es superior a la tensión en el terminal emisor, debido al efecto de la capacitancia de la línea. Este depende de: El voltaje de la línea, longitud de la línea y el grado de compensación.

➤ ***Picos de voltaje***

Un pico de voltaje es el incremento en el potencial eléctrico, más allá del nivel para el que un aparato está diseñado. Se presentan con voltajes máximos rápidos hasta de 6.000 V con una duración de 100 ms. a 8 ms., pueden generar pérdida de datos, quemado de tarjetas de circuitos. La causa más frecuente de este fenómeno son las tormentas eléctricas. Un rayo que impacte cerca de líneas de transmisión de energía puede inducir presiones de millones de voltios.

➤ ***Caídas de tensión***

Son bajas en la energía eléctrica, apagones parciales y fallos de alimentación. Los bajos voltajes y pérdidas en la alimentación, se producen en el encendido de equipos eléctricos grandes, encendido de motores grandes, o cuando se presentan arreglos en las redes o instalaciones eléctricas internas con el respectivo cambio de los conductores (cables) principales de alimentación, otra causa que puede generar este tipo de problemas es la sobrecarga de los circuitos al tener demasiados equipos conectados con el paso del tiempo, los fallos de alimentación se originan por desconectado del interruptor de circuitos, por fallo de distribución de la alimentación eléctrica y por fallos en la energía comercial.

1.4.1.1.4 Soluciones para la variación de voltaje

Cuando son conocidos los problemas de variaciones de voltaje que tiene el sistema, se pueden plantear soluciones para lo que se debe considerar el entorno eléctrico en el que se encuentra y los problemas que afectan al sistema. Una solución que se puede brindar es el uso del SAI (Sistema de Alimentación Interrumpida o UPS) que sirve para aplicaciones de baja tensión. Son equipos que tiene una concepción autónoma, permiten brindar el

suministro de energía aún cuando no exista suministro eléctrico en la red. Para ello se incorporan baterías, cargador de baterías y ondulador, la finalidad de este último, es convertir la corriente continua procedente de los acumuladores, en corriente alterna, de iguales características que la red, pero exenta de los problemas de ruido y variaciones que la afectan. Las prestaciones más generales que deben aportar dichos equipos son:

- Aislar las cargas que se alimentan de la red
- Estabilizar el voltaje y la frecuencia de salida.
- Evitar picos y efectos parásitos de la red eléctrica
- Almacenar energía en las baterías, la cual será suministrada al sistema por un periodo fijo de tiempo, cuando haya un corte de corriente. Ésta energía almacenada permitirá llevar a cabo el respaldo de la información y el cierre normal de los dispositivos que estén conectados al UPS.

Además de un buen diseño de sistema de conexión a tierra con su respectivo mantenimiento, son soluciones que pueden prevenir las variaciones de voltaje.

1.4.1.2 Fluctuaciones de voltaje o Parpadeo (Flicker)

El “Flicker” o parpadeo es el fenómeno de variación de la intensidad luminosa que afecta la visión humana, principalmente en el rango de fracciones de 0.5 Hz a 25 Hz. Este fenómeno depende de los niveles de percepción de los individuos. Sin embargo, se ha comprobado estadísticamente que la visión humana responde a una curva de respuesta de frecuencia cuya sensibilidad máxima está en 8.8 Hz, en que variaciones de 0.25% de voltaje ya producen fluctuaciones luminosas en lámparas que son perceptibles como “parpadeo”. Se produce por consumos de naturaleza esencialmente variable como hornos de arco, soldadoras de arco, laminadores siderúrgicos, partidas y paradas de grandes motores, sistemas de tracción eléctrica de c.a., compresores, bombas, grupos elevadores, etc.

Esta variación rápida de tensión de forma repetitiva, se puede observar en la *Figura 1.14*, esto produce en las lámparas un parpadeo visible y molesto, en general no produce daños en los equipos a menos que la variación sea muy pronunciada.

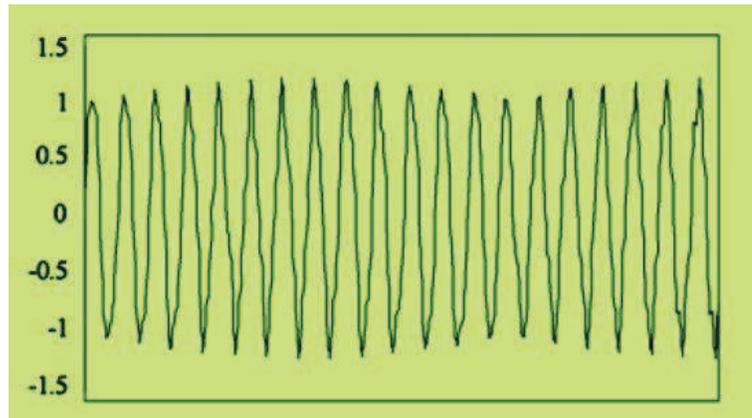


Figura 1.14: Parpadeo o Flicker

El resultado de la medida se proporciona en unidades de perceptibilidad (p.u.) estableciéndose un umbral de percepción al que se le adjudica el valor 1, de tal forma que todos los niveles de flicker superiores a 1, se consideran perceptibles, y por tanto, susceptibles de ocasionar molestias.

➤ *Índice de Calidad*

Para efectos de la evaluación de la calidad, en cuanto al flicker, se considerará el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (P_{st}), en intervalos de medición de 10 minutos; mismo que es determinado mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

Donde:

P_{st} : Índice de severidad de flicker de corta duración.

$P_{0.1}$, P_1 , P_3 , P_{10} , P_{50} : Niveles de efecto "flicker" que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del periodo de observación.

➤ **Límites**

El índice de severidad del Flicker P_{st} en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad. Se considera el límite $P_{st} = 1$ como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin molestia el ojo humano.

Se considerará que el suministro de electricidad no cumple con el límite admisible arriba señalado, en cada punto de medición, si las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido, por un tiempo superior al 5 % del período de medición.

➤ **Short-term Flicker (P_{st}):** La severidad de los flicker evaluados sobre un período corto de tiempo (10 minutos). Para 120 V 60 Hz $P_{st} =$ entre 1.2 y – 1.35 son los parámetros convencionales de irritabilidad y además su límite. El índice de severidad de parpadeo o “flicker”, será evaluado estadísticamente en intervalos consecutivos de 10 minutos durante un período de registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos, y no deberá exceder 1.00 para tensiones iguales o inferiores a 110 V ni exceder 0.79 para tensiones superiores a 110 V.

➤ **Long-term Flicker (Plt):** La severidad de evaluar los flicker en un período largo (típicamente 2 horas) usando sucesivos valores de P_{st} . $Plt = 0.65$ son los parámetros convencionales de irritabilidad y además sus límites. El índice de severidad de “flicker”, evaluado estadísticamente en intervalos consecutivos de dos horas durante un período de registro de mediciones de una semana cualquiera del año o de siete días consecutivos, no deberá exceder 0.74 para tensiones iguales o inferiores a 110 V ni exceder 0.58 para tensiones superiores a 110 V.

1.4.1.2.1 Causas

Algunos equipos eléctricos al ser conectados a la red de distribución eléctrica pueden provocar oscilaciones durante su operación normal, provocando parpadeos luminosos. Estos parpadeos son frecuentes en lugares donde existan máquinas de soldar, hornos de arco, oscilaciones de carga de motores eléctricos. La operación de estos equipos provoca la oscilación de voltaje que a su vez causa perturbaciones en el funcionamiento de las instalaciones de los consumidores ligados a una misma red, como en receptores de televisión, lámparas incandescentes ordinarias y equipos electrónicos.

1.4.1.2.2 Soluciones

Una solución económica para este tipo de perturbación sería realizar instalaciones eléctricas por separado para los equipos que produzcan flicker, como las soldadoras o motores. Se recomienda el uso de la potencia trifásica en los lugares donde el flicker aparece constantemente. Para consumidores que poseen equipos de carga variable, es recomendable abastecerlos a través de un alimentador por separado.

1.4.1.3 Armónicos

Los armónicos son señales senoidales de corrientes y/o voltajes presentes en un sistema eléctrico, con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. En sistemas con frecuencia de 60 Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y séptima (420 Hz) por ejemplo. Con el creciente uso de cargas no lineales, procedentes de la electrónica de potencia como (fuentes conmutadas, UPS, fuentes de computadora, sistemas de iluminación). La proliferación de los dispositivos de electrónica de potencia ha influido notablemente en el aumento del nivel de armónicos en las redes eléctricas, lo que ha empezado a generar problemas en las instalaciones eléctricas.

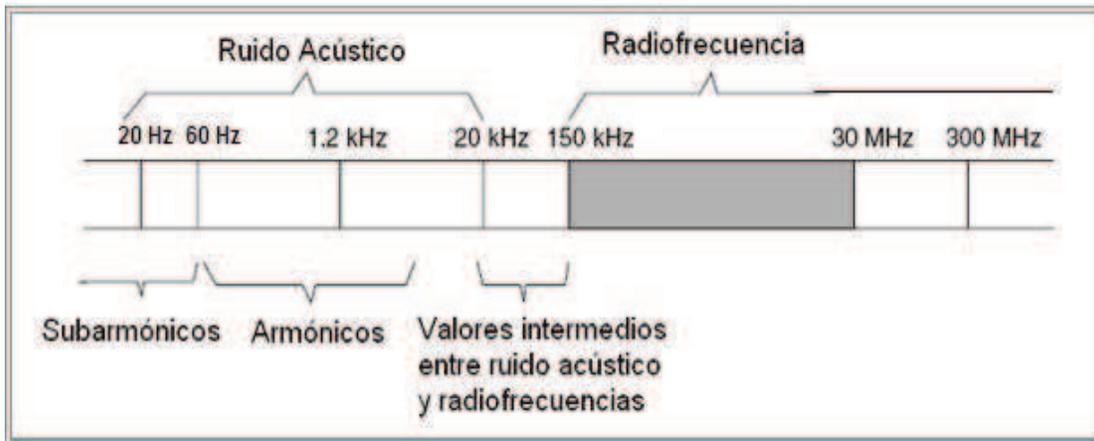


Figura 1.15: Valores de armónicos que afectan el espectro de frecuencias

Las señales armónicas se suman a la señal de frecuencia fundamental produciendo deformación en la onda senoidal de corriente o voltaje original. Los armónicos producidos por las fuentes de poder de diodo/condensador dentro de oficinas son comúnmente la causa de inyección de armónicos en los sistemas de potencia comerciales, en los sistemas de potencia industriales la mayor causa de armónicos de corriente y voltaje son las cargas trifásicas no lineales.

En la *Figura 1.16* se muestra como una onda sinusoidal fundamental es afectada por una onda armónica formando una onda distorsionada, periódica no sinusoidal.

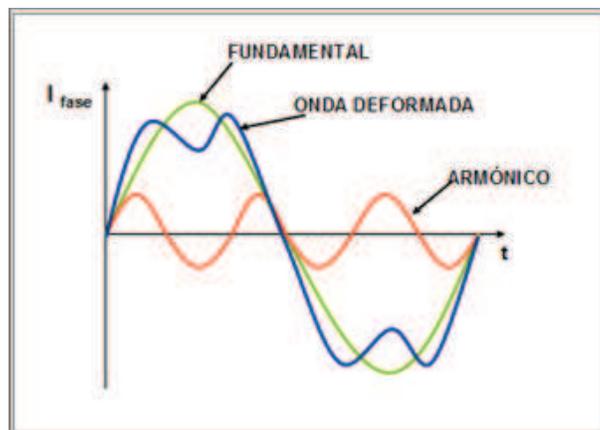


Figura 1.16: Combinación de las Ondas sinusoidales

Las fuentes que comúnmente producen distorsiones armónicas en los sistemas de distribución son:

- Saturación de transformadores
- Corrientes de energización de transformadores
- Conexiones al neutro de transformadores
- Fuerzas magnetomotrices en máquinas rotatorias de corriente alterna
- Hornos de arco eléctrico
- Lámparas fluorescentes
- Fuentes reguladas por conmutación
- Cargadores de baterías
- Compensadores estáticos de VAR's
- Variadores de frecuencia para motores

1.4.1.3.1 Problemas generados por las armónicas de corriente y voltaje

Los problemas que comúnmente se presentan son:

- Corrientes excesivas en el neutro
- Fenómenos de resonancia entre los elementos del circuito y en general una disminución en la calidad en el suministro de energía eléctrica.
- Destrucción de condensadores por sobrevoltaje
- Destrucción de cable por sobrevoltaje
- Interferencias con sistemas de comunicación
- Aumento de pérdidas en la potencia activa.
- Disminución del rendimiento de los sistemas de generación, transporte, distribución y utilización de la energía.
- Operación errática de equipo computarizado
- Sobrecalentamiento de equipo (transformadores y motores) y conductores
- Mayor consumo de energía eléctrica
- Sobrecarga en UPS sin causa aparente
- Daño en los aislamientos
- Deterioro de dieléctricos
- Disminución de la vida útil de los equipos

Las corrientes armónicas producen el efecto de proximidad el cual es causado por el flujo magnético concatenado en el ducto, debido a la cercanía de las corrientes en un cable multiconductor.

1.4.1.3.2 Interarmónicos en la red de alimentación

Son armónicos conocidos como no característicos, presentes en convertidores AC/DC los cuales están seguidos de una etapa inversora la cual genera corriente alterna a partir de corriente continua, los interarmónicos no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, estos armónicos suelen ser de pequeña magnitud, son notables en la zona cercana al quinto armónico (el 5.75° y 7.75°), entre estas se puede destacar convertidores estáticos de frecuencia, motores de inducción, dispositivos de arco tales como hornos eléctricos.

1.4.1.3.3 Solución para disminuir los armónicos

Para solucionar el problema de los armónicos, se ha implementado el uso de filtros que ofrecen caminos alternativos a la corriente armónica. Tipos de filtros usados para reducir las armónicas:

- ***Filtro pasivo:*** resulta en la combinación de capacitores, inductores y resistores (R-L-C) los cuales presentan caminos alternativos a la corriente armónica: se pueden implementar en una red tipo paralelo, conocida como filtro pasa altos, en la cual la resistencia R controla las resonancias a alta frecuencia, mientras que el inductor en paralelo reduce las pérdidas a la frecuencia de alimentación, el circuito pasa altos permite que los armónicos de baja frecuencia pasen con una pequeña atenuación, pero da una creciente atenuación a altas frecuencias, estos filtros son sintonizados o fijados a una frecuencia justo por debajo de la frecuencia armónica que esta siendo filtrada, para que presenten una baja impedancia. Su gran ventaja es la simplicidad, fiabilidad y robustez de su diseño al estar compuesto por elementos pasivos.

➤ **Filtro activo:** son producto de la electrónica de potencia que emplea semiconductores de conmutación rápida que inyectan corriente en las líneas de AC. Puede ser considerado como una fuente de corriente o de voltaje conectado junto a la carga no lineal, consiste de un inversor PWM⁵ que inyecta armónicos de la misma amplitud, pero en contrafase a los de la fuente de armónicos, eliminándolos por suma.

➤ **Otras soluciones para reducir los armónicos:**

- Uso de reactores de línea para corriente alterna.
- Realizar una nueva distribución de cargas y balance eléctrico de la instalación.
- Mayor dimensionamiento de los transformadores y cables para disminuir las perturbaciones.
- Realizar mantenimiento preventivo de la instalación eléctrica
- Separar las cargas lineales de las no lineales.

1.4.1.3.4 Efectos de los Armónicos

Los armónicos son una situación de estado estable. Los efectos producidos por las armónicas en los componentes de los sistemas eléctricos se pueden analizar tanto para circuitos particulares como para toda una red interconectada pero es difícil cuantificarlos debido a que estos dependen de varios factores.

El alimentar ciertas cargas se puede generar componentes armónicas que deforman la onda fundamental provocando efectos adversos tales como el calentamiento de motores y transformadores debido a las pérdidas inducidas por las altas frecuencias, calentamiento de bancos de capacitores, daño por falla en el equipo y operación no apropiada de interruptores (termomagnéticos y fusibles), los controles electrónicos pueden operar erráticamente particularmente cuando ellos dependen de una onda senoidal limpia para sincronización o propósitos de control.

Los efectos que pueden producir los armónicos son:

⁵ *Inversor PWM o de ancho de pulso modulado:* Permite controlar la magnitud y frecuencia de la señal de salida mediante la modulación del ancho del pulso de los interruptores del inversor, empleando esquemas que se encargan de producir voltajes AC con forma de onda seno y bajo contenido de armónicos.

➤ ***Interferencia telefónica***

La presencia de armónicos de corriente y voltaje asociados con los aparatos de conversión de potencia produce campos magnéticos y eléctricos de consideración que pueden perjudicar el funcionamiento de sistemas de comunicación en virtud de la proximidad y susceptibilidad de dichos sistemas.

➤ ***Efecto en cables y conductores***

Al circular corriente directa a través de un conductor cilíndrico se produce calentamiento como resultado de las pérdidas por efecto Joule, a medida que aumenta la frecuencia de la corriente que transporta el cable, el área efectiva por donde está circula hace que la densidad de corriente crezca hacia la periferia exterior, lo cual se refleja como un aumento en la resistencia efectiva del conductor, a este efecto se le conoce como efecto piel. Por lo tanto, la resistencia AC de un conductor es mayor que su valor DC y aumenta con la frecuencia, por ende también aumentan las pérdidas por efecto Joule. A frecuencias de 60 Hz, este efecto se puede despreciar, debido a que es considerada en la construcción de los conductores. Sin embargo con corrientes distorsionadas, las pérdidas por efecto piel son mayores:

Tamaño del conductor	Resist. AC/Resist. DC (60 Hz)	Resist. AC/Resist. DC (300 Hz)
300 MCM	1.01	1.21
450 MCM	1.02	1.35
600 MCM	1.03	1.50
750 MCM	1.04	1.60

Tabla 1.10: *Valores del Efecto piel en los conductores*

➤ ***Efectos en el equipo electrónico***

- Puede hacer que se produzcan pérdidas de datos en componentes electrónicos debido a que la tensión máxima es superior a la nominal.
- Posibilidad de amplificación de algún armónico, como consecuencia de resonancias.
- Envejecimiento del aislamiento de los componentes de la red y, consecuentemente, reducción de su duración.

1.4.1.4 Transitorios

Son utilizados para el análisis de las variaciones en los sistemas de potencia, describen un efecto de muy corta duración, usualmente es denominado con el termino “pico”. Los transitorios pueden clasificarse en dos categorías:

1.4.1.4.1 Transitorio impulsivo

Es el cambio brusco del estado estable de voltaje o corriente o de ambos con polaridad unidireccional positiva o negativa. El transitorio impulsivo se caracteriza por su tiempo de elevación y decaimiento, esto se puede conocer con el contenido espectral transitorio. Se puede considerar la caída de rayos la causa por la que se originan estos fenómenos en los sistemas de potencia. Los transitorios impulsivos pueden afectar la frecuencia normal de los circuitos de sistemas de potencia dando lugar a los transitorios oscilatorios.

1.4.1.4.2 Transitorio oscilatorio

Se conoce al cambio inesperado del estado estable de voltaje o corriente o ambos con un cambio rápido del valor de la polaridad que incluye valores positivos y negativos. Los transitorios oscilatorios se clasifican para alta, media y baja frecuencia.

- Son considerados como transitorios de alta frecuencia a los valores mayores a 500 kHz. en comparación de la frecuencia fundamental con una duración de algunos microsegundos.
- Para un transitorio de mediana frecuencia con una componente fundamental entre 5KHz a 500KHz. con una duración de decenas de microsegundos.
- Para un transitorio de baja frecuencia se considera valores menores de 5KHz con duración desde 0.3ms a 50ms.

1.4.2 PERTURBACIONES EXTERNAS

Las líneas eléctricas se ven afectadas por condiciones ambientales que pueden llegar a causar grandes interferencias o destruirlas Ej. Descargas atmosféricas, lluvia, viento, contaminación etc. La frecuencia o la forma de onda se pueden ver afectada por inconvenientes no deseados. Estos pueden ocasionarse por ruido en la línea eléctrica, interferencia de radiofrecuencia (RFI) e interferencia electromagnética (EMI), estos disturbios se pueden presentar a la puesta en marcha de motores eléctricos, relés, dispositivos controlados por motor, radioemisiones, radiación de microondas, sistemas de encendido, fallos de arco, tormentas eléctricas.

1.4.2.1 Ruido

Se define como señales eléctricas indeseables que producen efectos negativos en equipo electrónico sensible. Su contenido espectral es de un ancho de banda menor a 200 kHz., se encuentra superpuesto sobre la señal de voltaje en sistemas de potencia o en la corriente de los conductores de fase. Para voltaje existen dos tipos, modo normal o transversal, que es entre línea y línea ó línea y neutro y modo común. También puede encontrarse presente en los conductores neutros o en líneas de referencia. El ruido eléctrico se produce en sistemas de potencia debido a la operación normal de dispositivos electrónicos, circuitos de control, equipo con formación de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes de energía switchables. El ruido puede presentarse de forma aleatoria, como en el caso de corto circuitos, conmutación de relés o descargas atmosféricas, o de forma periódica y repetitiva en el caso de la conmutación de convertidores estáticos. En ambientes industriales y domésticos, en la banda de 100 kHz. a 300 MHz, la energía afectada por este tipo de fenómeno crece de forma alarmante. Esto ocasiona "Contaminación electromagnética" y compromete seriamente el buen funcionamiento de equipos de radio, televisión, comunicaciones, proceso de datos, control industrial etc.

1.4.2.1.1 Ruido eléctrico

Es generado por señales de alta frecuencia que se superponen a la onda fundamental de voltaje e incluso puede producirse por conexiones defectuosas, provocando mal funcionamiento y una degradación importante en los componentes electrónicos de los equipos de la red. Puede ser solucionado con un regulador de voltaje que garantice el filtraje apropiado, proporcionando un alto rechazo al ruido proveniente de la línea de alimentación eléctrica comercial. Esto lo hace excepcionalmente adecuado en lugares donde la línea está contaminada por perturbaciones atmosféricas o por ruido eléctrico generado por cargas como: motores, hornos eléctricos, etcétera.

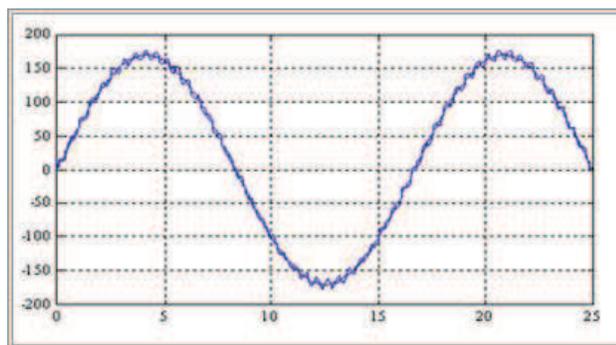


Figura 1.17: Señal de voltaje con presencia de señales de ruido de alta frecuencia

1.4.2.1.2 Ruido Síncrono

Se denomina así debido a que esta en sincronía con la frecuencia fundamental (60Hz). Es causado por los rectificadores controlados de silicio (SCR), el cual conmuta cuando la tensión cruza un cierto valor. Este ruido es considerado como un fenómeno que no ocurre regularmente, pero una vez que sucede puede durar muchas horas.

1.4.2.1.3 Ruido Asíncrono

Este ruido no tiene relación con la frecuencia fundamental (60 Hz) o armónicos superiores. La fuente de este tipo de ruido son los monitores de televisión y los de computadores. Una característica de este ruido es que ellos ocurren a frecuencias conocidas, como por ejemplo los sistemas de televisión (PAL)⁶ a la frecuencia 15625 Hz y armónicos superiores.

1.4.2.1.4 Ruido de fondo

Este ruido está siempre presente y generalmente está dado por un espectro plano. Es de naturaleza estocástica⁷ y tiene una densidad espectral de energía relativamente baja que decrece a medida que aumenta la frecuencia. Se puede considerar estacionario. Este tipo de ruido se presenta en cualquier toma eléctrica y es originado por los transformadores de distribución, el sistema público de alumbrado, etc.

1.4.2.1.5 Ruido de banda angosta

Es aquel que en el dominio de la frecuencia está caracterizado por un espectro muy reducido. Cuando se presenta valores de amplitud de forma aguda esto indica interferencia de banda angosta. Ocurren en un rango de frecuencia limitado, pero con valores de densidad de potencia altos. Su impacto en el sistema depende fundamentalmente de la frecuencia en la que está centrado. Esta interferencia por debajo de los 150 kHz, puede ser originada por los cambios de fuentes de alimentación, lámparas fluorescentes, convertidores de frecuencia, aparatos de televisión o monitores. En frecuencias mayores la interferencia puede ser también por estaciones de radio.

1.4.2.1.6 Ruido Impulsivo

Es caracterizado por picos de voltaje de diversas frecuencias y amplitudes que saturan cualquier receptor durante periodos de corta duración entre 10 µseg y 100 µseg, que son virtualmente imposibles de filtrar. Generalmente se encuentra en el rango de 50 kHz a 200 kHz. Pueden alcanzar una amplitud mayor a 2 kV. El ruido impulsivo aparece como un acontecimiento único y es

⁶ PAL: línea alternada en fase, hace referencia al modo en que la información (color) de la señal de vídeo es transmitida, siendo invertida en fase en cada línea, permitiendo la corrección automática de los posibles errores en fase al cancelarse entre sí.

⁷ Estocástica: Se denomina estocástico aquel sistema que funciona, sobre todo, por el azar, o coincidencia.

causado por todas las operaciones de conmutación, tales como los cierres de contactos, encendido o apagado de cargas conectadas a la línea, causando un espectro de amplitudes decrecientes inversamente proporcionales a la frecuencia. Estos eventos se pueden observar hasta frecuencias muy altas. Dependiendo de la duración de la interferencia, uno o más bits pueden ser corrompidos lo que puede incidir en la transmisión de los datos.

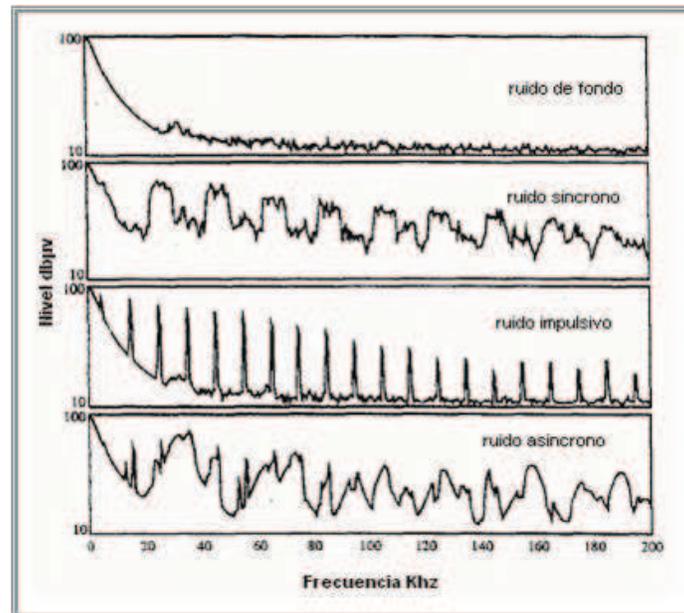


Figura 1.18: Tipos de ruidos presentes en la Red eléctrica

1.4.2.2 Perturbaciones generadas por Interferencias Electromagnéticas

En ambientes externos los efectos de las EMI's pueden ser muy perjudiciales por lo que se analizará un poco la naturaleza de estas:

Según su origen se clasifican en:

- **Naturales:** producidas por descargas atmosféricas, descargas electrostáticas (ESD), ruido cósmico, radiaciones naturales etc.
- **Provocadas o artificiales:** se producen como consecuencia del funcionamiento de otros dispositivos o sistemas eléctricos.

Otra clasificación se da en función de la banda de frecuencia de interferencia, ya que la facilidad de propagación depende de dicho parámetro:

- $f < 10 \text{ kHz}$: perturbaciones transmitidas por la red y fuentes de alimentación, cuya propagación se presenta básicamente por conducción.
- $10 \text{ kHz. a } 150 \text{ kHz}$: debidas a impulsos de intensidad y fenómenos transitorios de tensión producidos por la conmutación de relés, interruptores u otros dispositivos electromecánicos.

1.4.2.2.1 Acoplamiento por conducción

Se produce siempre que dos circuitos tienen alguna impedancia común: resistencia de conductores, impedancias reactivas parasitas inducidas por efectos electrostáticos o magnéticos, bucles de masa, impedancias distribuidas o parasitas.

1.4.2.2.2 Acoplamiento por radiación

En este caso la interferencia electromagnética se propaga a través del aire. Existen dos tipos de EMI radiadas: Radiación de campo cercano y radiación de campo lejano.

La radiación de campo cercano se produce en las proximidades de los conductores que generan este tipo de interferencia, los campos están determinados por las características de las fuentes emisoras, de esta manera se tiene dos tipos de campo cercano:

- ***Campo electrostático (Acoplamiento Capacitivo)***: se produce a causa de la capacidad que existe entre los conductores de un sistema perturbado y la fuente de interferencia. Las capacitancias parasitas son omnipresentes en cualquier sistema de conductores cargados.
- ***Campo magnético (Acoplamiento Inductivo)***: se produce a causa de las inductancias mutuas que existen entre un circuito y la fuente de interferencia. Siempre que existe un conjunto de conductores recorridos por corrientes eléctricas se presenta un fenómeno de inducción magnética entre todos ellos.

- *Campo electromagnético:* todo equipo eléctrico o electrónico produce alguna radiación de energía electromagnética, especialmente lo que generan algún tipo de arco. La multiplicidad de fuentes y características posibles de interferencia por radiación hacen imprescindible la protección por blindaje de todos aquellos equipos susceptibles. Este tipo de interferencia es difícil de eliminar ya que cualquier conductor de entrada o salida se comporta como antena receptora, la señal captada aparece entre el conductor y tierra. Se requieren blindajes prácticamente perfectos, cualquier conexión a tierra solo es efectiva para los equipos más cercanos a ella.

En la *Tabla 1.11* se presenta un resumen de las Categorías y Características Típicas de los Fenómenos Electromagnéticos en los Sistemas de Potencia Según la Norma IEEE 1159-1995

Categorías	Contenido Espectral Típico	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
Transitorios			
1.1 Impulsivos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns elevación	< 50 ns	
1.1.2 Microsegundos	1 μ s elevación	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1 ms elevación	> 1 ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja Frecuencia	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 pu
1.2.2 Frecuencia Media	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 pu
2. Variaciones de Corta Duración			
2.1 Instantáneas			
2.1.1 Interrupción, microcorte		0.5 - 30 ciclos	< 0.1 pu
2.1.2 Depresión, hueco, sag, dip		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 pu
2.1.3 Elevación, swell		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción, microcorte		0.5 ciclos - 3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Depresión, hueco, sag, dip		30 ciclos - 3 s	0.1 - 0.9 pu
2.2.3 Elevación, swell		30 ciclos - 3 s	1.1 - 1.4 pu
2.3 Temporales			
2.3.1 Interrupción, microcorte		3 s - 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Depresión, hueco, sag, dip		3 s - 1 min	0.1 - 0.9 pu
2.3.3 Elevación, swell		3 s - 1 min	1.1 - 1.2 pu
3. Variaciones de Larga Duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Bajo Voltaje		> 1 min	0.8 - 0.9 pu
3.3 Sobre Voltaje		> 1 min	1.1 - 1.2 pu
4. Desbalance de Voltaje		estado estable	0.5 - 2%
5. Distorsión de Forma de Onda			
5.1 Componente de CD		estado estable	0 - 0.1%
5.2 Armónicas	0 - 100 th H	estado estable	0 - 20%
5.3 Inter-Armónicas	0 - 6 kHz	estado estable	0 - 2%
5.4 Recortamiento, notching		estado estable	
5.5 Ruido	banda ancha	estado estable	0 - 1%
6. Fluctuaciones de voltaje	< 25 Hz	intermitente	0.1 - 7%
7. Variaciones de frecuencia			

Tabla 1.11: Categorías y Características Típicas de los Fenómenos Electromagnéticos en los Sistemas de Potencia Según la Norma IEEE 1159-1995^[8]

[8] <http://pqpanama.net/informaciontecnica.html>

1.5 TRANSMISION DE DATOS SOBRE LINEAS DE ENERGIA ELECTRICA

Las redes eléctricas no han sido diseñadas para transportar datos a altas velocidades y en altas frecuencias; estas redes fueron planificadas para trasladar tensiones y altas corrientes, por medio de bajas frecuencias para brindar el servicio de energía eléctrica a los usuarios. El principal inconveniente de la red eléctrica para transmitir datos es que el cableado eléctrico no presenta un apantallamiento que evite las interferencias, por lo tanto emite radiaciones electromagnéticas, provocando obstrucciones en otros sistemas de radiocomunicaciones. Las redes eléctricas son estructuras abiertas a las señales electromagnéticas.

1.5.1 PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Las constantes eléctricas básicas de una línea de transmisión son parámetros por unidad de longitud: resistencia en serie (R), inductancia en serie (L), capacitancia de derivación (C), y conductancia de derivación (G). La resistencia y la inductancia ocurren a lo largo de la línea y constituyen la impedancia distribuida serie, mientras que entre los dos conductores, ocurre la capacitancia y la conductancia que corresponden a la admitancia distribuida en paralelo, se distribuyen de manera uniforme a lo largo de la línea. La resistencia, inductancia y capacitancia aumentan con la longitud de la línea, mientras que la conductancia tiene una fuerte dependencia por el tipo de aislamiento del cable.

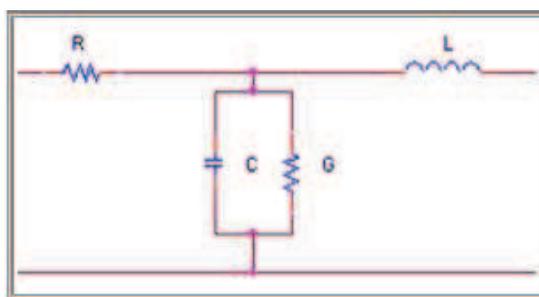


Figura 1.19: Parámetros distribuidos de una línea eléctrica

La resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia influyen en la capacidad para transmitir datos a través de las líneas de transmisión ya que determinan las propiedades utilizadas para transportar señales de telecomunicaciones. Otro parámetro a considerar es la impedancia

característica Z_0 de las líneas, la adaptación de la impedancia de línea con los equipos de comunicaciones garantiza que no se produzcan reflexiones u ondas estacionarias que perjudiquen la calidad de información a ser transmitida o recibida. Las reflexiones son ocasionadas por discontinuidades en los valores de la impedancia característica a lo largo de la línea, por ejemplo variaciones en las (distancia entre conductores) o una carga no adaptada (interposición de líneas con una carga no aceptada). Cuanto más precisa, estable y uniforme se represente una línea en relación a sus propiedades dimensionales, eléctricas y de construcción, mejor será su desempeño.

Las constantes derivadas de una línea de transmisión son la Impedancia Característica y la Constante de Propagación y se determinan a partir de las constantes primarias (R, L, C, G).

Las señales de datos se ven afectadas por la impedancia característica Z_0 y la impedancia de carga. La impedancia característica es la relación entre la tensión y las corrientes viajeras sobre una línea de transmisión. La Z_0 se expresa:

$$Z_0 = \frac{E_s}{I_s} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \Omega \quad Ec-1.1$$

Donde:

Z_0 = Impedancia característica de la línea (Ω)

R = Resistencia de la línea (Ω)/m

C = Capacidad de la línea (Faradios)/m

L = Inductancia de la línea (Henrios)/m

G = Conductancia (Siemens)/m

$\omega = 2\pi f$

j = Operador imaginario = $\sqrt{-1}$

La impedancia de carga modela la impedancia de entrada del equipo que se sitúa al final de la línea para recibir y procesar la señal. Se procura en general que el valor de Z_L sea el conjugado de Z_0 , esto evita que se produzcan reflexiones de onda en el punto dónde se conectan la línea y el equipo.

➤ **Constante de Propagación**

Se utiliza para expresar la atenuación (pérdida de la señal) y el desplazamiento de fase por unidad de longitud de una línea de transmisión. A medida que se propaga una onda a lo largo de una línea de transmisión, su amplitud se reduce con la distancia recorrida. La constante de propagación se utiliza para determinar la reducción en tensión o corriente por la distancia, conforme una onda electromagnética se propaga a lo largo de una línea de transmisión. Para una línea infinitamente larga toda la potencia incidente se disipa en la resistencia del cable, conforme la onda se propague a lo largo de la línea. Matemáticamente la Constante de Propagación se expresa:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad \text{Ec-1.2}$$

Donde:

γ = Constante de Propagación km^{-1}

α = Coeficiente de Atenuación N/km (dB/km)

β = Coeficiente de Desplazamiento de Fase (rad/km).

1.5.2 DIFICULTADES DEL CANAL ELÉCTRICO

Las líneas de transmisión o el canal eléctrico como medio de transmisión no presentan características ni parámetros constantes. El ruido, impedancia de canal y atenuación, varían a través del tiempo y de la frecuencia. Lo que genera un ambiente típico con interferencias, en especial para propósitos de comunicaciones. Por lo tanto, se deben considerar las limitaciones de este medio para garantizar la buena transmisión de señales de alta frecuencia sin perturbar los dispositivos próximos y las frecuencias de la banda de radio de 1 a 30 MHz.

La transmisión de la señal de datos en las líneas de potencia depende de los parámetros de la línea, de la longitud de la línea, del tipo de acoplamiento, frecuencia de portadora, atenuación y del tipo de transformadores utilizados en la red eléctrica. Es de gran importancia analizar estos valores al implementar una red de comunicaciones ya que estos factores pueden provocar pérdidas al transmitir datos.

El canal eléctrico para transmitir datos se ve afectado por:

- Atenuación, es la reducción de la potencia de una señal a medida que se incrementa la distancia y la frecuencia. La atenuación de la señal electromagnética en una línea eléctrica es muy alta. Ésta se incrementa conforme aumenta la frecuencia, afectando la señal donde viajan los datos. Una señal se ve atenuada conforme pasa por la red eléctrica por las pérdidas resistivas en los conductores (calor), emisión electromagnética al ambiente, pérdidas en el dieléctrico, radiación y acoplamiento. La atenuación de la señal depende de la carga conectada en los tomacorrientes, la señal de datos se atenúa más al existir cargas conectadas en la red. La atenuación es el principal factor limitante de la capacidad del canal eléctrico para transmisión de datos.

En la *Figura 1.20* se muestra que la atenuación varía con la distancia. Se observa que las pérdidas en dB aumentan a medida que la distancia aumenta y también la frecuencia.

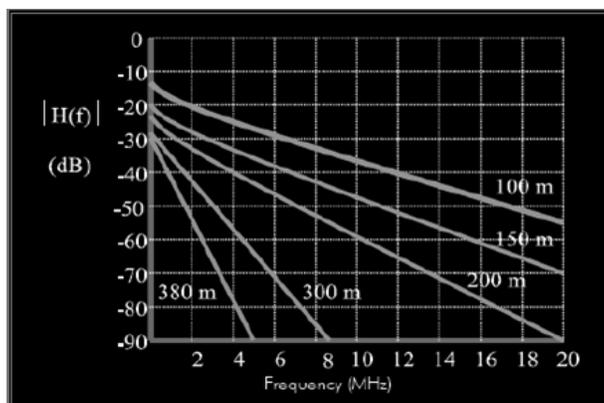


Figura 1.20: Atenuación en función de la frecuencia⁹

⁹ Doster, K. "Power Line Communications", Prentice Hall, USA, 2001

- Medio Ruidoso
- Líneas que actúan como antenas de radio para equipos comerciales cercanos a los 30 MHz.
- Eventual presencia de capacitores para corrección de factor de potencia.
- Impedancia: este parámetro varía en cada ciclo de tensión tanto en el tiempo como en la frecuencia por el uso de elementos no lineales. El inconveniente en la adaptación de la impedancia produce reflexiones en la línea eléctrica. Estas desadaptaciones de impedancia son debidas a los diversos aparatos conectados a la red de suministro eléctrico. El valor de la impedancia característica sufre variaciones en los diferentes tramos de la red. Por otra parte las líneas de comunicaciones presentan eventuales cargas a lo largo de su trayecto que son compensadas por acoplamiento de impedancia, de forma de mantenerla constante en todos sus puntos de alimentación. A lo largo de las líneas de media tensión (MT) existen cargas no acopladas que son los circuitos primarios de los transformadores MT/BT. Este representa casi siempre una impedancia elevada para altas frecuencias.
- Interconexión de tramos con otras redes con impedancia características menores, presentando discontinuidades que pueden ocasionar reflexiones de señales.
- Problemas de seguridad al no haber neutro en las conexiones.
- Es importante conocer la calidad, antigüedad y estado de mantenimiento de la red de distribución eléctrica ya que esto afecta directamente la transmisión de datos. Si las redes están deterioradas, hay cables en mal estado o con empalmes mal hechos, seguramente no será posible usar esta tecnología.
- Un problema de aislamiento, la instalación eléctrica de una casa es muy sensible a las interferencias que se produzcan en las frecuencias de transmisión de datos, alrededor de los 30 MHz. La red eléctrica no está protegida contra las ondas de radio, pero tampoco contra el ruido electromagnético que puede introducir una afeitadora, la televisión o el propio PC. Todos estos aparatos se protegen a sí mismos de lo que

pueda venir de la línea eléctrica (como una subida de tensión) con filtros y fusibles, pero nadie se preocupa de lo que vierten en ella.

- **Influencia de los Transformadores:** Las redes de MT están alimentadas por líneas de alta tensión sobre transformadores y estas a su vez, a través de transformadores de baja tensión. Las líneas de alta tensión son muy estables, tanto en el camino que recorren como en el tipo de medio conductor, las líneas de media y baja tensión se distinguen por muchas interconexiones y diferentes tipos de conductor. La propagación de señales de radiofrecuencia por estos medios a grandes distancias no es recomendable, por la excesiva pérdida de señal y la resistencia de los materiales al paso de la corriente. Hasta frecuencias de 20 kHz, los transformadores son buenas barreras debido a que desacoplan las interferencias de las redes de alta tensión, de las de media, y éstas de las de baja. Los transformadores que se utilizan en la redes eléctricas pueden ser: autoprotegidos y convencionales. El transformador autoprotegido es un tipo de transformador que tiene incorporados los elementos de protección contra sobretensiones, sobrecargas y elementos para aislarlo de la red en caso de falla. El transformador convencional es un tipo de transformador que no contiene ningún tipo de protección incluida, por lo tanto los pararrayos y la protección de sobrecorriente, se deben adquirir adicionalmente. La influencia que ejercen los transformadores es alta ya que actúan como carga a la red eléctrica y afectarán la transmisión de datos.
- **Ruido:** son la causa más común de interferencia en la línea eléctrica producida por la variedad de dispositivos conectados a esta o por aisladores defectuosos (aproximadamente 1 MHz) dado por la vibración mecánica de los mismos. Para que la comunicación se lleve a cabo de forma confiable se requiere minimizar los efectos de los diferentes ruidos presentes en la red, el comportamiento del ruido depende de la frecuencia y el momento en que aparecen es impredecible. Tipos principales de ruido, presentes en un canal de comunicación utilizando las líneas de energía eléctrica.

Aparte de la atenuación del cable, de los tipos de ruido descritos anteriormente, la desadaptación de impedancias y las reflexiones causadas por diversos tipos y tamaños de cable de transmisión, contribuye a la interferencia total que se presenta en las líneas eléctricas e impide poder emplearlas como un canal de transmisión de datos.

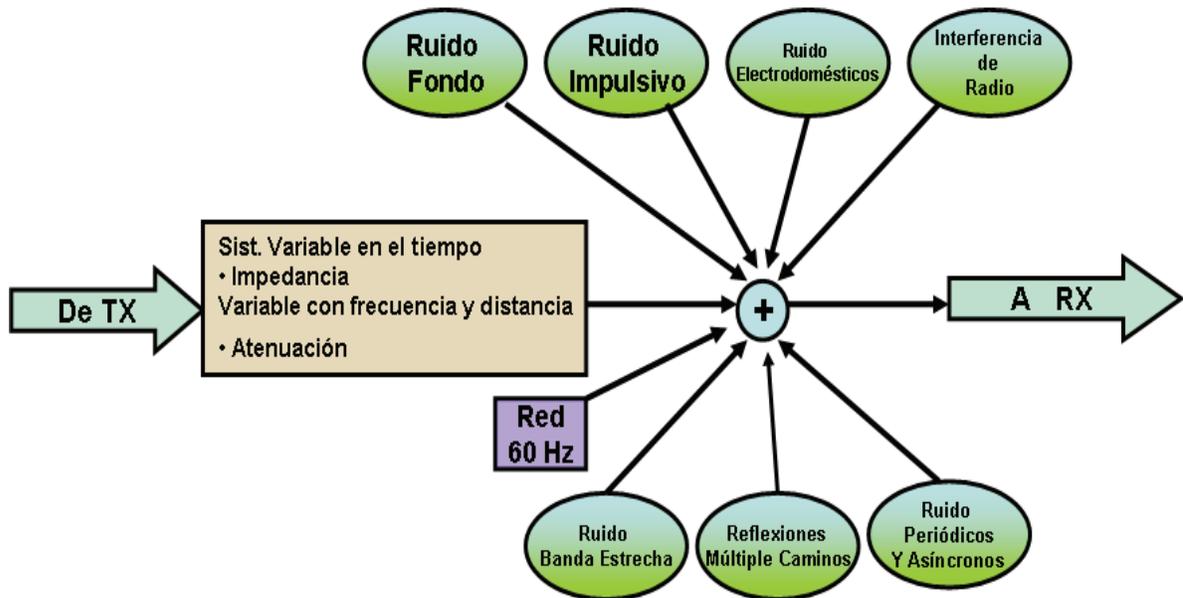


Figura 1.21: Esquema de las Líneas de Transmisión como medio Comunicación

Varias de las señales que interfieren en las líneas eléctricas se generan de las cargas conectadas, muchas interconexiones, diferentes tipos de conductor teniendo así diferentes orígenes y características. Si la cantidad de las señales que interfieren son demasiado grandes, con respecto a la señal atenuada y a la señal distorsionada, los receptores tendrían dificultades para reproducir la información original con fiabilidad suficiente.

1.5.3 INMUNIDAD A INTERFERENCIAS DE LOS CABLES CON CONDUCTORES DE COBRE

Se debe considerar que a mayores valores de frecuencias de transmisión en un sistema de cableado, más críticas son las propiedades referentes a la inmunidad a interferencias.

1.5.3.1 TIPOS DE INMUNIDAD A INTERFERENCIAS

Se distinguen tres variantes:

- Inmunidad a interferencias contra campos electromagnéticos radiados y conducidos por líneas eléctricas
- Inmunidad a interferencias contra sobretensiones transitorias.
- Inmunidad a la interferencia por descarga de electricidad estática

Las magnitudes de interferencias que se producen con mayor frecuencia para una red de datos son campos radiados, la pérdida de los paquetes de datos transmitidos en caso de perturbación por lo que se debe volver a transmitirlos, esto aumenta la carga de red del sistema.

Se debe considerar que las características de alta frecuencia de la instalación eléctrica de los hogares no han sido especificadas contrariamente de los que sucede en teléfonos, antenas o cables de red. Esto se debe a que los valores de la red eléctrica son inconstantes al no contar con blindaje y al cambio continuo de la impedancia y los factores de interferencia por conectar o desconectar equipos, además se obtienen muy diferentes entornos, esto muestra que no se puede garantizar al 100% el desempeño o el alcance de una red de datos a través de las líneas de transmisión eléctrica.

1.5.4 COMPORTAMIENTO DE LAS LINEAS ELÉCTRICAS COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN

- La línea convencional de media tensión es semejante desde el punto de vista constructivo a las líneas de comunicaciones, sus características constructivas permiten cierta libertad de movimiento entre conductores.

- Línea de red trenzada: estas líneas utilizan cables blindados de construcción geométrica semejante a las utilizadas en las telecomunicaciones. De esta forma presentan un comportamiento a los cables coaxiales diseñados para tal fin, y poseen características de impedancia característica uniforme, inmune a captar señales y radiaciones externas. Estas semejanzas sugieren que para la transmisión de frecuencias elevadas tendrán un mejor desempeño en comparación con otros tipos de líneas, sus limitaciones se deben al uso de material dieléctrico el cual es inadecuado para altas frecuencias y presentan una mayor atenuación que las líneas de transmisión convencionales.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATION)

2.1 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA PLC

2.1.1 DEFINICIÓN

La tecnología Power Line Communications (PLC), hace posible la transmisión de voz, datos y video a través de una infraestructura ya desplegada como son las líneas eléctricas. Permite convertir los enchufes convencionales en conexiones a los servicios de telecomunicaciones más avanzados como: Internet a alta velocidad y con él la integración de todos los servicios que oferta, como son: la telefonía IP¹⁰ (telefonía integrada con datos), mensajería, videoconferencia, televisión interactiva, radio y música, juegos en red, domótica¹¹, la creación de redes privadas etc. Permite maximizar el rendimiento de dispositivos conectados a la red, de ahí que a veces sea conocida como BPL (Broadband PLC). Esta tecnología constituye una alternativa real a las actuales tecnologías de acceso de banda ancha.

El PLC se empezó a considerar como tecnología de banda ancha al ofrecer una velocidad igual o superior a 2 Mbps. Considerando esta velocidad es posible ofrecer servicios multimedia a un mayor número de usuarios de Internet, especialmente en áreas distantes.

¹⁰ *Telefonía IP*: Permite comunicaciones de voz sobre redes basadas en Protocolo Internet (IP). Promete ahorro de costos al combinar la voz y los datos en una misma red que puede ser mantenida centralizadamente.

¹¹ *Domótica*: Conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas, y cuyo control goza de cierta ubicuidad, desde dentro y fuera del hogar.

La tecnología PLC se denomina en forma diferente dependiendo del país y el organismo que la estudie PLC/PLT Power Line Communications/Power Line Transmisión según ETSI (European Telecommunications Standard Institute), DPL/BPL Digital Power Line/ Broadband over Powerline según FCC (Federal Communications Commission) en los Estados Unidos de Norteamérica.

2.1.2 FUNCIONAMIENTO

2.1.2.1 Integración del Sistema Eléctrico y PLC

La red eléctrica no es homogénea, por lo que hay que diferenciar los tramos que la conforman. Desde la central eléctrica a la red de transporte de Alta Tensión se manejan voltajes de 138 kV a 230 kV. Este tramo no es relevante para la tecnología PLC. La red de Media Tensión transporta voltajes de 6.3 kV a 23 kV da acceso a pueblos, barrios y edificios y para la Tecnología PLC se presenta como una red de distribución sobre la cual se puede implementar ya sea la tecnología PLC u otra tecnología que transporte datos por ejemplo Fibra Óptica. La red de Baja Tensión donde se manejan voltajes de 110 V a 220 V es equivalente a la "última milla" o bucle de abonado como en las redes telefónicas, conecta los hogares con los transformadores de MT/BT.

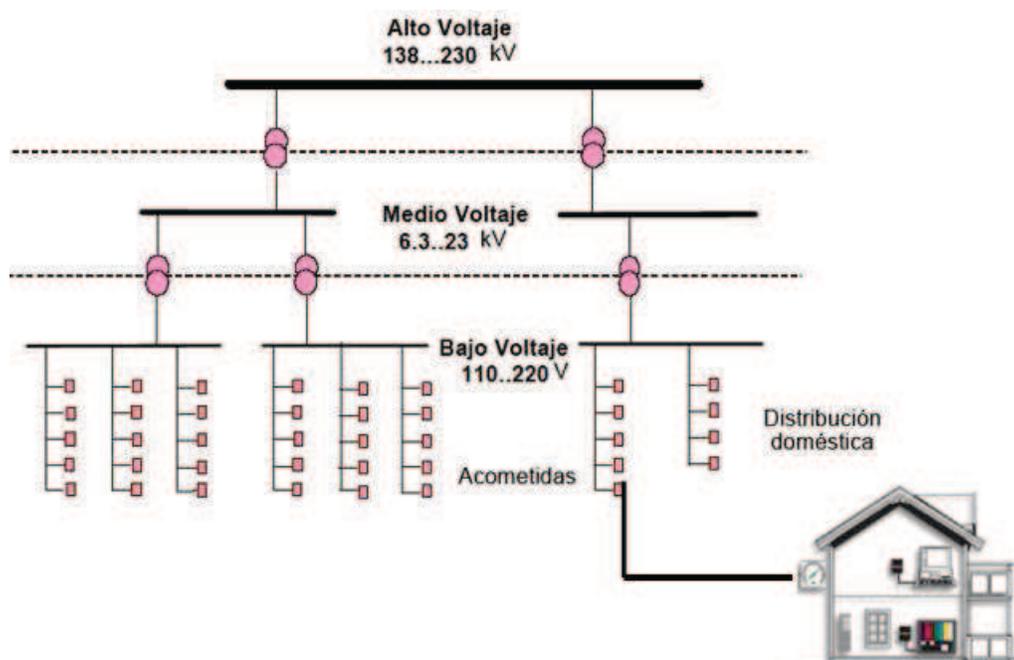


Figura 2.1: Estructura típica de la red de distribución de energía eléctrica

Con el acondicionamiento adecuado de la infraestructura eléctrica, se puede transmitir señales de baja frecuencia y otras por encima de la banda de 1 MHz, sin que se vea afectado el rendimiento eléctrico. Las señales de baja frecuencia (50 Hz ó 60 Hz, según la red) son las encargadas de la transmisión de la energía, mientras que las señales de más alta frecuencia se utilizan para la transmisión de datos, circulando ambas simultáneamente a través del hilo de cobre.

El lugar de integración del sistema eléctrico y de comunicación se da en el transformador o en la subestación de distribución. Aquí se produce el acoplamiento de la red eléctrica con equipos complementarios que en un extremo se enlazan a una conexión de alta velocidad proporcionada por un proveedor de servicio de Internet (ISP)¹², ya sea mediante fibra óptica o cualquier otro medio, y por el otro extremo al control de la red PLC.

2.1.2.2 Transmisión paralela de energía e información

La transmisión paralela de energía y datos usando el mismo medio y en forma simultánea, se hace posible debido a que las dos señales son diferentes, mientras la energía eléctrica utiliza corriente alterna a 60 Hz los datos se transmiten a altas frecuencias en el rango de 1 MHz a 30 MHz.

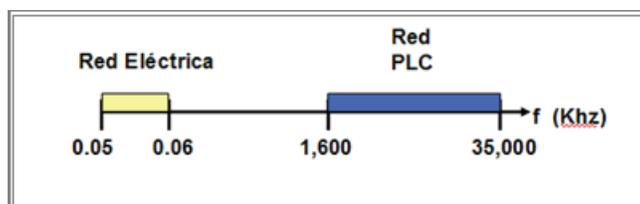


Figura 2.2: Rango de trabajo de la Red Eléctrica y la Red PLC

La tecnología PLC emplea una red conocida como High Frequency Conditioned Power Network (HFCPN) “Red de energía condicionada por alta frecuencia” para transmitir simultáneamente energía e información. Con el uso de unidades acondicionadoras que se encargan del filtrado y separación de ambas señales. Estas unidades separan la electricidad, que alimenta a los electrodomésticos, de las señales de alta frecuencia, que van a un módulo o unidad de servicio, donde se reconvierten en canales de datos ya sea vídeo, datos, voz, etc.

¹² *Proveedor de servicios de Internet (ISP)*: Empresa dedicada a conectar a Internet a los usuarios, o las distintas redes que tengan, y dar el mantenimiento necesario para que el acceso funcione correctamente.

2.1.2.3 Frecuencia utilizada

Los sistemas PLC ocupan un espectro de HF (High Frequency)¹³ este rango esta entre 1.6 MHz a 30 MHz. Según la recomendación ETSI TS 101 867 (V1.1.1 2000-11), “Se refiere a sistemas PLC de primera generación y asigna los siguientes rangos:

- Sistemas PLC de Acceso ocupan la banda de frecuencia entre 1,6 MHz a 10 MHz.
- Sistemas PLC Domésticos ocupan la banda de frecuencia entre 10 MHz a 30 MHz”.

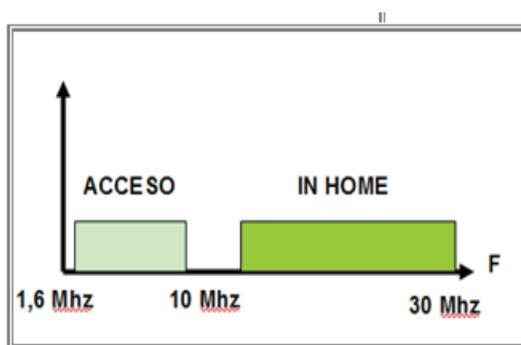


Figura 2.3: Distribución de Frecuencias del Espectro PLC ETSI TS 101 867

2.1.2.4 Velocidades de transmisión

La capacidad de transmisión del PLC varía en función del fabricante, de la tecnología empleada y del estado de las líneas eléctricas, pero suele establecerse en los 45 Mbps (27 Mbps en el sentido red de datos – usuario “Downstream”, y 18 Mbps en el sentido usuario-red de datos “Upstream”). La velocidad que actualmente puede alcanzar la tecnología PLC con los equipos de usuario oscila en un rango de 2 Mbps y 10 Mbps, cuyo ancho de banda es suficiente para dar Internet, telefonía IP, transmitir voz, o servicios multimedia.

¹³ *HF (High Frequency)*: También conocida como Onda Corta, banda del espectro electromagnético se encuentra en el rango espectral de 3 – 30 MHz. Dividido entre 14 y 30 MHz las bandas altas o bandas diurnas, y entre 3 y 14 MHz las bandas bajas o nocturnas. Se produce la propagación por onda ionosférica con variaciones según la estación del año y la hora del día.

El ancho de banda disponible se debe compartir entre todos los usuarios conectados a la misma línea de distribución eléctrica, de manera que si se tiene 10 Mbps en el Centro de transformación de distribución y se conectan unos 50 usuarios a la línea mediante las Unidades de Usuario, se reduciría a 200 Kbps el ancho de banda para cada usuario.

Sin embargo los equipos de segunda generación que se han desarrollado elevan el límite por encima de los 100 Mbps, lo que permite al PLC competir con otros sistemas de comunicaciones de banda ancha.

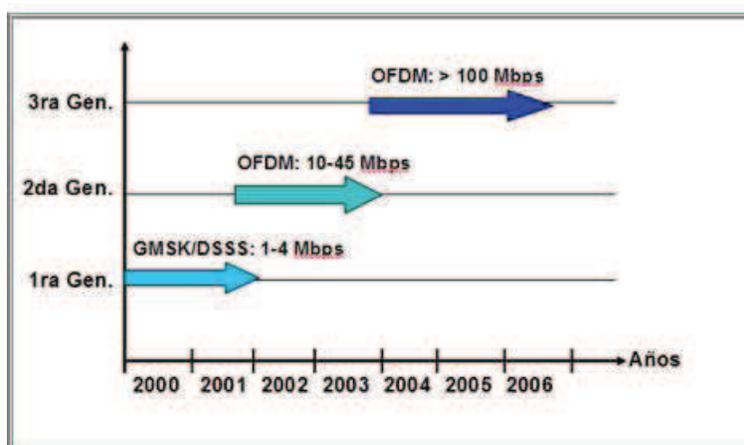


Figura 2.4: Anchos de Banda en PLC

2.1.2.5 Tipos de modulación empleadas en PLC

Para optimizar la transmisión de datos sobre la red eléctrica y conseguir máximas capacidades con el mínimo consumo de ancho de banda, se han planteado varias técnicas de modulación¹⁴ para PLC, las cuales deben ser robustas y utilizar una correcta asignación de frecuencias para evitar la interferencia externa.

En PLC las transmisiones tienen que atravesar las líneas de fuerza lo que provoca múltiples e impredecibles formas de interferencia, esto lo convierte en un medio poco confiable para una excelente comunicación. Los tipos de modulación más favorables para PLC son:

¹⁴ *Modulación*: conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos.

- **DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum¹⁵ Modulation):** Modulación de espectro ensanchado, consiste en distribuir la potencia de la señal a lo largo de un amplio espectro de frecuencias. Opera con baja densidad de potencia¹⁶ espectral (PSD), lo que resulta beneficioso respecto a la compatibilidad electromagnética, teniendo un nivel de radiación débil sobre todo el espectro utilizado. Además posee una gran inmunidad a interferencias, distorsiones y desvanecimientos del canal. El inconveniente con esta modulación es que para distribuir la potencia hace uso de un gran ancho de banda reduciendo la velocidad de los datos. Otro problema consiste en que al ser adaptadas las señales al canal de transmisión PLC, se presentan reflexiones debido a los múltiples caminos que puede seguir la señal.

- **GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying):** Es una técnica de modulación binaria simple en banda estrecha, que resulta de hacer una manipulación espectral a MSK¹⁷ sin perder la característica constante de la envolvente. Dicha manipulación consiste en aplicar un prefiltrado gaussiano, reduciendo de esta forma los lóbulos secundarios que aparecen en el espectro de la señal. Con este prefiltrado previo a la modulación se logra optimizar el uso del ancho de banda.

- **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex):** Es un sistema adaptativo que consiste en modular un gran número de portadoras de banda estrecha distribuida. Soluciona problemas de reflexiones debido a las diferentes rutas que puede seguir la señal y cambios de impedancia. Maneja el ruido de manera especial permitiendo además obtener alta eficiencia espectral¹⁸.

¹⁵ *Spread Spectrum*: Se caracteriza por usar un ancho de banda mayor al que se requiere para la transmisión de información. El ancho de banda puede obtenerse por: Secuencia directa o por Salto de frecuencia.

¹⁶ *Densidad espectral de potencia*: es como esta distribuida la potencia de una señal sobre las distintas frecuencias de las que esta formada, es decir su espectro.

¹⁷ *Modulación MSK ("Minimum Shift Keying")*: Es un caso particular de la modulación FSK, siendo FSK (*Frequency shift keying*) un tipo de modulación en frecuencia.

¹⁸ *Eficiencia espectral*: Es una medida de lo bien aprovechada que esta la banda de frecuencia para transmitir datos.

MODULACIÓN	Eficiencia Espectral	Máx. Tasa de Datos	Robustez en contra de Distorsiones sobre el Canal	Robustez en contra del Ruido Impulsivo	Flexibilidad y Adaptaciones futuras	Compatibilidad Electromagnética
Técnica Spread Spectrum	< 0.1 bits/s/Hz	≈ 0.5	Malo	Razonable	Muy Malo	Muy Bueno
Modulación de una sola portadora en banda ancha	1-2 bits/s/Hz	≈ 2	Bueno	Bueno	Razonable	Malo
Modulación de multiportadoras en banda ancha	1-4 bits/s/Hz	≈ 3	Bueno	Razonable	Razonable	Razonable
OFDM	>> 1 bits/s/Hz	> 10	Muy Bueno	Razonable	Muy Bueno	Bueno

Tabla 2.1: Comparación de los diferentes esquemas de modulación para sistemas PLC

El sistema de modulación más extendido para PLC es OFDM, debido a que utiliza una codificación adaptativa que sea capaz de reconocer la calidad del canal en un momento dado, con el fin de monitorear y extraer información estadística que se utiliza para mejorar la relación de velocidad y confiabilidad en la red. Esta modulación actúa mejor a las interferencias que se presentan en la estructura de las redes eléctricas. Es necesario utilizar OFDM para el funcionamiento del PLC ya que al basar su comunicación en un medio de transmisión lleno de ruidos e interferencias la señal de datos se ve atenuada conforme realiza su recorrido por lo que es necesario implementar una tecnología fiable capaz de asegurar una buena transmisión independientemente de las variaciones del medio.

2.1.2.6 Modulación OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

OFDM tiene su analogía con la multiplexación FDM, donde las múltiples fuentes ocupan un mismo espectro, pero, con OFDM cada fuente se convierte a una banda de frecuencia diferente; es decir, utilizando portadoras de diferente frecuencia que se transmiten simultáneamente por un solo medio de transmisión. OFDM distribuye los datos sobre un número grande de portadoras que están espaciadas en frecuencias determinadas.

Este espacio proporciona la ortogonalidad que impide al demodulador ver frecuencias que no sean las propias. Así todos los canales de banda angosta se pueden transmitir en un sistema de transmisión de banda ancha, lo cual se logra asignando a cada canal una portadora diferente.

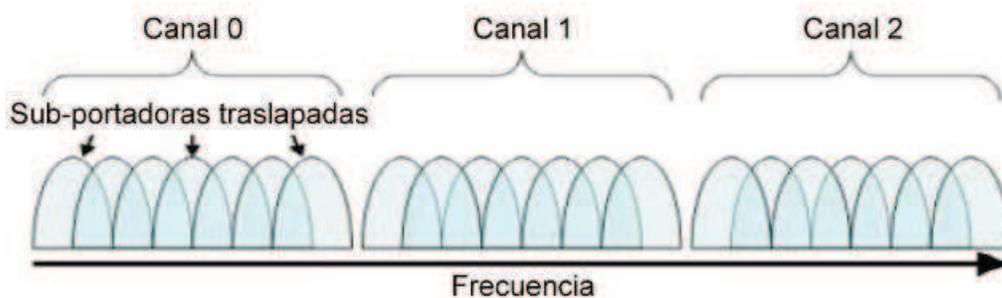


Figura 2.5: Subportadoras OFDM

Con comunicaciones de gran ancho de banda se tiene que los canales para la transmisión son susceptibles por razones de propagación de la señal, por lo que al dividir el ancho de banda total en canales paralelos más angostos y cada uno en diferente frecuencia se reduce la posibilidad de desvanecimiento por respuesta no plana en la subportadora. Si además, estas subportadoras poseen un espaciamiento que les proporciona "ortogonalidad" en frecuencia, se tendrá dos portadoras en la misma frecuencia sin que éstas se traslapen o interfieran entre ellas, con ello se reduce el ancho de banda total requerido en el canal, logrando mayor eficiencia espectral y una menor distorsión.

El número de portadoras y la distribución en el espectro de frecuencia depende de cada diseñador tecnológico de equipos PLC como se muestra en la *Tabla 2.2*.

Sistema o Estándar	Número de portadoras	Frecuencias Mhz	V_{Tx} (Mbps)
HOMEPLUG	84	4.5 - 21	Máxima = 14 Efectiva = 6 -7
DS2	1280 \Rightarrow 768 ascendente 512 descendente Con 0, 2, 4, 6, u 8 bits de Información por portadora.	Hasta 30	45 y 200

Tabla 2.2: Número de portadoras para sistemas PLC

OFDM es un sistema que resulta eficiente y flexible para trabajar en un medio como la red eléctrica, ya que el rango espectral queda dividido en ranuras (slots), cuyo ajuste permite que los equipos se adapten dinámicamente a las condiciones del medio, potenciando aquellas frecuencias donde el ruido es menor y anulando el uso de frecuencias donde el ruido es elevado; es decir, OFDM puede usar o dejar de usar cualquier subcanal de frecuencia con el fin de mantener una óptima tasa de error.

2.1.2.6.1 Funcionamiento de OFDM

OFDM es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales, cada una modulada en amplitud y fase. Emplea N portadoras, por lo que se requiere, por lo menos, N muestras complejas en tiempo discreto para representar un símbolo OFDM. La forma de onda para OFDM se genera a partir de la IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) o Transformada Inversa Rápida de Fourier, a cuya entrada se introducen los símbolos que han de modular la portadora. La duración de cada símbolo es inversamente proporcional al espacio que existe entre la subportadora en la que se incluye ese símbolo y las subportadoras adyacentes. En el receptor, la recuperación de la información se lleva a cabo mediante la Transformada Rápida de Fourier.

Cada señal viaja dentro de su único rango de frecuencia; es decir, el portador que se modula contiene datos que pueden ser de texto, voz y video, etc.

OFDM utiliza un sistema de modulación que se conoce como Modulación en Cuadratura de Fase o Multiplexado en Cuadratura de Fase y se designa QAM (Quadrature Amplitude Modulation) por lo que es posible transmitir dos señales, como una señal única de doble banda lateral, sin portadora, multiplexada o modulada en cuadratura. La modulación en cuadratura, al igual que todos los esquemas de modulación con portadora suprimida, impone requisitos en lo que respecta a la reinserción de la portadora local en el receptor. Un pequeño error en la fase o la frecuencia de la portadora reinsertada en el detector provoca distorsión o pérdida de la señal, también produce interferencia entre canales.

2.1.2.6.2 Constelaciones Básicas

Para conseguir la modulación OFDM los datos de entrada se “mapean” en símbolos OFDM, lo que significa que modulan a cada una de las subportadoras individualmente. Esta modulación puede ser de diferentes tipos, en PLC las constelaciones empleadas son:

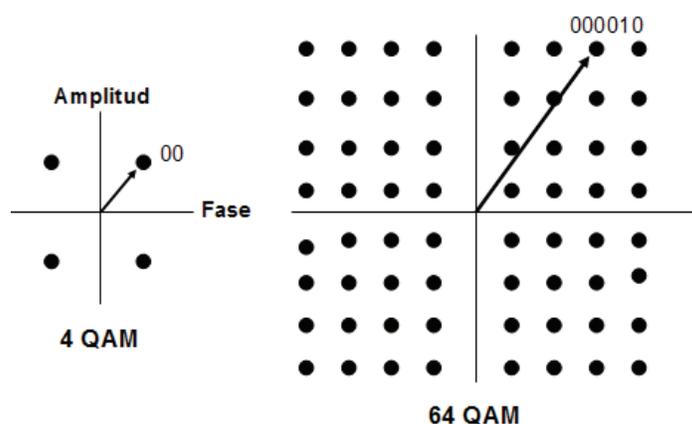


Figura 2.6: Tipos de Constelaciones QAM

Técnica	Símbolos	Bits/símbolo	Utilización
QPSK ¹⁹ 4QAM ²⁰	4	2	CATV ascendente, satélite, LMDS
16QAM	16	4	CATV ascendente, LMDS
64QAM	64	6	CATV descendente

Tabla 2.3: Constelaciones usadas en PLC

¹⁹ QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying

²⁰ QAM: Quadrature Amplitude Modulation

Dependiendo de la constelación utilizada cada subportadora transportará 2, 4, o 6 bits de información. Cada punto de la constelación se puede representar por un número complejo. Así el primer paso del proceso de OFDM es el de mapear los grupos de 2, 4, 6 bits en la componente real o imaginaria que corresponde al número complejo de la constelación.

Cada constelación tiene una robustez propia con respecto a la relación:

$$\frac{C}{N} \left\{ \begin{array}{l} \text{Amplitud y fase de la información a transmitir} \\ \text{Número de subportadoras y Muestras en el} \\ \text{dominio del tiempo utilizadas} \end{array} \right\} \quad Ec-2.1$$

Que es la mínima que puede tolerarse para una demodulación correcta. En términos aproximados, 4QAM es de cuatro a cinco veces más robusta que 64QAM.

Los números complejos corresponden a una representación en el dominio de la frecuencia y para trasladarlos al dominio de tiempo es necesario aplicar la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT). En el receptor se aplica la transformada rápida directa de Fourier (FFT) al símbolo OFDM en el dominio del tiempo. La señal original transmitida se reconstruye comparando cada subportadora con una referencia, de amplitud y fase conocidas y de igual frecuencia.

OFDM evita el empleo de filtros, a causa de la ortogonalidad de la señal. Para preservar la “ortogonalidad” en OFDM y combatir la presencia de ecos causados por las reflexiones en la transmisión, se introduce un intervalo de guarda. En la *Figura 2.7* se muestra el período de integración de una señal en el receptor si su tiempo de duración se extiende a dos símbolos. Se producirá ISI (Interferencia entre Símbolo) sobre la subportadora correspondiente al símbolo que se pretenda integrar, además habrá Interferencia entre Subportadoras (ICI) y, por consecuencia, destrucción de la información. Para evitar esa situación se agrega el intervalo de guarda.

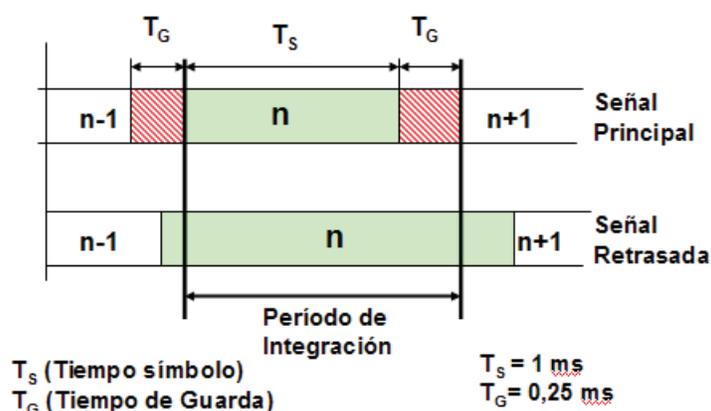


Figura 2.7: Intervalo de Guarda $\frac{1}{4}$ del período del símbolo

La duración del símbolo se aumenta de modo que exceda el período de integración del receptor, T_s , de modo que también sea la señal modulada completa. Todas las subportadoras son cíclicas durante T_s , de modo que también lo es la señal modulada completa. Por ello el segmento que se añade al inicio del símbolo para formar el intervalo de guarda, es igual al segmento al final del símbolo. En tanto que el retardo sufrido por la señal a lo largo de cualquier trayecto, con respecto al trayecto más corto sea menos que el intervalo de guarda. Todas las componentes de la señal durante el período de integración proceden del mismo símbolo satisfaciendo así la condición de “ortogonalidad”. Tanto el ISI como el ICI ocurrirán solamente cuando el retardo exceda la duración del intervalo de guarda.

El intervalo de guarda se elige de acuerdo al retardo esperado en el medio en particular de propagación en que se lleva a cabo la comunicación. En entornos interiores la dispersión de retardo (T_G) puede llegar a decenas de nanosegundos, mientras que en entornos exteriores, a distancias relativamente mayores, la dispersión de retardo puede alcanzar hasta $50 \mu\text{s}$ o más. La inserción del (T_G) reduce la tasa binaria efectiva por lo que no debe consumir una fracción importante del símbolo T_s ya que reduciría considerablemente la tasa binaria y la eficiencia espectral. El intervalo de guarda extiende la duración del símbolo transmitido y, por consecuencia, reduce ligeramente el caudal efectivo. Los valores de intervalos de guarda usados son $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, o $\frac{1}{32}$; estos valores son la fracción equivalente a la duración del símbolo.

Para demodular correctamente las señales, el receptor debe muestrearlas durante el período útil del símbolo OFDM, no durante el intervalo de guarda, ya que el demodulador ignoraría la portadora. En consecuencia, la ventana de tiempo debe situarse con precisión en el instante en que se presenta el símbolo.

2.1.2.6.3 Ortogonalidad

Se dice que dos señales son ortogonales en un intervalo $[t_1, t_2]$ cuando cumplen la condición:

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t)g(t)dt = 0 \quad Ec-2.2$$

Si esto se cumple, es posible hacer que utilicen simultáneamente el mismo ancho de banda sin interferirse entre sí. En OFDM, la ortogonalidad es necesaria para que los espectros de las sucesivas portadoras activas no se interfieran entre si debido a la superposición de sus varios espectros infinitos. Es decir la ortogonalidad significa que cuando el espectro de una señal asociada con una portadora se encuentra en un máximo, el espectro de la portadora adyacente pasa por cero y no se interfiere con la portadora vecina. Las subportadoras que cumplen con la ortogonalidad pueden ser distinguidas una de la otra en el receptor.

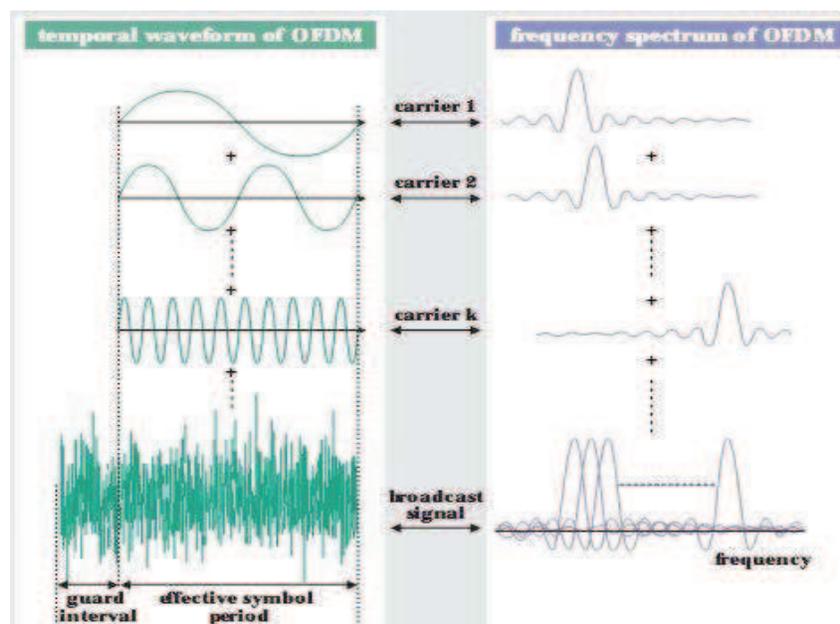


Figura 2.8: Ortogonalidad de portadoras en OFDM

2.1.2.6.4 Modulación y Demodulación OFDM

La señal de entrada al modulador OFDM es un flujo binario continuo. Este flujo se segmenta en símbolos. De acuerdo a la constelación a utilizar se obtiene un mapa de símbolo, representado ahora por números complejos, que representan a la señal en el dominio de la frecuencia. Si se van a modular N subportadoras simultáneamente, la primera operación debe ser la conversión del flujo binario de entrada, en serie, en un flujo de coeficientes complejos en paralelo. El siguiente paso es realizar la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT) sobre esos N coeficientes para obtener una señal en el dominio del tiempo y, luego debe volver a realizarse la transformación del flujo binario a serie. A la salida del conversor paralelo serie se inserta el intervalo de guarda, lo que hace que las señales retrasadas a causa de los efectos multi-trayecto caigan en el intervalo de guarda y sean ignoradas por el receptor.



Figura 2.9: Diagrama de bloques modulador OFDM

La demodulación de la señal que viene del transmisor es amplificada y luego filtrada. En un proceso posterior se procede a retirar el intervalo de guarda. El receptor conoce el intervalo de guarda introducido por el transmisor que frecuentemente es $\frac{1}{4}$. Se recupera la señal en fase y cuadratura. Esto se consigue con el demodulador que emplea la transformada rápida de Fourier para recuperar la portadora. Con un conversor paralelo-serie, se convierte en una secuencia de símbolos en serie los cuales serán transformados a secuencia de bits de acuerdo a la modulación QAM.



Figura 2.10: Diagrama de bloques demodulador OFDM

2.1.2.6.5 Beneficios de OFDM

OFDM brinda múltiples ventajas y es la que ofrece mayor robustez frente a las características de ruido del medio eléctrico que emplea PLC, entre los beneficios que proporciona se mencionan:

- Es resistente a la interferencia de Radiofrecuencia.
- Excelente mitigación de los efectos de dispersión en el tiempo
- Minimización de los efectos de interferencias dentro de banda estrecha
- Alta eficiencia espectral
- Escalable para altas tasa de datos
- Flexible y adaptable (las subportadoras de banda estrecha pueden ser moduladas usando varios formatos de modulación, con posibles anchos de banda y tasa de datos adaptables de acuerdo al número de bits presente en cada portadora)
- Excelente rendimiento de ICI, no requiere complejos canales de ecualización.
- Adapta el canal a las condiciones de transmisión, a través del monitoreo continuo, mediante las configuraciones del canal para obtener buena velocidad y fiabilidad.
- El alto número de portadoras permite una sincronización robusta y sencilla.
- Tiene un mejor comportamiento frente al ruido sea selectivo o impulsivo.
- Todos los rangos del espectro que están disponibles son muy usados y no existe interferencia, excepto para el ruido de conexión a tierra, aunque generalmente no afecta debido a que suele ser muy débil, comparado a la potencia de transmisión.
- La modulación OFDM es muy robusta frente al multi-trayecto (*multi-path*), que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a las atenuaciones selectivas en frecuencia y frente a las interferencias de RF. Debido a las características de esta modulación, es capaz de recuperar la información de entre las distintas señales con distintos retardos y amplitudes (*fading*)²¹ que llegan al receptor.

²¹ *Fading*: Canales con multitrayectoria

- Este tipo de modulación es la que mejor se adapta a las condiciones de las redes eléctricas: Interferencias con otras aplicaciones eléctricas o servicios de radio. Pérdida de energía debido a la desadaptación de impedancias. Medio cambiante con el tiempo, con aplicaciones eléctricas plugged/unplugged. El espaciamiento entre portadoras confiere "ortogonalidad" para evitar que las frecuencias se traslapen. Los subcanales están solapados, así se consigue un eficiente uso del espectro ahorrando ancho de banda.
- En condiciones donde el nivel de ruido es bajo, la señal transmite con mayor eficiencia y se envían paquetes con mayor cantidad de bits (máximo 8 bits por portadora por cada uno de los envíos). Conforme aumenta la distancia de transmisión se atenúan más las señales entonces la calidad del canal baja y se empieza a reducir la cantidad de bits que se transmiten en cada uno de los tonos portadores. Esto optimiza la transmisión, es adaptable a las condiciones de la red por lo que puede utilizar mas bits por subcanal cuando la Relación Señal a Ruido SNR requiera e incluso se podría adaptar la potencia de transmisión de cada subcanal. Las tasas de datos por subportadoras se adaptan dependiendo del SNR detectado. Esta característica da una excepcional adaptabilidad a las condiciones del canal.

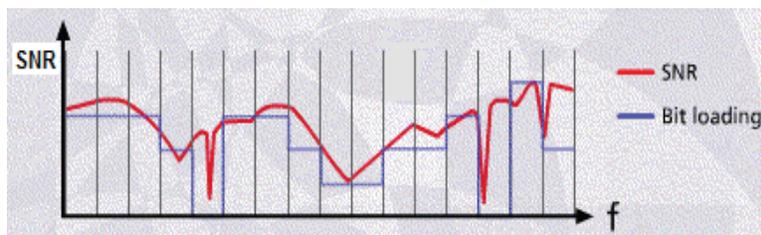


Figura 2.11: Adaptabilidad de la Señal de datos a las condiciones del canal

- Puede operar con anchos de banda 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz, transmitiendo entre 2 MHz a 34 MHz.
- La sincronización es más robusta y simple.
- Tasa de datos de hasta 45 Mbps.
- Eficiencia de modulación de hasta 7,25 bps/Hz.

La modulación OFDM es un sistema que analiza el canal por el que se va a transmitir la señal, evaluando cuál es el número máximo de puntos que se pueden crear para cada uno de los rangos de frecuencia con el cual se divide la señal. De este modo, maximiza la velocidad de transmisión y minimiza los errores.



Figura 2.12: Modulación OFDM

2.2 PLC Y EL MODELO OSI

Para la descripción de la operación de los sistemas de telecomunicaciones modernos, generalmente se utiliza el modelo de referencia OSI (“Open Systems Interconnection”) promovido por la ISO para definir la forma en que se comunican los sistemas abiertos de telecomunicaciones, es decir, los sistemas que se comunican con otros sistemas. El modelo de referencia consiste en 7 capas. Estas capas se visualizan generalmente como bloques apilados, por lo que también se le conoce como el "OSI Protocol Stack".

CAPA	DETALLES
7. APLICACIÓN	Soporta aplicaciones que utiliza directamente el usuario.
6. PRESENTACIÓN	Toma los datos de red, y los presenta a las aplicaciones para darles el formato adecuado para ser usados.
5. SESIÓN	Establece y maneja las conexiones lógicas o sesiones.
4. TRANSPORTE	Manejo de los mensajes de sesión entre los puntos de la red.
3. RED	Manejo de las conexiones lógicas, direccionamiento enrutamiento y manejo del tráfico
2. ENLACE DE DATOS	Manejo y entrega de datos entre dos nodos de la red
1. FÍSICA	Conexiones y medio físico de la red

Tabla 2.4: Modelo de referencia OSI

PLC trabaja principalmente en la capas 1 y 2, es decir en la capa física y en la capa de enlace de datos.

2.2.1 CAPA FÍSICA

La Capa física del modelo de referencia OSI es la que se encarga de las conexiones físicas, es decir, el nivel básico que se compone generalmente por el cableado. La tecnología PLC cuenta con la ventaja de utilizar infraestructura física ya instalada; los cables eléctricos, como su capa física se genera un ahorro en obras de instalación de cableado, sin embargo, se tiene la limitante de que este medio no fue concebido para soporte de telecomunicaciones, por lo que se hace necesario el uso de equipos con altas velocidades de trabajo y eficiencia espectral para lograr transmisiones confiables.

Se debe considerar una capa física robusta debido a que esta especifica la modulación, la codificación y el formato de los paquetes. La capa física es la encargada de definir las especificaciones eléctricas, mecánicas y funcionales para activar y mantener un enlace físico entre varios elementos. A este nivel, cualquier nodo debe ser capaz de enviar bits a otro nodo conectado a la red eléctrica. La capa física de PLC utiliza OFDM como técnica de modulación para contrarrestar esta desventaja del canal de comunicaciones, además entrega una velocidad de 14 Mbps donde 8 Mbps corresponden a la capa MAC (Control Acceso al Medio) y 6 Mbps se refieren a TCP (Protocolo para el control de la transmisión).

2.2.2 CAPA ENLACE DE DATOS

PLC se gobierna mayoritariamente por protocolos de capa 2. En esta capa, se realiza la organización de los datos en paquetes lógicos que serán convertidos a señales binarias para inyectarlas al medio físico y viceversa. Además, se establecen comunicaciones, identificando cada uno de los nodos de la red con una dirección MAC. Al ser 100% compatible con el estándar OSI, PLC puede compartir conexiones con usuarios de Ethernet y otros estándares compatibles. En el diseño de la MAC es necesario tener dos consideraciones:

- No hay límite de distancia entre dos nodos.
- Dos nodos pueden transmitir simultáneamente.

Estos inconvenientes podrían ser subsanados implementando como acceso al medio CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) tomado de IEEE 802.11. Un eficiente protocolo de acceso a la capa de red que controla la división de los medios de transmisión entre muchos clientes

Para diseñar una subcapa MAC PLC, se consideran dos características: la frecuencia variable y las reflexiones producidas. Los protocolos PLC MAC se dividen en dos tipos:

- a) **Protocolos con arbitraje:** un controlador central coordina los equipos conectados o usuarios, determinando cual puede enviar información en cierto momento. Se requiere acceso a todos los equipos conectados. Se utiliza el protocolo TDMA.
- b) **Protocolo sin arbitraje:** no hay controlador central, todos los nodos disminuyen las colisiones. Se utiliza el protocolo CSMA. Protocolos híbridos: protocolo intermedio entre las dos clases anteriores.

En conclusión el equipo PLC puede acceder a dos medios diferentes (Ethernet y PLC) realizando sus enlaces lógicos y de enrutamiento IP. El control o acceso al medio del equipo se puede llevar a cabo utilizando SMTP o el protocolo de control 802.1.

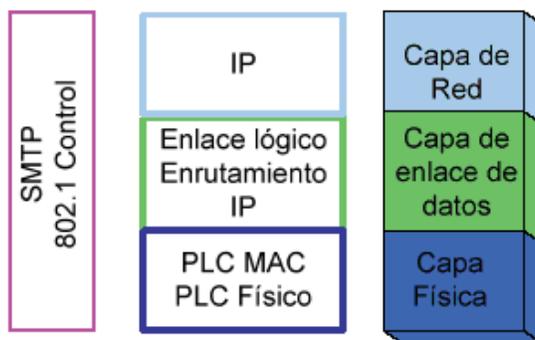


Figura 2.13: Pila de protocolos de la tecnología PLC

Para garantizar una comunicación fiable sobre las líneas eléctricas, es necesario tener en cuenta las técnicas de control, corrección de errores y fragmentación de los paquetes grandes en tramas. La MAC indica el modo de transmitir las tramas por el medio. La trama utilizada para la transmisión de datos a través de PLC, consiste en un delimitador inicial, núcleo y delimitador final de la trama.

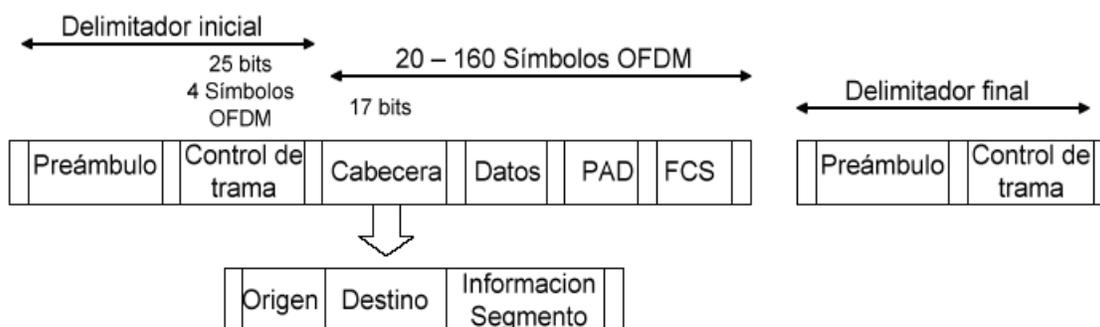


Figura 2.14: Trama utilizada en PLC

El delimitador marca el inicio o fin de la información de temporización. El delimitador de inicio especifica el tiempo de duración de la carga útil y se utiliza en la trama larga. Los primeros 17 bits de la carga útil de la trama contiene la dirección de destino, origen e información de segmentación. El delimitador final indica el final de la trama y el momento esperado para el final de la transmisión, por lo tanto se conoce el tiempo que va a estar ocupado ese canal para la transmisión. La segmentación y el reensamblado permiten trabajar con tramas más cortas, lo que asegura, que el tráfico de alta prioridad no sufra grandes retardos. El control de errores indica como proceder cuando se pierde información o ésta sufre algún daño. Algunos mecanismos de control de errores son:

- a) **ARQ (Automatic Repeat Request):** la fuente no reenvía información hasta que no reciba un reconocimiento positivo por parte del otro extremo (ACK, Acknowledgment); en caso contrario, retransmitirá el mismo paquete. La recepción de un reconocimiento negativo (NACK, Negative

Acknowledgment) de un paquete, indica que éste ha sido recibido por el destino pero existe algún error en el paquete.

- b) Go back N:* este mecanismo de control de errores es conocido como vuelta atrás, en donde existen N paquetes esperando el reconocimiento por parte del destino. Si no existen errores en la transmisión, el destino envía un reconocimiento positivo RR (receiver ready), por otro lado si existieran errores en alguna trama, se enviaría el reconocimiento negativo REJ (Reject) y se rechazaría cualquier otra trama hasta que no reciba una versión válida de la trama errónea.

2.3 CAPACIDAD DEL CANAL PLC

De acuerdo con la Ley de Shannon la capacidad de un canal con ruido, es decir la cantidad máxima de información en bps que es posible transferir resulta.

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Ec-2.3

C = Velocidad máxima de transmisión de datos en bps

B = Ancho de banda del canal

S/N = Relación señal a ruido del mismo.

Esta fórmula no es aplicable directamente a un canal de PLC, ya que SNR no es constante con el ancho de banda B , ya que puede variar sustancialmente. Sin embargo, en la práctica la densidad de potencia de señal transmitida $S_{rr}(f)$ y la densidad de potencia de ruido $S_{nn}(f)$ son dependientes de la frecuencia. Se los puede tomar dentro de un rango modificando la formula:

$$C = \int_{f_u}^{f_o} B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df \quad \text{con } B = f_o - f_u$$

Ec-2.4

Para obtener la expresión anterior se debe conocer el espectro de densidad de potencia de la señal transmitida $S_{rr}(f)$ la cual es modificada por el comportamiento del canal.

El ancho de banda disponible de un medio de transmisión representa la fuente más importante para una tasa de transmisión de datos alta. El ancho de banda en la práctica se encuentra más o menos fragmentado, por lo que se necesita esquemas de modulación para aprovechar el espectro tanto como sea posible. Además de la reducción del ancho de banda por regulación, este también es restringido por la atenuación. La capacidad del canal generalmente decrece con la distancia debido a la característica paso bajo de las líneas de potencia. Los esquemas de modulación difieren mucho en su habilidad de explotar la capacidad del canal.

Para un canal excelente con capacidades teóricas en el rango de los 250 Mbps, se puede alcanzar tasas de datos reales de 100 Mbps. Aún para canales clasificados como muy malos, con distancias de hasta 300 m, se pueden alcanzar tasas de 5 Mbps. La *Tabla 2.5* muestra las capacidades teóricas estimadas en el tramo de última milla para un canal PLC. Aquí se muestra la diferencia entre la capacidad teórica y la realizable en pruebas piloto y se determina que aún en el peor caso se logra conseguir una capacidad de canal aceptable de 5 Mbps.

	TASA DE DATOS	
	Mejor caso	Peor caso
Teórica	250 Mbps	14 Mbps
Realizable	100 Mbps	5 Mbps

Tabla 2.5: Estimación de la capacidad de canal PLC en la “Red de Acceso”

2.4 ARQUITECTURA DE LA RED PLC

La tecnología PLC utiliza la red de distribución de Media y Baja tensión como medio de transmisión, accediendo así al bucle local del abonado (hogares o empresas). Mediante equipos PLC se enlaza las redes de MT/BT a una red troncal de datos o Backbone esto permite la interacción de redes de datos externas con las redes eléctricas hasta llegar a los usuarios como una red de acceso de gran alcance. Del lado de los usuarios en la red de baja tensión domiciliaria estos se conectan con equipos especiales de usuarios los cuales les permitirán poder acceder a la información que viaja a través de la red eléctrica.

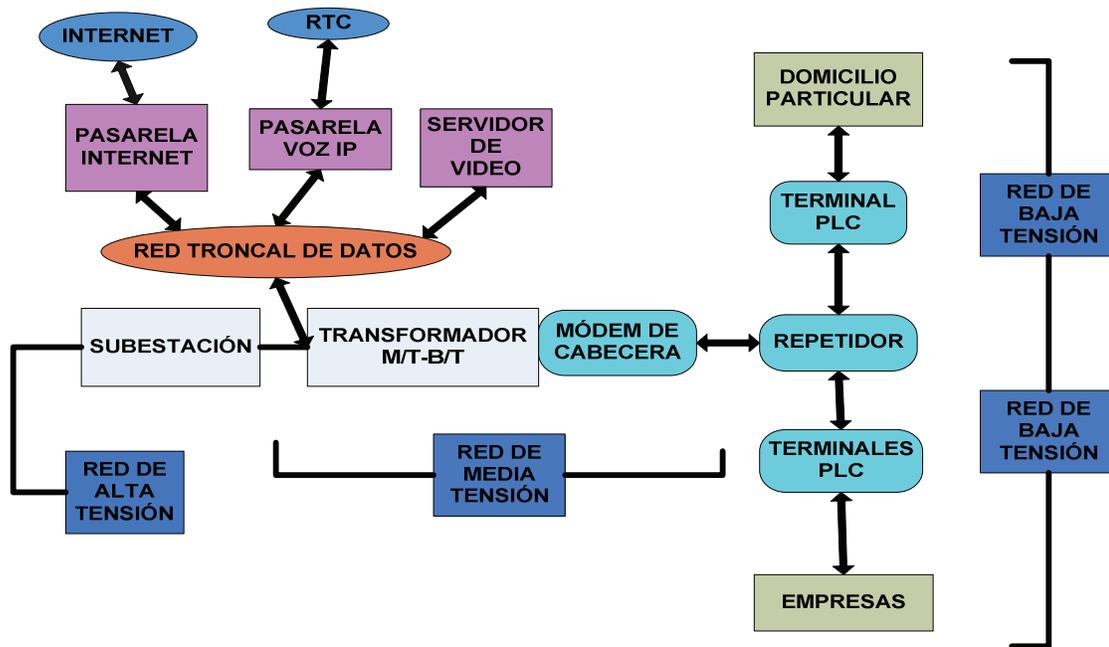


Figura 2.15: Arquitectura de la red PLC

2.4.1 TOPOLOGÍA

La topología del sistema PLC es realmente la topología de la red de provisión de energía eléctrica, usada como medio de transmisión, y dependerá de algunos factores como son:

- a) **Ubicación.**- El campo que podría abarcar un sistema PLC depende del tipo de sector ya sea comercial, residencial o industrial. Esto tendrá relación con el tipo de usuarios y sus requerimientos.
- b) **Densidad de uso.**- Se refiere al número de usuarios de la red. La cantidad de usuarios serán de baja densidad, en casas unifamiliares y de muy alta densidad en apartamentos, torres comerciales u oficinas de varios edificios.
- c) **Longitud.**- Distancia entre usuario y transformador, que depende de la clase de red o si es zona urbana o rural.

2.4.1.1 Topología física de la Red PLC

La topología de la red eléctrica es tipo árbol y una red PLC también se estructura de esa forma, sea que los equipos PLC se ubiquen en lugares centrales, en las cercanías del usuario PLC o en cualquier lugar de la red. La consideración que se debe tomar en cuenta es la distancia entre los equipos PLC centrales y los equipos de usuario, para evitar la instalación de elementos extras que incrementan los costos de la red.

Un nodo de enlace troncal, denominado Unidad de Acondicionamiento, desde el se ramifican los demás nodos, que serían las Unidades de Usuario si la distancia es corta, o Unidades Repetidoras a distancias mayores de 300 m para la red de MT y 150 m para la red de BT. La comunicación entre los UA y las UU o las UR se establece mediante una configuración full-duplex punto a multipunto.

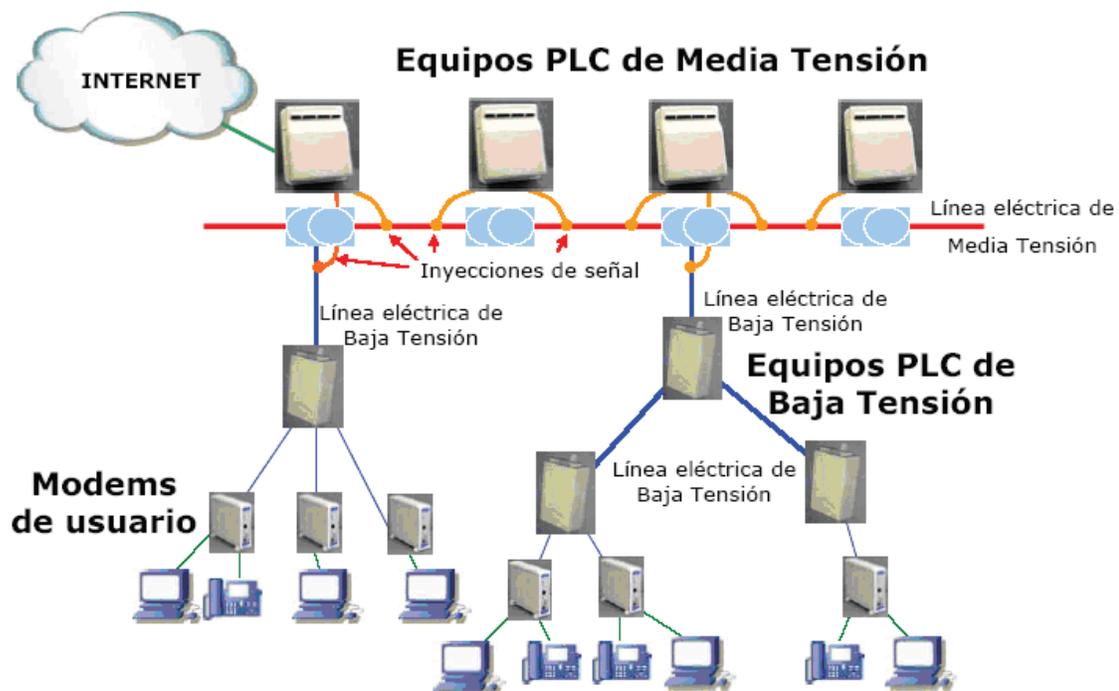


Figura 2.16: Topología Tipo Árbol de la Red PLC

En la *Tabla 2.6* se indica la interacción que se efectúa entre los equipos conectados a la red PLC, y el nivel jerárquico que presentan

INICIO		FIN		
		UA	UR	UU
	UA	NO	SI	SI
	UR	SI	SI	SI
	UU	SI	SI	NO

Tabla 2.6: Nivel jerárquico que permite el Monitoreo de los equipos en la red PLC

2.4.1.2 Topología lógica de la Red PLC

La topología lógica se refiere a como la información viaja por los medios del cableado eléctrico. En el sistema PLC se considera dos tipos de transmisiones:

- La información que viaja de la estación maestra a los usuarios
- La información que viaja de los usuarios a la estación maestra.

Estos dos tipos de transmisiones son consideradas como tipo bus lógico; es decir, conectando las estaciones de red con una estación maestra, la cual provee la comunicación a toda la red de distribución eléctrica. Cada nodo supervisa la actividad de la línea. La información que va de la estación maestra es detectada por todos los nodos aunque solamente es aceptada por el nodo o los nodos hacia los que va dirigido. Como una red en bus se basa en una "autopista" de datos común, un nodo averiado sencillamente deja de comunicarse; esto no interrumpe la operación.

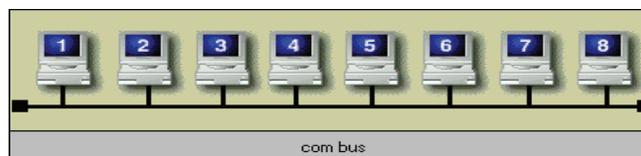


Figura 2.17: Topología Lógica Tipo Bus empleada por PLC

2.4.2 SISTEMAS PLC

Dependiendo del segmento de la red eléctrica en que se aplique la tecnología PLC se pueden crear diferentes sistemas o redes PLC.

2.4.2.1 Sistema de Distribución

Esta sección conecta los equipos PLC instalados en diferentes subestaciones transformadores de la red eléctrica de distribución. Esta interconexión se puede realizar mediante conexiones PLC de media tensión, enlaces de fibra óptica u otras tecnologías como xDSL o LMDS (enlaces de micro-ondas). En algún nodo de la red de distribución, hay un enlace a la red del proveedor de servicios, permitiendo el acceso a los contenidos y servicios de banda ancha.

Los servicios y aplicaciones que se pueden obtener son: acceso a Internet, telefonía convencional, servicios de Voz sobre IP entre otros. El equipo utilizado en esta sección depende del tipo de servicio a ofrecer pero ha de ser necesario algún tipo de switch para realizar las conexiones.

Una red de distribución PLC utiliza las líneas de MT que trabajan en el rango de 45 kV y 66 KV con salida a 13,2 kV, se lleva la señal hasta los centros de transformación de distribución con entrada en 13,2 kV y salida entre 110/220 V BT, desde donde se distribuye la señal para uso doméstico, comercial e industrial. En este sistema las Unidades de Acondicionamiento se interconecta entre si. El sistema PLC de Media Tensión tiene una velocidad aproximada de 135 Mbps. La tecnología utilizada en los equipos de media tensión es la misma que los equipos de baja tensión, pero adaptados para mejorar su rendimiento, fiabilidad y latencia (retardo). Esto es adecuado en lugares en los que a causa de una baja densidad de clientes, no es rentable desplegar toda una red de distribución. Un backbone con tecnología PLC representa un importante ahorro ya que implica no hacer una inversión en la instalación de nueva infraestructuras ofreciendo un rápido despliegue. La desventaja es que no es una tecnología masiva y presenta problemas de interferencia y calidad.

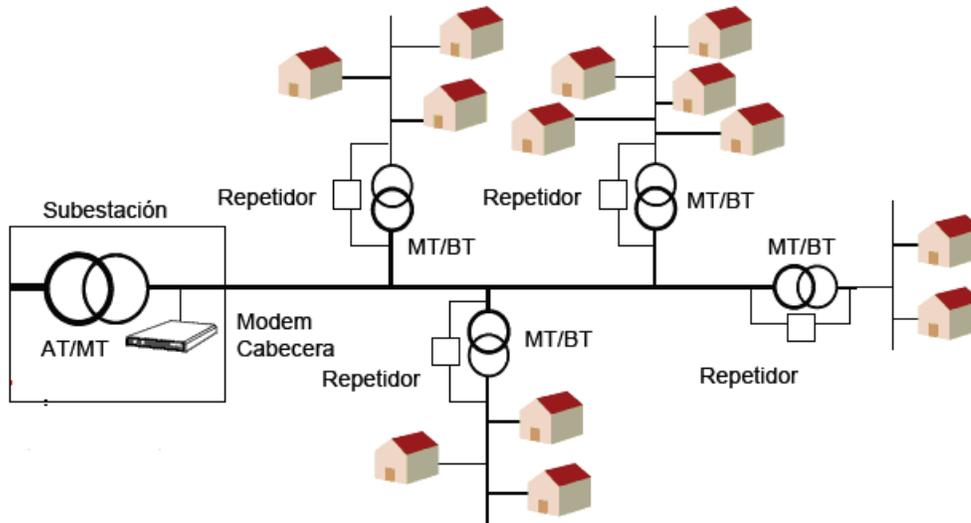


Figura 2.18: Sistema PLC de Distribución que utiliza la red Media Tensión Eléctrica

La red de distribución PLC no tiene problemas técnicos pero sólo se utiliza para transportar datos, no llega a la última milla. La implementación de este tipo de red no es viable ya que el problema radica en las distancias a cubrir, lo que incurriría en la colocación de un gran número de unidades repetidoras que encarecerían esta red.

2.4.2.2 Sistema PLC de Acceso

La Red de Acceso Outdoor utiliza el tendido eléctrico de baja tensión y comprende desde el transformador de distribución hasta el contador de energía eléctrica. En telecomunicaciones se conoce a este tramo como "última milla". Un equipo de cabecera estándar sirve aproximadamente a unos 50 usuarios (en Ecuador), ofreciéndoles un espectro cercano a los 20 MHz en el caso de clientes próximos, o entre 1 MHz y 10 MHz para clientes lejanos. El bucle local es el mismo cable de la acometida eléctrica del hogar. Complejas técnicas de transmisión digital permiten aprovechar estos cables para llevar las señales de los servicios de telecomunicación. Se utiliza el rango entre 3 MHz y 12 MHz el cual tiene mejor respuesta a la distancia. Transmite velocidades de 45 Mbps. La tecnología PLC tiene mejores alcances en este tramo de la red eléctrica.

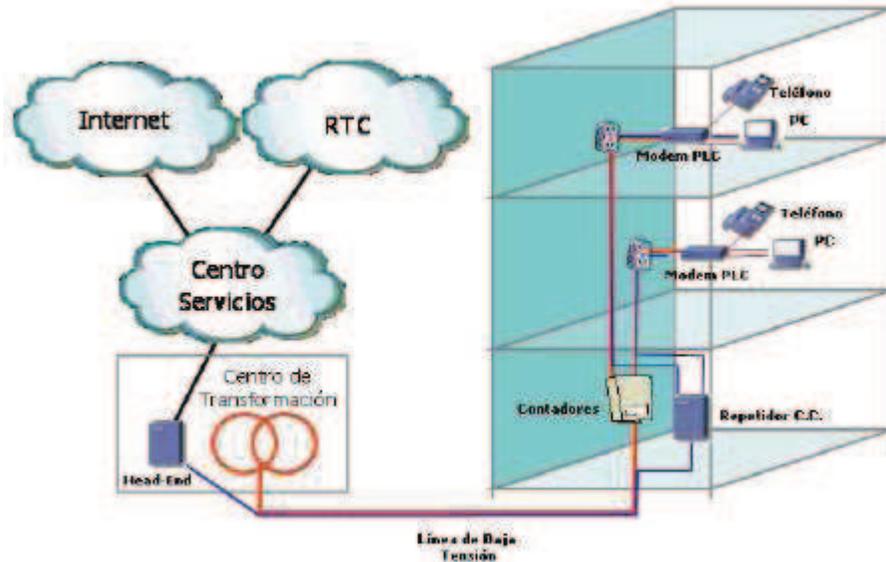


Figura 2.19: Sistema PLC de Acceso

2.4.2.3 Sistema PLC doméstico

También conocido como Red In-Home o Red Doméstica, comprende el tramo que va desde el contador de energía hasta los toma corrientes al interior de los hogares. Utiliza la red eléctrica interior del hogar, permitiendo comunicaciones internas y la creación de redes de áreas locales. El segmento de distribución doméstica presenta características similares a los del Sistema PLC de Acceso, pero diferenciadas por las dimensiones: la distancia a cubrir es menor (del orden de 50 m) y el número de ramas también es menor y más corto. En este tramo se utiliza el rango de frecuencia de 13 MHz a 30 MHz debido a que es más susceptible a la distancia. Permite velocidades de transmisión de 2 Mbps compartido entre los usuarios que acceden a la red.

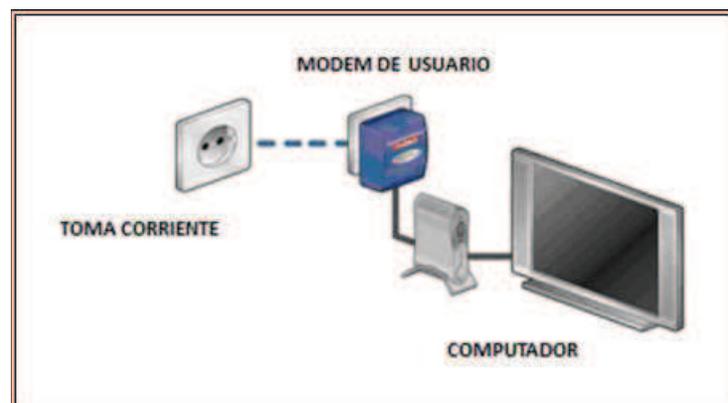


Figura 2.20: Sistema PLC Doméstico

Un antecedente del uso de las redes eléctricas para redes PLC doméstico es para la transmisión de datos usando el protocolo X-10²², utilizado en muchas aplicaciones de domótica. Con los años se ha convertido en una de las tecnologías más asequibles, para realizar instalaciones domóticas no muy complejas. Mediante avanzados estándares hoy en día desarrollados, se puede contar con el estándar HomePlug que proporciona un ancho de banda de hasta 85 Mbps según el equipo elegido en las redes PLC Domésticas.

2.4.2.4 Sistemas de Gestión

La administración de la red juega un rol vital ya que se debe garantizar la mejor utilización del medio de transmisión compartido y a la vez proveer una calidad de servicio satisfactoria. Los sistemas PLC presentan normalmente interfaces de gestión como el Protocolo de administración simple de la red SNMP, navegador de red (http) o Telnet que permiten el monitoreo del estado de la red para recoger las estadísticas que proporcionan los datos, diagnósticos, configuración y actualizaciones. Estos componentes soportan otras capacidades como la prioridad de tráfico, la asignación de ancho de banda, la calidad de servicio (QoS) y LANs virtuales (VLANs) (802.1Q).

El propósito del Monitoreo de la red PLC es para medir la variación de la respuesta del canal a través del tiempo. Las características de un canal de PLC varían con el tiempo, por tanto, el canal no es constante, lo que afecta el rendimiento de la transmisión. Este efecto significa que el equipo PLC requiere tener un mecanismo para adaptar sus parámetros a las características reales de ese vínculo, a fin de optimizar la transmisión de información entre los dos puntos del enlace.

- **Herramientas de administración:** A través de una herramienta de software de interoperabilidad se puede configurar el equipamiento, administrar la red y realizar el mantenimiento remoto de toda la Red PLC. Este sistema de gestión centralizada de redes permite:

²² Protocolo X-10 utilizado para comunicaciones a través de la red eléctrica, muy utilizado en domótica.

- Interoperabilidad (tanto a nivel de dispositivos como del sistema o servicio)
- Mayor flexibilidad y la funcionalidad del sistema
- Una plataforma robusta que permita la instalación, configuración, vigilancia y el control de las redes eléctricas que llevan las señales de datos.
- Perfecta integración con las redes IP
- Verdadera conectividad de extremo a extremo entre personas y dispositivos usando las redes eléctricas.
- Infraestructura y herramientas de apoyo

2.4.3 CONFIGURACIÓN DE UNA RED PLC

Una red PLC se encuentra configurada por los siguientes elementos:

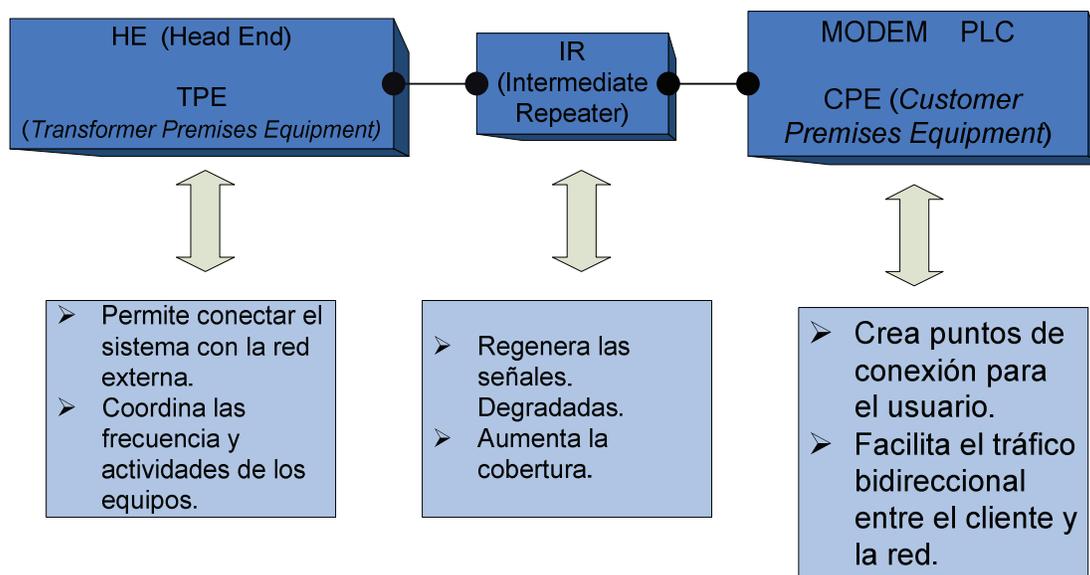


Figura 2.21: Elementos de la red PLC

2.4.3.1 HE o Unidad de Acondicionamiento

Es el componente principal en la topología de una red PLC, emite señales de baja potencia (50mW) y coordina las frecuencias y actividades del resto de equipos que conforman la red de manera que se mantenga constante el flujo de datos durante la transmisión. Además permite conectar el sistema de la red a un backbone de telecomunicaciones (WAN, Internet, etc.) o al proveedor de servicios de Internet (ISP), por lo que es el interfaz entre la red de datos y la red eléctrica.

Las UA PLC se ubican en cada subestación de distribución eléctrica, cerca al transformador de media a baja tensión. Esto depende realmente del modelo del sistema PLC que se implemente. Una UA puede llegar a contener unas doce unidades transmisoras con una estructura típica de armario o rack, integradas en un mismo módulo. Cada una puede comunicar un canal y ofrecer servicio a unos 50 usuarios normalmente. Los datos ingresan a estas estaciones y son incorporados a la señal eléctrica. La elección de su ubicación es un aspecto clave de la arquitectura de una red PLC, ya que es esencial que la introducción del flujo de datos tenga la máxima cobertura o alcance posible.



Figura 2.22: Unidad de Acondicionamiento instalada en una Cámara de Transformación

Existen Unidades de Acondicionamiento de MT que transmiten las señales a una distancia de 1500 m y las UA de BT tienen un alcance de 150 m.

Estos equipos poseen varias tarjetas, lo que permite flexibilidad en el desarrollo del diseño.

- **Tarjetas BT (Baja tensión):** Inyectan la señal de datos a los cables de baja tensión.
- **Tarjetas MT (Media tensión):** Permiten la interconexión de subestaciones o CT utilizando como red de distribución las redes de MT.
- **Tarjetas “Fast Ethernet” o “Gigabit Ethernet”:** Permiten la interconexión de subestaciones a través de interfaces RJ-45 o GbE convencionales. Esta tarjeta permitirá la conexión del enlace de FO a la UA.

- Velocidad máxima de 100 Mbps de ancho de banda.
- Soporta hasta 256 usuarios.
- DHCP/DNS/FTP Server/ Cliente
- Posee una interfaz Ethernet 10/100 base T

La UA poseen los equipos más robustos y costosos de la red, por lo que deben ubicarse en un lugar que cumpla requisitos de seguridad y fácil alcance.

2.4.3.2 Unidad Repetidora

Se usa para extender el alcance de la señal de datos. Es requerido cuando existe una distancia considerable entre la Unidad Acondicionadora y la Unidad de Usuario. Su función es regenerar la señal afectada por la atenuación del medio de transmisión debido a la distancia. Consigue altas velocidades de transmisión en lugares alejados de la UA. La UR aumenta la cobertura del servicio y se conecta a las líneas eléctricas mediante acopladores eléctricos. En general se trata de evitar el uso de los repetidores tanto como sea posible, ya que agregan costos adicionales a la red PLC.

- Permite velocidades de 45 Mbps
- Permite 32 conexiones simultáneas (esclavos).
- Posibilidad de manejo de 64 direcciones MAC.
- Alta sensibilidad del receptor para asegurar su cobertura.
- Fácil sistema que emplea el concepto de VLAN y servicios QoS.



Figura 2.23: Unidad Repetidora PLC

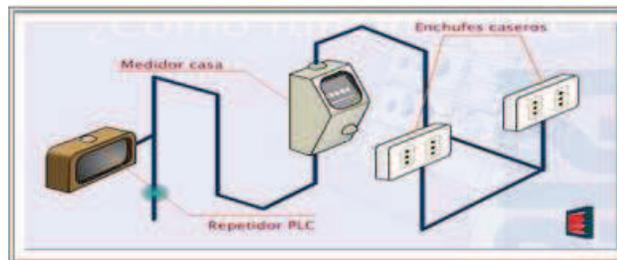


Figura 2.24: Posición de la Unidad Repetidora en la Red Eléctrica

2.4.3.3 Unidad de Usuario o MÓDEM PLC

Dispositivos terminales que se enchufan en la Red de suministro eléctrico, para utilizar esta como medio del enlace de datos. Permite conectar un equipo a la red de datos establecida por la UA. Se ubica en los hogares de los usuarios. Su función es convertir cada toma de corriente en un punto de conexión de terminal de usuario.

Este adaptador eléctrico es un dispositivo pasivo²³. Que se encarga de inyectar la señal de alta frecuencia de datos en la red eléctrica. Consta básicamente de unidades acondicionadoras (UA) que filtran las señales para hacer fluir la energía eléctrica a través de las tomas de corriente y a su vez dejar pasar los datos, liberándolos mediante un interfaz PCI, USB, Ethernet, Wireless LAN u otros, facilitando el tráfico bidireccional entre el cliente y la red. Este equipo sería el equivalente al “splitter” de ADSL. Las UU reportan sus actividades a las unidades de acondicionamiento.



Figura 2.25: Unidad de Usuario PLC

Su arquitectura interior esta conformada de tres partes:

1. Filtros y acoplamiento de la señal
2. Procesamiento interno de la señal (DSP)
3. Interfaz de conexión hacia el usuario

²³ *Dispositivo Pasivo*: No incrementa la energía o modifica la frecuencia de la señal que se le aplica

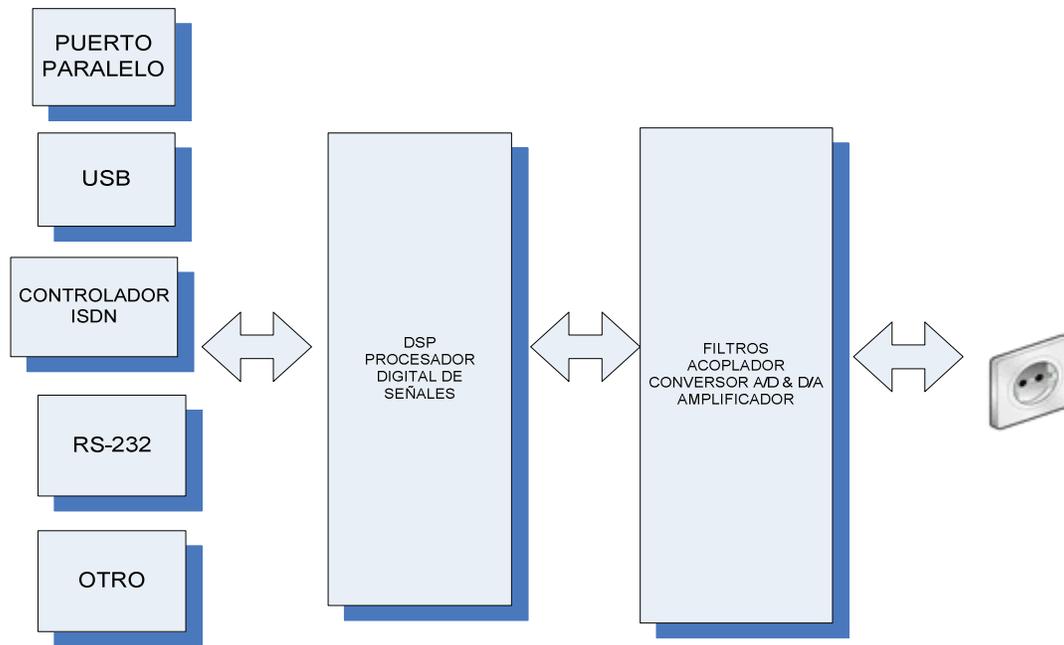


Figura 2.26: Diagrama funcional de la Unidad de usuario PLC

➤ Funciones

- Facilita la conexión con el usuario final
- Cada toma eléctrica se convierte en una toma de datos
- Permite servicios “triple play” (Voz , Datos e imagenes)
- Fácil instalación (“plug&play”)
- No requiere configuración adicional por parte de los usuarios
- Provisión de soporte automático (DHCP)
- Administración remota (SNMP)
- Tiene conexiones Ethernet (RJ45), USB y una conexión análoga para teléfono (RJ11).
- Las velocidades de transferencia ofrecida por el sistema, son de 256 Kbps a 2.7 Mbps.
- Se pueden conectar un máximo de dieciséis UU en los hogares pero no se recomiendan más de diez UU.

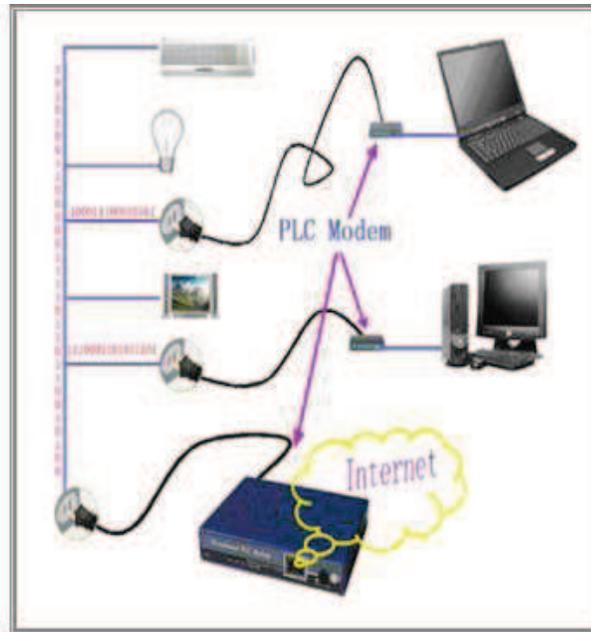


Figura 2.27: Conexión de la Unidad de Usuario

Tanto las UA como las UU poseen un equipamiento que contiene filtros para las señales de electricidad y de los datos, lo que facilita el acoplamiento entre los clientes y una subestación eléctrica. Este elemento recibe la señal proveniente de la red eléctrica sea de MT o BT, la cual se introduce en un Filtro Pasa-Bajo que permite pasar señales de baja frecuencia donde viajan las señales de energía eléctrica, enviándolas al puerto de distribución eléctrica (PDE) para su distribución, cancelando la señal de alta frecuencia. Otro Filtro Pasa-Alto extrae la señal de alta frecuencia donde viajan los datos y cancela las señales de baja frecuencia. Este filtro libera los datos a través del puerto de distribución de comunicaciones (PDC) mediante interfaz Ethernet, USB, Wireless 802.11b u otro que el equipo PLC posea, facilitando el tráfico bidireccional entre el cliente y la red. El filtro pasa bajos también sirve para atenuar los ruidos provocados por las aplicaciones eléctricas, ya que si se dejaran pasar estos ruidos se provocaría distorsiones significativas en la red.

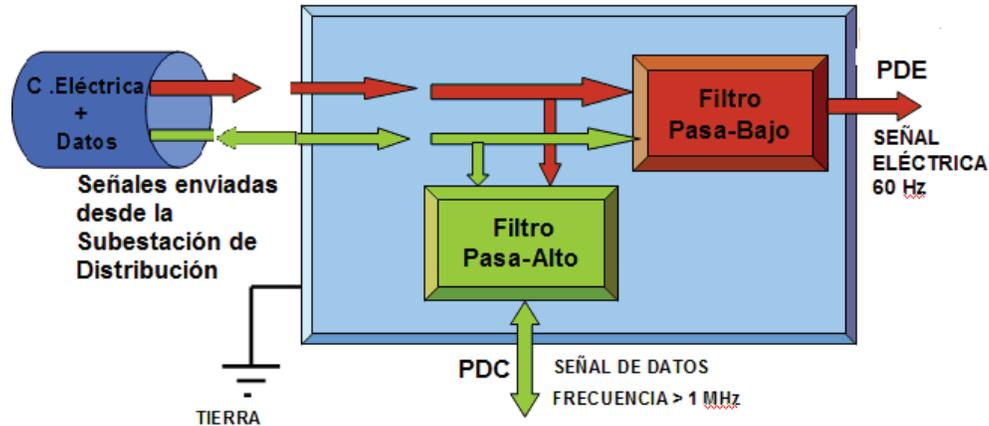


Figura 2.28: Tipo de filtros instalados en los equipos PLC

2.4.4 ELEMENTOS ADICIONALES PARA ESTRUCTURAR LA RED PLC

2.4.4.1 Acoplamiento de las Líneas Eléctricas

Las unidades de acoplamiento son elementos que permiten físicamente, adaptar e inyectar la señal digital PLC a la red eléctrica de media o baja tensión en niveles de hasta 24 kV. Los circuitos de acoplamiento deben ser cuidadosamente diseñados para así entregar la señal específica de transmisión con el apropiado ancho de banda y el nivel de seguridad requerido. Los transformadores de distribución atenúan significativamente la mayoría del espectro de RF utilizado por PLC ya que actúa como circuito abierto. Una solución es crear un camino para el paso de la señal de alta frecuencia en la que viajen los datos este camino se denomina bypass.

Es fundamental que este camino se limite sólo a la señal PLC y no a los 60 Hz de electricidad. Las ventajas del bypass es su bajo costo, facilidad de instalación, mantenimiento y que no disminuye la fiabilidad eléctrica. El bypass, como se muestra en la *Figura 2.29*, está compuesto de un acoplador inductivo de MT, una UA y un acoplador BT. El acoplador de BT puede ser inductivo o capacitivo. Es preferible la instalación de soluciones inductivas por comodidad.

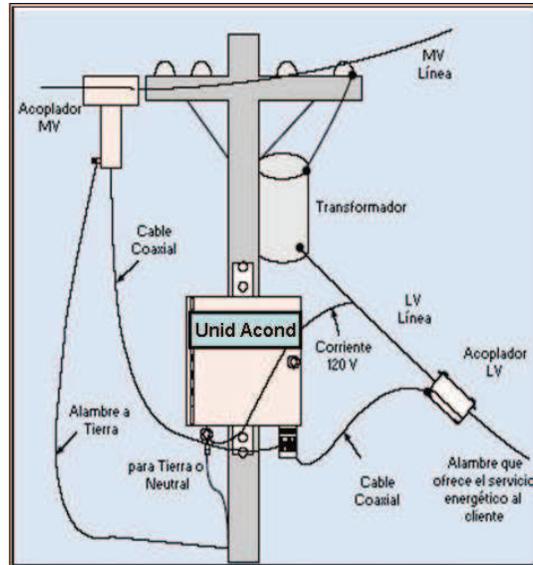


Figura 2.29: Bypass en el Transformador eléctrico

2.4.4.1.1 Tipos de acoplamiento

Uno de los retos de los sistemas PLC es el método a utilizar para acoplar la señal de comunicaciones en la red eléctrica. En el receptor se desea un fuerte rechazo de banda para bloquear la señal de 110 V, 60 Hz, pero sin atenuar las señales de alta frecuencia. En el lado del transmisor se desea tener propiedades de paso amplio a la señal de comunicaciones para que no sea atenuada. Además para que la atenuación de la señal sea pequeña se desea que el acople tenga una impedancia muy parecida.

Existen dos métodos de acoplamiento: acoplamiento capacitivo paralelo a la red eléctrica o acoplamiento inductivo mediante el uso de un núcleo magnético.

2.4.4.1.1.1 Unidades de Acoplamiento Capacitivo

Este tipo de acoplamiento inyecta la señal en las líneas eléctricas por contacto directo permitiendo el acoplamiento mediante tensión a través del núcleo. Estos dispositivos maximizan el ancho de banda, optimizando la adaptación de impedancias entre la línea de media ó baja tensión y el equipo de comunicaciones PLC. Este tipo de acoplamiento es muy utilizado para líneas aéreas y en instalaciones de interiores. Presenta una mínima atenuación de la señal, es de tamaño reducido, ideal para lugares poco espaciosos, etc. y se conecta entre fase y neutro. Tienen menor pérdida que los inductivos, pero su manipulación exige eliminar la corriente por los cables durante su instalación.

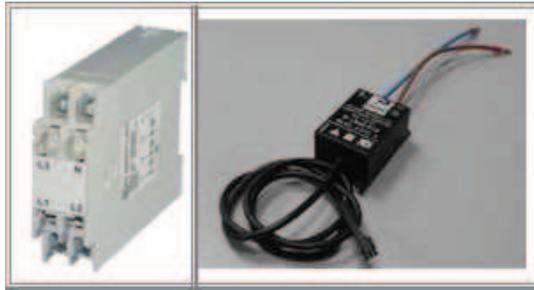


Figura 2.30: Unidad de acoplamiento capacitivo

2.4.4.1.1.2 Unidades de Acoplamiento Inductivo

Inyectan la señal sin contacto directo, mediante la inducción de un campo magnético. Permite acoplarse a diversos niveles de corriente (50 A - 150A) sin necesidad de intervenir en el circuito no interrumpiendo así el servicio del suministro de energía eléctrica. Mediante el acoplador inductivo se permite que la señal PLC no se pierda por la presencia de transformadores en redes de MT a BT continuando así el camino hasta el domicilio del usuario.



Figura 2.31: Unidad de acoplamiento inductivo

Además se emplean cajas de distribución, filtros y accesorios de cableado para completar la instalación de una red PLC.

- **Cajas de distribución:** se emplean cuando debe acoplarse más de un cable en modo capacitivo, o dos en modo inductivo.
- **Filtros de Coexistencia:** Dado que secciones contiguas de la red de distribución utilizan diferentes frecuencias portadoras para transmitir la señal PLC, se utilizan filtros de coexistencia antes de inyectar en la red la señal que viene de las tarjetas de media o baja tensión de los equipos PLC.

- **Filtros de Bloque y Unidades de Adaptación de Impedancias:** Es necesario colocar filtros de bloque para eliminar las interferencias que se pueden inducir a otros usuarios u otras partes del edificio, así como, en ocasiones, usar unidades de adaptación de impedancias en la conexión eléctrica del domicilio.

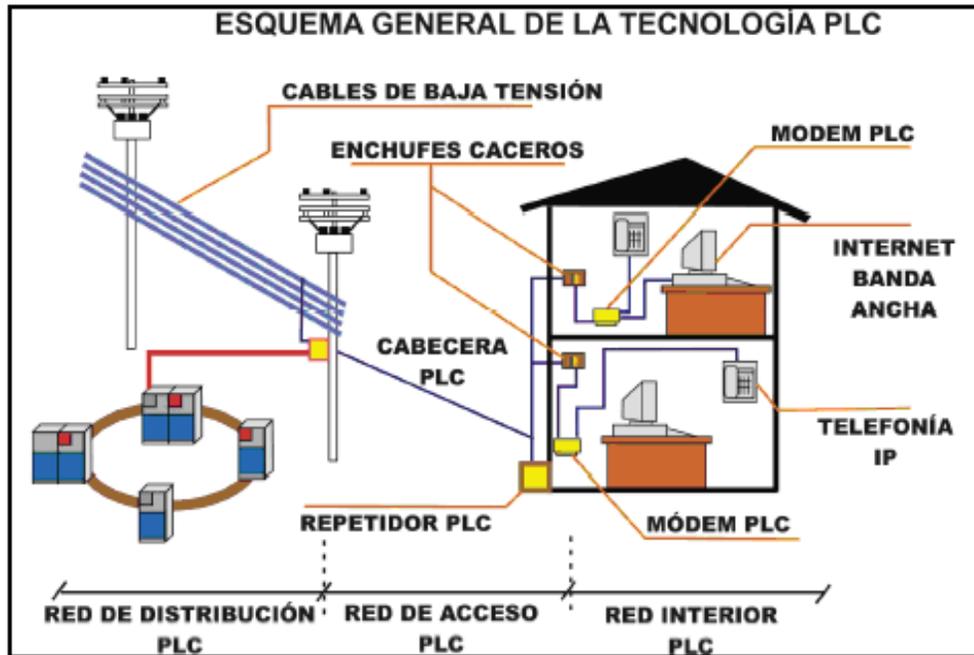


Figura 2.32: Esquema general de la tecnología PLC

2.4.5 LIMITACIONES TÉCNICAS DE PLC

Considerando que las redes eléctricas no han sido creadas con el propósito de transmitir información, estas representan un medio hostil para la transferencia de datos. PLC al ser una tecnología emergente se enfrenta a varios inconvenientes que deterioran su desempeño y limitan su implantación.

Dos de los problemas más importantes que enfrenta esta tecnología son los niveles excesivos de ruido y la atenuación de la señal a las frecuencias de interés. Para que un sistema PLC funcione adecuadamente, debe ser capaz de evitar o sobreponerse a los diferentes tipos de ruido que ocurren a diferentes frecuencias y en cualquier momento. La atenuación en las líneas de potencia muchas veces es alta e impredecible. Además es muy difícil obtener un modelo significativo de este canal debido a su drástica variación con el tiempo, por la constante conexión y desconexión de dispositivos.

Entre los aspectos técnicos que hacen difícil el desarrollo de un sistema de comunicaciones PLC se destacan:

- ***El mal estado de las instalaciones eléctricas:*** Cuando una línea eléctrica está llena de empalmes, no se encuentra debidamente aislada, se ha humedecido por la entrada de agua en los ductos eléctricos, el sistema está mal aterrizado o no dispone de uno, el cable es antiguo lo cual hace que se deterioren sus características físicas y eléctricas, esto hace que la transmisión de la señal no se de en forma confiable hacia los conectores de la casa. Por lo que es necesario analizar el cableado eléctrico para eliminar o aislar los problemas.
- ***PLC tiene limitantes en cuanto a distancia:*** La distancia que una señal de PLC puede viajar varía y depende de muchos factores. Los factores principales son la impedancia, la atenuación y la relación de señal-ruido (SNR).
 - ***Impedancia:*** Es una expresión para describir la oposición que un componente electrónico ofrece a la corriente eléctrica. La impedancia depende en gran parte del tipo de metal y del diámetro del cable. Cables de cobre o acero poseen impedancias relativamente bajas en comparación con el aluminio que tiene una impedancia mayor. Entre mayor sea la impedancia menor será la distancia que viajará la señal a lo largo del medio.
 - ***Atenuación:*** Es la pérdida de potencial de una señal cuando transita por cualquier medio de transmisión. Al introducir una señal con potencia en un circuito pasivo, como puede ser un cable, esta sufrirá una atenuación y al final de dicho circuito obtendremos una potencia diferente.
 - ***Relación Señal-a-ruido (SNR):*** Es el valor en decibelios de la relación entre el ruido de alta frecuencia natural en cualquier medio y la señal. Una relación señal a ruido muy baja dificulta la distinción entre la señal y el ruido de las líneas. La utilización de filtros puede mejorar la relación señal a ruido. Sin embargo la implementación de tales filtros es compleja. En cualquier sistema de comunicaciones, la SNR limita la capacidad de transmisión en Mbps.

- ***Número de hogares servidos por transformador:*** Debido a que las señales de datos de PLC no sobreviven al pasar por un transformador, solo se utilizan en la última milla, en Europa se coloca un transformador por cada 150 hogares aproximadamente, mientras que en Ecuador se tiene un promedio de 50 hogares por transformador de baja tensión. Esto hace que sea necesario instalar una Unidad de Acondicionamiento por cada transformador del sistema eléctrico y cuanto menor sea el número de usuarios por cada transformador, más se elevarán las inversiones necesarias para establecer la red.
- ***Problemas de Interferencia:*** En los despliegues realizados de la tecnología PLC se han registrado interferencias y perturbaciones en otros servicios como las comunicaciones de radio, específicamente en las bandas de HF y VHF. Los cables conductores comienzan a emitir señales, generando interferencia en las bandas anteriormente señaladas, perjudicando comunicaciones como el de los radioaficionados.
- La interferencia en la tecnología PLC es provocada por varias fuentes, siendo las más frecuentes las que se crean al inyectar los datos en la red eléctrica, mediante la modulación de la señal, lo que genera que algunas de estas señales salgan de la red eléctrica, otro tipo de interferencia es la que se obtiene de otros equipos que transmiten en las mismas frecuencias y que utilizan la red eléctrica como medio de transporte. Estas emisiones de señales fuera de la red eléctrica causan pérdida de los datos e interfieren con otras señales: Radioaficionados, equipo de radio de taxistas ó ambulancias se ven afectadas por esta interferencia. Otra causa de interferencia es la característica del cable eléctrico que funciona como una antena al no estar cubierto por un aislante. Realizar mediciones para determinar las interferencias conducidas en PLC de acceso, es difícil ya que existe un peligro de seguridad debido a las altas tensiones en las redes eléctricas.

- En la *Tabla 2.7* se muestran los valores límite de radiación que debería emitir la señal PLC para no causar interferencias con otras frecuencias.

Uso	Frecuencia (MHz)	Límite de Radiación (uV/metros)	Distancia (m)	Ancho de Banda (kHz)
Portadora MT/BT	1.705 - 30	30	30	9
Clase A Comercial MT	30 - 88	90	10	120
Clase B Residencial BT	30 - 88	100	3	120

Tabla 2.7: Límite de interferencias estipulados por la FCC

- Procedimiento de Medición de Interferencias: La FCC (Federal Communications Commission) de los Estados Unidos ha desarrollado pruebas que permiten realizar mediciones para determinar los valores de interferencias y radiación presentes en la red PLC. La medición se realiza debajo de tres puntos representativos de la red eléctrica aérea ó subterránea. En el caso de la Red de acceso, instalado en las líneas eléctricas aéreas, el equipo de medición es una antena la cual se coloca debajo del punto de inyección y se mueve en forma paralela a los cables eléctricos hasta alcanzar una distancia de 30 m para frecuencias menores de los 30 MHz. La distancia entre la línea eléctrica y la antena de medición es conocida como “distancia de inclinación” como se muestra en la *Figura 2.33*.

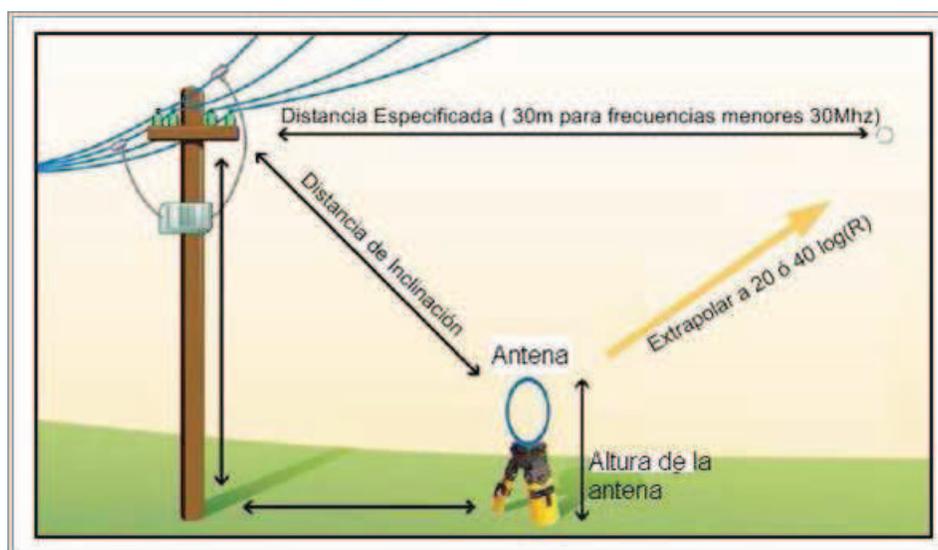


Figura 2.33: Esquema de mediciones de interferencias

Es importante aclarar que existen diferentes frecuencias que no necesariamente tienen que interferir con la banda de HF y que funcionan perfectamente para aplicaciones industriales con PLC.

- ***Interferencias por los tipos de Ruido:*** debido a que la red no se encuentra protegida contra las ondas de radio ni contra el ruido electromagnético se producen interferencias debido a los tipos de ruido que pueden generarse. La causa más común del ruido en una línea eléctrica son los múltiples dispositivos domésticos o industriales conectados a la misma. Una característica común a todos estos tipos de ruido es que su comportamiento depende de la frecuencia y el instante en que aparecen es impredecible. El ruido y perturbaciones en la red eléctrica incluyen sobrevoltaje, bajo voltajes, variaciones de frecuencia.
- Barreras de Conexión para la señal de datos en la red eléctrica. Existen barreras en forma directa e indirecta para la señal de datos en la red eléctrica como:
 - Los medidores de consumo de electricidad atenúan la señal tanto que es prácticamente imposible tener una comunicación libre de errores a través de ellos.
 - La caja de distribución representa otra barrera de conexión. Este nodo central entre diferentes instalaciones muestra una extrema baja impedancia y acaba con la mayoría de la señal de alta frecuencia impidiendo una comunicación PLC.
 - Existe el riesgo de que los cables de una instalación estén a pocos metros de los de una instalación ajena en el mismo ducto, ya que por la falta de blindaje, las líneas se comportan como antenas y pueden transmitir señales interceptables entre los dos sitios. Además podría alguien con malas intenciones conectarse al contador de energía para acceder a la red.

2.4.6 REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD Y CALIDAD DE SERVICIO EN LAS REDES PLC

Como todo medio de transmisión público, se van a presentar problemas de seguridad en la transmisión de datos a través de las redes eléctricas.

PLC parte de la base que múltiples viviendas compartirán un mismo centro de transformación y la misma línea eléctrica. La red de transmisión de datos que pertenezca a un usuario específico va a circular por la vivienda de otro, no obstante la tecnología PLC ha sido pensada de tal manera que se minimice la cantidad de información que pueda transmitirse por la línea de otros usuarios. Para poder interceptar el tráfico de datos de una red PLC sería necesario haber accedido previamente a la red eléctrica.

2.4.6.1 Seguridad en Redes PLC

El hardware para la implementación física de la tecnología PLC incluye mecanismos de encriptación, de tal manera que todos y cada uno de los paquetes son encriptados antes de su transmisión a la red eléctrica, de esta manera cada uno de los usuarios vería la señal del otro como ruido. Esto se logra al tener cada usuario una “llave” única para la decodificación de las señales y todo lo que se transmita en su propia LAN será visible para él mientras que no lo será para el resto de los usuarios.

La tecnología PLC actual contempla una encriptación de datos para impedir la interceptación del tráfico de datos, denominado Data Encryption Standard (DES)²⁴ es un algoritmo de cifrado, que cifra información para dar seguridad, DES ha sido sometido a un intenso análisis académico lo que dio un concepto moderno del cifrado por bloques y su criptoanálisis. En criptografía el Triple DES (TDES o 3DES) es el algoritmo que hace triple cifrado del DES. Una encriptación de 56-Bit puede ser insegura (normalmente es el sistema de

²⁴ *DES (Data Encryption Standard)*: Esquema de encriptación simétrico, se creó con el objeto de proporcionar un algoritmo de cifrado normalizado para redes de ordenadores. Se basa en un sistema monoalfabético, con un algoritmo de cifrado consistente en la aplicación sucesiva de varias permutaciones y sustituciones. Se somete a dos funciones principales, una función de permutación con entrada de 8 bits y otra de sustitución con entrada de 5 bits, en un proceso que consta de 16 etapas de cifrado. DES utiliza una clave simétrica de 64 bits, de los cuales 56 son usados para la encriptación, mientras que los 8 restantes son de paridad, y se usan para la detección de errores en el proceso. Como la clave efectiva es de 56 bits, son posibles un total de 2^{56} claves, es decir, unos 72.000 billones de claves. La clave utilizada por Triple DES es de 128 bits (112 de clave y 16 de paridad), es decir, dos claves de 64 bits (56 de clave y 8 de paridad) de los utilizados en DES. Otra forma de utilizar Triple DES es con una clave de 192 bits (168 bits de clave y 24 bits de paridad). En este caso se cifrará primero con k1, a continuación con k2 y finalmente con k3. Para ser compatible con DES es necesario que $k1=k2=k3$.

cifrado que viene en la mayoría de equipos PLC). Para solucionar el problema con la longitud de la clave es preferible el algoritmo Triple DES, que consiste en utilizar tres veces DES. La clave utilizada por Triple DES es de 128 bits (112 de clave y 16 de paridad); es decir, dos claves de 64 bits (56 de clave y 8 de paridad) de los utilizados en DES. El motivo de utilizar este tipo de clave es la compatibilidad con DES. Si la clave utilizada es el conjunto de dos claves DES iguales, el resultado será el mismo para DES y para Triple DES.

Para aplicaciones que manejan datos sensibles, se recomienda mejorar aún más la seguridad mediante conexiones SSL y VPN. Además la seguridad dentro de la red PLC está garantizada por medio de mecanismos de autenticación basados en protocolos cliente/servidor; en estos el servidor actúa controlando el tráfico hacia y desde los clientes y aquellos mantienen su privacidad por medio de la implementación de redes virtuales (VLAN). Con un nivel de seguridad así, se considera casi imposible que alguien pueda acceder a los datos.

2.4.6.2 Calidad de servicio QoS

Los requisitos para obtener una QoS están relacionados de acuerdo al tipo de datos como por ejemplo la reproducción en tiempo real de vídeos, música, voz o datos. Para obtener una QoS excelente para reproducir datos, los niveles de prioridad pueden ser configurados colocando etiquetas al principio de los tramas de datos. Cada aplicación debe contar con el ancho de banda adecuado para asegurar la Calidad del Servicio. En el pasado, esto no representaba un problema puesto que cada aplicación tenía una línea dedicada, pero hoy que todas están integradas, se debe identificar el contenido de los diferentes paquetes de información, conocer si se trata de un paquete de voz o de video, ya que se requiere asignar el ancho de banda adecuado, para que las aplicaciones no se vean afectadas entre sí.”

Debido a la competencia del mercado, la tecnología PLC debe ofrecer una amplia gama de servicios, QoS (Calidad de Servicio) y precio razonable. Permitiendo garantizar a los usuarios bajos niveles de retardo en la transmisión de datos en una red de extremo a extremo no excediendo un nivel

específico de tiempo y que garantice un ancho de banda específico para un servicio. Las redes eléctricas son un medio hostil para medidas de Calidad de Servicio debido a su variabilidad con el tiempo.

La QoS a partir de configuraciones definidas por la red eléctrica, debe ser analizada por el desempeño en la variación de los siguientes parámetros:

- Cantidad de usuarios conectados simultáneos
- Tipos de aplicación
- Protocolo de transporte
- Tamaño del paquete IP(Internet Protocol)
- Dirección del tráfico (“upload” y “download”).

Los parámetros mínimos recomendables son:

- Tasa de pérdidas de paquetes
- Prueba de latencia (pertinente para aplicaciones “real equipo”)
- Jitter (variación del atraso) verificación de la priorización del tráfico de servicios
- Análisis de priorización de tráfico.

2.4.7 COMPATIBILIDAD DE PLC CON REDES EXISTENTES

La implementación de redes PLC no debe ser considerado como un reemplazo de las tecnologías existentes, sino como una solución complementaria que trabaja en conjunto con otras tecnologías de acceso para llegar a mas usuarios, PLC resuelve la última milla, pero requiere la interacción con otras tecnologías para acceder a la columna vertebral de la red de datos como son: tecnología satelital, fibra óptica, redes inalámbricas Wi-Fi o WiMAX.

- PLC-ADSL: Instalaciones en edificios, hogares, oficinas, hoteles etc.
- PLC-WiFi: Red de distribución con enlaces punto-punto, punto-multipunto, zonas rurales.
- PLC-LMDS: Instalaciones en áreas urbanas, zonas de difícil acceso, zonas rurales.
- PLC-Satélite: Conexión con Internet en zonas de difícil acceso, zonas rurales.

2.4.7.1 PLC y un Enlace Satelital

Los enlaces por satélite proporcionan acceso rápido a Internet en zonas aisladas. Sin embargo, no es posible que cada cliente utilice un enlace por satélite de acceso. La interconexión entre la red de acceso PLC y un enlace por satélite permitiría la concentración del tráfico de un número de usuarios en el mismo enlace, teniendo una optimización del coste de los recursos satelitales y de limitar el número de antenas.

2.4.7.2 PLC y WIMAX

Wi-Fi es una tecnología madura y con la nueva solución WiMAX, estas tecnologías constituyen una alternativa real para lograr la conectividad y el ancho de banda que las soluciones estándar de cableado (como E1, E3 líneas dedicadas) son demasiado caros o cuando redes de fibra óptica no están desplegadas. El uso de WIMAX para la conexión a la columna vertebral de distribución y el uso del PLC puede ser una alternativa razonable. La banda ancha sobre la red eléctrica es una forma rápida y barata de llevar el servicio de datos a núcleos aislados en complemento con otras tecnologías.

2.4.8 VENTAJAS DE PLC

- Emplea la infraestructura eléctrica, por lo que no es necesario ningún tipo de obra adicional. Utiliza un sistema de cableado universal, cubriendo lugares apartados donde aún no ha llegado infraestructura de telecomunicaciones por lo que se permitiría un despliegue masivo de la tecnología PLC, a zonas de difícil acceso alámbrico.
- Menores costos para su despliegue dado que utiliza una infraestructura ya instalada. No se requiere de obras ni cableados adicionales a los ya existentes en el domicilio del usuario, aprovecha el cableado eléctrico para implementar redes locales Ejemplo: una LAN, ahorrando así en nuevo cableado UTP.
- Permite seguir prestando el suministro eléctrico con el mismo nivel de calidad, ya que utiliza las frecuencias situadas en la banda 1,6 MHz-30 MHz, muy superior a las de uso industrial (50Hz-60 Hz) de tal modo que no interfiere con el suministro eléctrico.

- Con la tecnología PLC, cada contacto eléctrico se convierte en un auténtico puerto de datos para establecer conexiones exteriores. Movilidad para los usuarios en redes hogareñas ya que esta presente en cualquier toma del hogar u oficina.
- PCL ofrece una instalación simple y rápida para el proveedor y en casa del cliente (solo es necesario conectar una Unidad de Usuario o MÓDEM PLC) a la toma eléctrica.
- Conexión a Internet a alta velocidad (hasta 2 Mbps) para usuarios domiciliarios. Con una conexión permanente (las 24 horas del día) y sin interrupciones.
- Es posible combinarla con otras tecnologías. PLC puede actuar como alternativa o complemento de otras tecnologías ya implementadas.
- Es una tecnología más económica comparada con las conexiones ADSL o por cable coaxial. No necesita línea telefónica y la velocidad de transmisión puede ir desde los 2.5 Mbps hasta 45 Mbps, superior a la conexión vía teléfono.
- Permite la transmisión simultánea de voz y datos sobre un mismo medio; originando la prestación de múltiples servicios, tales como: acceso a Internet de Banda Ancha, telefonía vocal con protocolo de IP, aplicaciones multimedia (videoconferencia, televisión interactiva, vídeo y audio bajo demanda, juegos en red, etc.).
- Permite a los usuarios no tener que recurrir a un proveedor de energía eléctrica, de Internet o de televisión por separado ya que con la Red PLC podrá gozar de todo junto a través de cualquier toma eléctrica.
- Nuevas oportunidades de negocio tanto para las compañías eléctricas que podrán diversificar sus operaciones entrando en el mercado de las telecomunicaciones.

2.4.9 DESVENTAJAS DE PLC

- Infraestructura de la red eléctrica deteriorada en interiores y exteriores. Es un problema para la tecnología PLC, ya que se deben establecer niveles de confiabilidad y seguridad, la calidad del funcionamiento de la red PLC depende de las condiciones en que se encuentre la red eléctrica, esto se refiere al estado de las líneas, en caso que las líneas estén deterioradas o existan cables en mal estado, la tecnología no se podría establecer.
- No se dispone de un marco normativo y regulatorio totalmente definido que permita el continuo desarrollo de esta tecnología.
- No existen estándares tecnológicos para la interoperabilidad con equipos que usan tecnologías ya consolidadas. Actualmente varias empresas trabajan en desarrollar esta tecnología, cada una con sus propios estándares incompatibles entre ellas.
- Limitada producción de equipos, la mayoría son de tipo propietario, lo que hace que la producción de equipos sea todavía limitada y su costo en comparación a los de redes telefónicas es alto.
- Requiere un permanente mantenimiento de la infraestructura de red.
- Para obtener una transmisión óptima de datos la distancia entre el usuario y la subestación de distribución debe ser corta ya que en el caso contrario será necesario instalar repetidores para garantizar transmisiones y recepciones óptimas.
- Ancho de banda compartido entre los usuarios de una subestación transformadora lo que provocaría tasas de transferencia relativamente bajas. Además se puede considerar a la tecnología PLC como no segura ya que trabaja en un medio compartido
- No presenta estabilidad frente a interferencias electromagnéticas y ruido eléctrico de la red.
- Competidores ya implantados, asentados y en constante evolución: tecnologías xDSL, Cable, LMDS.
- Dependiendo de las frecuencias utilizadas y de la tecnología elegida, produce radiación en bandas HF, interfiriendo en frecuencias correspondientes a las fuerzas de seguridad, frecuencias de emergencia

de la aviación civil y bandas de radioaficionados que se encuentra entre 7 MHz, 21 MHz y 28 MHz.

- Seguridad de la información con PLC. El cable eléctrico es susceptible para los denominados hacker ya que al no ser diseñado para transmitir datos puede absorber o irradiar en forma de antena afectado la privacidad y confidencialidad de la comunicación.
- La variabilidad en los niveles de atenuación e impedancia originados por la conmutación de equipamientos eléctricos son frecuentes, esto puede causar atenuación de la señal de datos, mientras esta se desplaza por el medio.
- PLC tiene sus límites. Sólo puede usarse en instalaciones eléctricas de una misma fase y cableado.

2.4.10 APLICACIONES DE LA TECNOLOGIA PLC

Las aplicaciones que se pueden tener con la tecnología PLC son todas las que se obtienen con la banda ancha tradicional. Los equipos para PLC son transparentes a cualquier aplicación y su función principal es la conversión de medios de datos a la red eléctrica. Incluso, esta tecnología permite aplicaciones como acceso a Telefonía IP, enlaces VPN, Escritorio Remoto, etc.

Las soluciones de PLC más aplicables para redes son:

- ***Ethernet Bridge:*** Conecta la red de datos a la red eléctrica por medio de una interfaz (tarjeta de red) convencional Ethernet RJ45.
- ***USB Bridge:*** Conecta los equipos con salida USB a la red eléctrica.
- ***AP-PLC:*** Acces Point inalámbrico Wi-Fi. Permite conectar a usuarios Wi-Fi a la red eléctrica PLC.

Principales aplicaciones y servicios de telecomunicaciones a los que se puede acceder a través de la tecnología PLC:

- **Internet avanzado:** Se podrá tener acceso a Internet de banda ancha, con todos los servicios que involucra como: Correo electrónico, Chat, Radio en línea, Telefonía IP, IPTV, Video bajo demanda (VoD), TV digital, entretenimiento, multimedia, juegos en la red etc. Además servicios como:
 - **Teletrabajo:** Permite al usuario trabajar desde su hogar a través de una conexión de comunicaciones rápida, económica, segura y permanente.
 - **Telediagnóstico:** Servicio técnico brindado por empresas que pueden conocer las averías y presupuestar las reparaciones en forma remota, ahorrando costos y molestias.
 - Telecontrol, Televigilancia, Telemedicina, Teleducación.

- **Telefonía:** Se podrá disponer de un servicio de telefonía sin necesidad de conectar un terminal a la línea telefónica convencional.
- **Mensajería unificada:** Buzón único para todos los mensajes de telefonía fija, Móvil (SMS), Fax y Correo Electrónico.
- **Uso de sistemas Domóticos:** Para el control de aplicaciones en el hogar tal es el caso de electrodoméstico, sistemas de seguridad y alarmas de robo e incendio conectándola directamente con la central de policía y/o de los bomberos.
 - Formación de una HAN (Home Area Network)
 - Control de dispositivos del hogar
 - Seguridad: control de intrusos, accidentes
 - Ahorro energético: regulación lumínica, control de temperatura
 - Confort: programación horaria para riego, persianas, aire acondicionado.
- **Creación de entornos LAN y redes privadas virtuales (VPN):** para transmisión de voz y datos en forma privada.
- **Monitoreo y lectura remota:** de contadores o equipos de control, tanto de la red eléctrica como de la red de datos PLC.

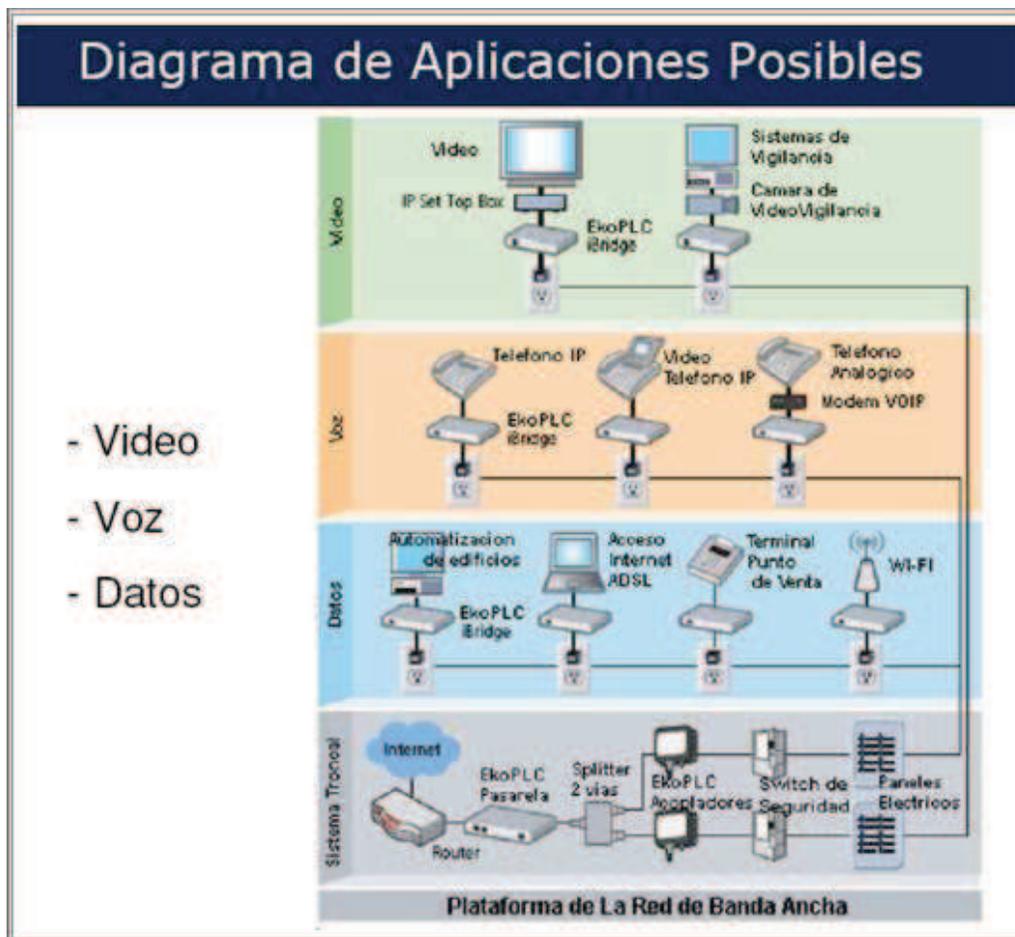


Figura 2.34: Diagrama de aplicaciones PLC

2.5 ORGANISMOS INTERNACIONALES DE ESTANDARIZACIÓN

Varias organizaciones a nivel mundial han demostrado interés en la tecnología PLC, por lo que desde hace varios años se han creado grupos de trabajo que han implementado algunas normas para regular esta tecnología.

Para el desarrollo y aplicación de la tecnología PLC es necesario disponer de un marco regulatorio. Entre los organismos encargados de desarrollar una normalización de PLC se encuentra el PLC Forum que presenta sus iniciativas a los foros europeos CENELEC y ETSI. HomePlug es otra entidad encargada de los aspectos de PLC In-home, la cual ha editado especificaciones de equipo. Finalmente los estándares de la IEEE los cuales regulan la tecnología BPL.

Las normas especifican aspectos como: protocolos de la red, impedancia de equipos, niveles de potencia y rangos de frecuencia a los que deben operar los transmisores con la finalidad de evitar interferencias con otras tecnologías. Entre las principales organizaciones que impulsan el desarrollo de PLC están:

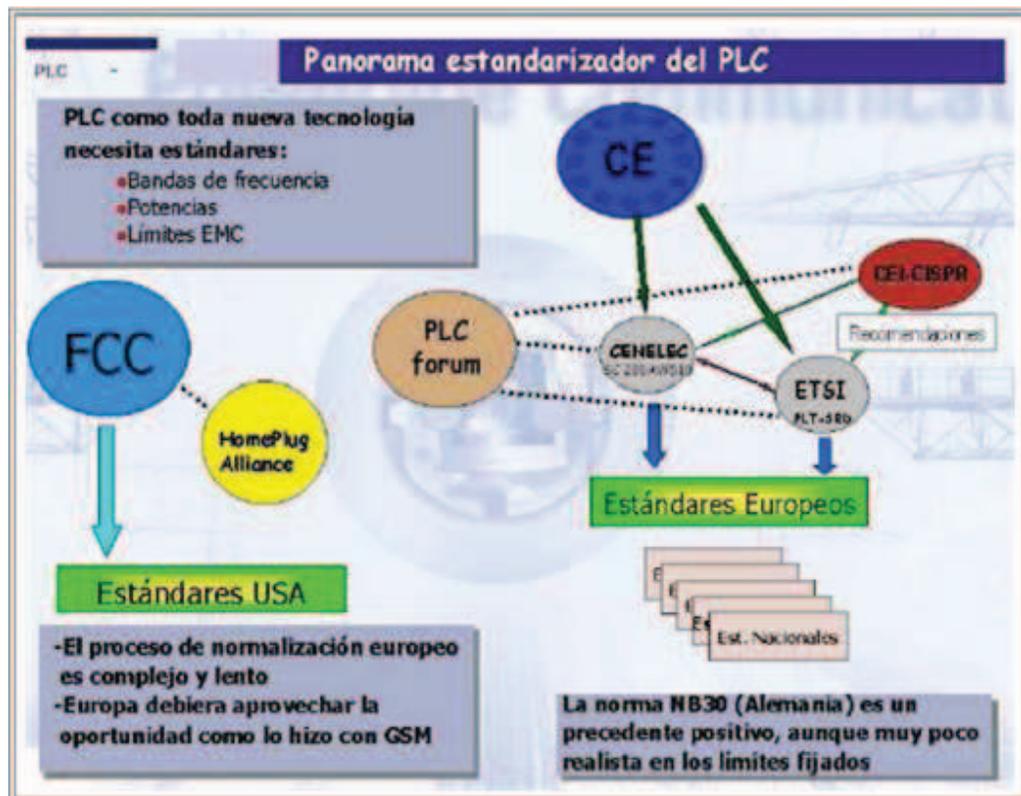


Figura 2.35: Panorama estandarizador del PLC

ORGANISMOS	DESCRIPCIÓN	NORMAS y RECOMENDACIONES EMITIDAS
 <p>(European Committee for Electrotechnical Standardization)</p>	<p>Organismo europeo, fundado en 1973 como la unión de (CENELCOM Y GENEL). Sede: Bruselas</p> <p>Integrada: Comités Electrotécnicos Nacionales de 28 países de Europa. Trabaja para el crecimiento del mercado eléctrico, desarrollo tecnológico, establecimiento de seguridad y garantías para los usuarios.</p>	<p>EN 50065-1: Establece el uso las frecuencias de 9 a 140 KHZ para PLC. Con lo que se consigue tasas de transmisión de 1 a varios kbps.</p> <p>Comité: CLC/ TC 210: “Para estructurar un sistema que coordine las actividades de estandarización de compatibilidad electromagnética”</p> <p>CENELEC SC205A: (Integrado por 34 miembros de 8 países). “Establecer estándares para los sistemas de comunicaciones que usan las líneas eléctricas como medio de transmisión y usan el rango de frecuencias entre 3 kHz a 30 MHz”. Incluye métodos de medida de emisiones, perturbaciones en las bandas de baja frecuencia y coexistencia entre los sistemas internos y externos.</p> <p>Subgrupos: WG 02: Métodos de prueba y limites para inmunidad. WG 04: Filtros y componentes asociados. WG 09: Revisión del estándar EN 50065-1: 1991 WG 10: Estándares para líneas de poder a alta frecuencia.</p> <p>TC 2005: Sobre sistemas electrónicos en el hogar y en los edificios</p>
 <p>UIT (Unión Internacional De Telecomunicaciones)</p>	<p>Organismo encargado de la emisión de normas en lo referente a las tecnologías y servicios de telecomunicaciones. Integrada por 3 sectores de normalización: UIT-T UIT-R (Relacionados con PLC).</p>	<p>Recomendación K.60 (2003): UIT-T G.5 “Limites de emisión y métodos de prueba para redes de telecomunicaciones”. Investigación sobre las demandas de radio interferencias y su alcance incluye redes de comunicaciones que usan las líneas eléctricas de baja tensión a frecuencias entre 9 kHz y 40 MHz. Describe procesos asociados a mediciones de interferencia, técnicas de mitigación.</p> <p>UIT-R G.1: Recomendaciones con respecto a modelos de propagación de la señal, análisis y problemas que afectan a servicios de radio específicos.</p> <p>UIT-R G.3: Propagación de los sistemas PLC, con métodos para estimar los niveles de radiación de la señal, naturaleza y variabilidad de las características de la línea de poder e interferencia de múltiples fuentes.</p>

ORGANISMOS	DESCRIPCIÓN	NORMAS y RECOMENDACIONES EMITIDAS
<p>NTIA (Administración Nacional de Telecomunicaciones e Información)</p>	<p>Analiza la tecnología PLC, incluye sus características de operación y potencial de interferencia, hace recomendaciones específicas sobre políticas para alentar su implementación y el manejo de posibles interferencia a la FCC.</p>	<p>FASE I: Reporte 04-413. 2004 : “Interferencia potencial de los sistemas PLC sobre las radiocomunicaciones del gobierno federal en el rango de 1.7 a 80 MHz”.</p> <p>FASE II: “Aun en desarrollo”, evalúa el direccionamiento y la efectividad de las recomendaciones del reporte anterior sobre despliegues mayores a gran escala.</p>
 <p>ETSI (European Telecommunications Standards Institute)</p>	<p>Organización integrada por 700 miembros de 56 países (incluyendo fabricante, operadores de red, administradores, proveedores de servicio y usuarios).</p> <p>1999 Creo un proyecto llamado EP PLT (European Project Powerline Telecommunications) . El EP PLT vela por una clara definición de cooperación y relación con otros organismos e iniciativas relacionadas, como ERM13 y CENELEC14.</p>	<p>EP-PLT (European Project Powerline Telecommunication) Objetivos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Asegurar el desempeño de PLC como sistema de banda ancha y el servicio de distribución eléctrica en forma simultanea. 2.- Definir una asignación dinámica de frecuencia para la coexistencia de los sistemas PLC de acceso y doméstico. 3.- Especificación de arquitecturas y protocolos para los sistemas PLC en el hogar. <p>DTS/PLT- 00020 “Mecanismos de coexistencia para el MÓDEM PLC o de Usuario”.</p> <p>DTS/PLT- 00019 Capa 1 (Física) y 2 (Acceso al medio) en un Sistema PLC.</p> <p>DTS/PLT- 00007 Arquitectura en el hogar y protocolos.</p>
 <p>IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)</p>	<p>Cuenta con 375,000 miembros en 150 ciudades aproximadamente, la organización es una de las principales autoridades en áreas desde: aeroespacio, computación y telecomunicaciones para biomedicina, potencia eléctrica y consumidores electrónicos.</p>	<p>IEEE P1901: (Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications). El objetivo de este grupo de trabajo es la definición de los procedimientos de control de acceso al medio y las especificaciones de capa física para toda clase de dispositivos PLC. Muchas compañías y organizaciones de estandarización participan en el desarrollo de IEEE P1901 HomePlug Powerline Alliance UPA y OPERA. Se espera que sea publicada en el 2008.</p> <p>IEEE P1775: (PLC Equipment – Electromagnetic Compatibility Requirements - Testing and Measurement Methods): Es un grupo de trabajo centrado en los requerimientos de compatibilidad electromagnética del equipamiento PLC y en las metodologías de pruebas y medición.</p>

ORGANISMOS	DESCRIPCIÓN	NORMAS y RECOMENDACIONES EMITIDAS
	<p>La IEEE produce cerca del 30% de la literatura mundial en el campo de las tecnologías de ingeniería eléctrica y electrónica computacional y control.</p>	<p>IEEE P1675: Estándar para el desarrollo de hardware PLC de banda ancha (Standard for BPL Hardware): Se trata de un grupo de trabajo especializado en instalaciones (hardware) y asuntos de seguridad para el uso de la tecnología PLC. Establece recomendaciones sobre métodos de instalación y seguridad que garantizan una adecuada aplicación.</p>
<p>CISPR (Comité Internacional Especial sobre Perturbaciones Radioeléctricas)</p>	<p>Grupo no Gubernamental creado en 1934 integrado por Organizaciones Internacionales, cuyo objetivo es la protección de los servicios de radio y el control de la interferencia.</p>	<p>CISPR I : Grupo CISPR SC I WG 3 Y WG 4 Establece un estándar que norme las emisiones e interferencias en los sistemas PLC.</p> <p>CISPR 22: Base de la norma EN 55022</p>
 <p>(Federal Communications Commission)</p>	<p>Organismo independiente que ha impulsado a los sistemas PLC para que puedan trabajar y competir de manera transparente frente a otras tecnologías.</p>	<p>Informe 2003 Investigación sobre la tecnología y sistemas PLC</p> <p>Reporte FCC-04-245: Establece requerimientos administrativos para ayudar en la identificación de instalaciones PLC. Mejorar los procesos de medida y monitoreo para asegurar las correctas evaluaciones de emisión de los sistemas PLC. Establecer requerimientos técnicos para los equipos PLC, tales como la capacidad de anular frecuencias específicas, el control remoto de niveles de potencia y apagado. Clase A: sistemas de acceso PLC que operan sobre líneas de medio voltaje. Clase B: equipos usados en la ubicación de usuario para aplicaciones comerciales, negocios o industriales. Establecer bandas de frecuencia excluidas para el uso por parte de sistemas PLC, con el objetivo de proteger las comunicaciones aeronáuticas y servicios de operación sensibles como radioastronomía. Promover el desarrollo de sistemas PLC eliminando incertidumbre por parte de operadores y fabricantes de equipos PLC sobre aspectos regulatorios.</p>

ORGANISMOS	DESCRIPCIÓN	NORMAS y RECOMENDACIONES EMITIDAS
 <p>(Universal Powerline Association)</p>	<p>Organización internacional sin fines de lucro que trabaja en la formulación de estándares globales y normativas regulatorias orientadas al mercado PLC. Constituida por compañías líderes en tecnología PLC, cuyo objetivo es desarrollar productos certificados que sean compatibles con las especificaciones de los organismos internacionales de normalización, para situarlos en el mercado y comercializarlos.</p>	<p>Básicamente a ayudado a que se haya regulado el uso del espectro de frecuencias y las especificaciones de calidad de servicio (QoS) para los equipos terminales de abonado (CPEs).</p>
 <p>UNITED POWER LINE COUNCIL</p>	<p>Creada en 1998. Alianza de empresas de servicio público eléctrico y proveedores de productos PLC. Incluye a 77 compañías.</p>	<p>Provee información sobre: Oportunidades de negocios, Defensa regulatoria y legislativa, Operabilidad técnica y aplicaciones. Ha creado "The Power Line", revista que reporta el desarrollo de negocios y regulaciones técnicas para el PLC.</p>
 <p>Home Plug PowerLine Alliance</p>	<p>Asociación de empresas, en su mayoría estadounidenses, comprometidas con PLC. Cuenta actualmente con 80 miembros proveedores de esta tecnología. Se originó gracias a la idea de tener un foro para incentivar el desarrollo de PLC. Los miembros del grupo aportan la capacidad y financiación necesaria para el desarrollo de esta tecnología. Entre los principales integrantes de esta asociación destacan: Comcast, Intel, Linksys, Motorola, Radio Shack, Samsung, Sharp, y Sony.</p>	<p>Estándares: HomePlug 1.0: Especificación para la conexión de dispositivos vía líneas eléctricas dentro del hogar. HomePlug AV: Diseñado para la transmisión de HDTV y VoIP dentro del hogar. Ofrece un enfoque integral para una estructura de red doméstica exhaustiva y realista. HomePlug BPL: Define un grupo de trabajo para el desarrollo de especificaciones orientadas a la conexión dentro del hogar. El espectro de trabajo de las especificaciones HomePlug está comprendido entre los 4,3 y los 20,9 Mhz, con técnicas de modulación OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>), con capacidad de transmisión alrededor de los 14 Mbit/s. El enfoque Home Plug se centra básicamente en la tecnología de la red interior de PLC (Indoor) y no contempla la separación de bandas de frecuencia, lo que aleja a HomePlug de la tendencia normativa que actualmente se promueve en Europa.</p>

ORGANISMOS	DESCRIPCIÓN	NORMAS y RECOMENDACIONES EMITIDAS
INTELLON CEBus	Compañía privada que opera como un fabricante de semiconductores y circuitos integrados que conforman los circuitos CEBus (Consumers Electronics Bus)	Emitió un estándar abierto denominado CEBus, el cual proporciona la especificación de la capa física para las comunicaciones en líneas de poder u otros medios. Su tecnología se orienta a proveer capacidad de control a las redes caseras mediante transmisores y receptores con tecnología Spread Spectrum.
	Creado en el 2004 por la Comunidad Europea. Integrado por 36 miembros de países europeos e Israel; entre ellos empresas de servicio eléctrico, operadores de telecomunicaciones, fabricantes y universidades.	Desarrolla estudios para el crecimiento de la tecnología PLC en Europa. Fomenta el desarrollo de PLC de acceso y domésticos. Estandarización para mejorar el funcionamiento de los terminales PLC e incrementar los despliegues comerciales.
 (Electronics Industry Association)	Organismo importante de estandarización , miembro de la ANSI (Instituto Americano de Estándares Nacionales)	EIA-709: Define un protocolo de comunicación para el control de redes caseras. La comunicación física ocurre sobre líneas de poder interiores o exteriores. El canal de la línea de energía ocupa un ancho de banda de 125 kHz a 140 kHz y se comunica a 10 kbps usando tecnología Spread Spectrum.
X10 Corporations	Tiene aproximadamente 20 años de creación. Su propósito es de integrar dispositivos de control e iluminación (transmisión unidireccional).	Protocolo X-10 de comunicaciones que permite que los productos caseros compatibles en una red, se comuniquen el uno con el otro vía el cableado eléctrico existente en el hogar.
 PLC FORUM	Creada en el 2000 en Suiza, mediante la unión de IPCF (International Powerline Communications Forum) y de German Powerline Communications Forum (PTF) Conformado por 83 miembros de los cuales el 37% son empresas de servicios, 42% son fabricantes y 21 % son propietarios. Se encarga de representar los intereses de los fabricantes y otros organismos interesados en PLC.	Contribuyen al conocimiento y difusión del PLC. Crea estándares abiertos, para que los fabricantes trabajen con interfaces reconocidas y no se presenten dificultades de interoperabilidad entre distintos fabricantes.

ORGANISMOS	DESCRIPCIÓN	NORMAS y RECOMENDACIONES EMITIDAS
 <p>PUA PLC Utilities Alliance</p>	<p>Fue fundada en Enero de 2002 por Iberdrola, Enel, EDF, EnBW y Endesa, EdP, Unión FENOSA y EEF-FEW. La PUA está trabajando en base a tres Grupos de Trabajo: El objetivo de la PLC es conseguir un alto nivel de cooperación entre las compañías eléctricas para promover e influenciar el desarrollo de la industria PLC en Europa. La misión de la PUA es crear un marco regulatorio y de estandarización que soporte el desarrollo de la industria PLC y que establezca la tecnología PLC como una de las políticas prioritarias para el despliegue de Redes de Banda Ancha en la Unión Europea.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El Grupo de Trabajo de Estandarización y Regularización, encargado del desarrollo de un marco regulatorio. • El Grupo de Trabajo para el Conocimiento y la Promoción, encargado de promocionar la tecnología PLC en la Unión Europea y en América del Norte. • El Grupo de Trabajo para Estándares Abiertos, encargado de desarrollar un estándar abierto para la interoperabilidad de los sistemas PLC de diversos fabricantes.

Tabla 2.8: Organismos Internacionales de Estandarización

En el Ecuador actualmente no hay regulaciones o normalización que se especifiquen para la implementación de la tecnología PLC, pero se cuenta con las normas que deben cumplir las redes de acceso o tecnología de última milla definidas por los entes reguladores de las telecomunicaciones en el país como CONATEL - Consejo Nacional de Telecomunicaciones y el organismo del sistema eléctrico ecuatoriano CELEC Corporación Eléctrica del Ecuador.

2.6 POSICIONAMIENTO DEL PLC EN EL MERCADO MUNDIAL

En la actualidad existen múltiples experiencias en el mundo sobre el uso de la tecnología PLC, cabe señalar que muchas de ellas son modelos de prueba, y en una menor porción modelos comerciales. Los principales movimientos registrados se concentran tanto en EE.UU. como en Europa, siendo este último donde se registra un considerable desarrollo. Las empresas eléctricas son las que han llevado a cabo varias iniciativas para prestar servicios masivos de telecomunicaciones.

La *Figura 2.36* muestra el desarrollo de PLC en diferentes partes del mundo.



Figura 2.36: Desarrollo PLC a nivel mundial

2.6.1 DESPLIEGUE COMERCIAL Y PILOTO

La demanda del servicio PLC se ha incrementado rápidamente a nivel mundial, muchos países como Australia, Austria, China, Finlandia, Hong Kong, Hungría, Irlanda, Italia, Korea, Japón, Holanda, Polonia y Suiza actualmente se encuentran realizando estudios y pruebas de campo para determinar la viabilidad de este servicio. En otros países como Alemania, España, Inglaterra y Estados Unidos la fase experimental ha finalizado con éxito, dando paso a la implementación de la tecnología PLC, sin embargo varios países ya han eliminado el servicio de Internet por red eléctrica debido a las interferencias y las constantes caídas en la transmisión de datos. España es el país más avanzado con respecto a la tecnología PLC y lo ha llevado a nivel comercial obteniendo resultados muy satisfactorios. En los países en vía de desarrollo como México y la India, se están realizando pruebas piloto con el objetivo de analizar la posibilidad de implementar PLC para comunicar comunidades aisladas que no cuentan con infraestructura de telecomunicaciones. América Latina no se ha quedado atrás y ya ha puesto en marcha varios planes de desarrollo de la tecnología PLC.

DESCRIPCIONES		
PAIS	OPERADOR	SERVICIO
EUROPA		
Alemania	RWE	PLC en Acceso e In-Home: Servicios de Internet
	EnBW-Tensión	PLC en Acceso e In-home: Servicios minoristas de Internet (hoteles y escuelas)
	MW	PLC en Acceso: Servicios de Internet para segmento residencial
	Elcon	-
	EichhoffOnline AG	-
	Polytrax Powertec	Internet y otros servicios a través de su sistema con tecnología Main.net y ASCOM
Francia	Electricité de France (EDF) France Telecom	Dispone de un servicio de Internet denominado "e - lectric". PLC en Acceso: Servicios minoristas de Internet
Italia	ENEL	PLC en Acceso: Servicios minorista de Internet y telefonía. Posee tecnología M@in.net y ASCOM, DS2 para los servicios de Internet y telecomunicaciones.
Dinamarca	NESA.	-
Suiza	EFF Evicom Sydkraft	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet (acuerdo con ISP Sunrise) usando tecnología Ginebra Ascom, con Equipos PLC de 2da Generación.
Suecia	Vattenfall	PLC en Acceso: Servicios de Internet para segmento residencial usando tecnología Gotland, Main.net

DESCRIPCIONES		
PAIS	OPERADOR	SERVICIO
Austria	Linz Strom AG	PLC en Acceso e In-home: Servicios minoristas de Internet y telefonía
	Tiwag	PLC en Acceso e In-home: Servicios minoristas de Internet (residencial, hoteles y escuelas)
Portugal	EDP	PLC en Acceso: Servicios minoristas de Internet y telefonía
Holanda	Nuon	PLC en Acceso: Servicios mayoristas de Internet (acuerdo con Disgistrom)
Inglaterra	Scottish Southern Electric (SSE)	SSE entrega sus servicios a las ciudades de Winchester, Stonehaven, Campbeltown and Crieff, llegando a 20,000 residencias.
Rumania	Eléctrica Cinergy	-
España	Iberdrola/NAMS	PLC en Acceso : Servicios mayoristas de Internet
	Unión FENOSA	PLC en Acceso e In-home: Servicios de Internet
	Endesa.	PLC en Acceso: Servicios mayoristas de Internet y telefonía (acuerdo AUNA). Usando equipos DS2
Rusia	Energomegasbit	PLC en Acceso e In-home: Servicios de Internet
Hungria	ELMU/ Novaco	Pruebas piloto en la ciudad de Budapest
ASIA		
Israel	NAMS	-
Corea	Plcom y Xeline	Ha implementado un red PLC de prueba de aproximadamente 5 Km. en Chunggae, ciudad ubicada cerca de Seúl.
Japón	-	- El equipo implementado debía estar diseñado para reducir la radiación electromagnética originada por las líneas eléctricas. - Las empresas deben evitar interferencias, en caso de que se dieran deben suspender el servicio.
Malasia	Fibrecomm.	Utiliza DS2, para la implementación de redes PLC de Acceso y Domestica
Singapore	Singapore Power	Descendiente de la compañía SPTelecom ha finalizado su plan piloto y ha comenzado a comercializar el PLC. Durante las pruebas realizadas se utilizó equipo ASCOM, sin embargo luego decidieron utilizar DS2 para mayor rendimiento.
China	-	Ha utilizado equipo ASCOM y Xeline llevando el servicio PLC a unos 50-100 usuarios en diferentes provincias del país.
Tasmania	Aurora Energy	Aurora ha adquirido la licencia para desarrollar esta tecnología con amplitud. Australia, evaluando este éxito en Tasmania explora PLC realizando pequeñas Pruebas.
Hong Kong	InovaTech	-
AMÉRICA		
Estados Unidos	Easyplug Thomson Schneider Electric Intellon Corporation. Cinergy Nortel COMTek Alliant Energy Corporation Current Communications Progress Energy	Se realizaron pruebas piloto con tecnología de proveedores de ASCOM y NORWEB En octubre del 2003, COMTek comienza a brindar PLC comercial a los residentes. El 30 de marzo del 2004, Alliant Energy lanzó un plan piloto PLC en Cedar Rapids, Iowa. Current Communications unida con Cinergy Corp, ofrecen la tecnología PLC a los habitantes de Cincinnati, Ohio y el noreste de Kentucky.

DESCRIPCIONES		
PAIS	OPERADOR	SERVICIO
Brasil	COPEL	Servicio PLC que incluye 300 clientes del estado de Paraná, ubicado al sur de Brasil, los cuales tendrán un acceso a Internet con velocidades de hasta 100 Mbps.
México	Comisión Federal de Electricidad CFE/ AXTEL	Uso de la red de energía eléctrica para la transmisión de voz, datos y video. La empresa estadounidense Current Communications se encuentra realizando negociaciones con las prestadoras eléctricas con tal objetivo, y Equipos de la empresa DS2.
Costa Rica	ICE (Instituto Costarricense de Electricidad)	PLC en Acceso e In-home: Servicios de Internet
Colombia	-	Se están haciendo estudios de Investigación con la Universidad Nacional de Colombia y su grupo GITUN, y se han realizado pruebas con unos 2000 usuarios.
Ecuador	Transelectric y La Empresa Eléctrica Quito (EEQ)	Acceso a la Web, servicios de voz IP, televisión IP y telefonía, a través de la infraestructura ya existente, La Empresa Eléctrica efectuará un enlace con sus actuales redes de fibra óptica."Esta red enlaza a todas las subestaciones de la empresa, las centrales de generación y los edificios donde están los centros de cómputo y administración". El objetivo de la EEQ es ofrecer el servicio en toda el área de concesión que abarca 15 000 kilómetros cuadrados.
Venezuela	Electricidad de Caracas (EDC)	Pruebas pilotos con PLC para llevar Internet banda ancha desarrollando el piloto en (escuelas, barrios y conjuntos residenciales). Varias zonas del centro-oeste de la ciudad se encuentran cubiertas con el servicio
Argentina	Edenor	En el 2008, las compañías de electricidad y de telecomunicaciones implementarán la tecnología PLC en Argentina, prometiendo rentabilidad de baja inversión.
Chile	Enersis S.A. se unió a Chilectra Metropolitana S.A.	Desde enero del 2002, desarrollan la tecnología PLC en Chile. Emplea un sistema de acceso a Internet mediante satélite y para la distribución de los usuarios usa PLC de 2da Generación.
Perú	Optical IP Luz del Sur	En Perú, iniciaron los planes para brindar PLC, mediante la empresa Optical IP. Optical IP se unió a la empresa Luz del Sur, encargada de la distribución de la electricidad. Este proyecto se ubica en la capital del Perú, Lima.

Tabla 2.9: Países que utilizan PLC ^[25]

PLC no ha tenido un despliegue comercial exitoso debido a la falta de estándares y un marco regulatorio que garantice una calidad satisfactoria de las comunicaciones.

[25] Fuente : Unión FENOSA- UFINET

2.7 TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA Y PLC

En Ecuador las tecnologías de banda ancha han empezado a desplegarse desde hace varios años, para ofrecer nuevos servicios pero en forma limitada ya que generalmente están restringidos a zonas específicas donde llega el acceso telefónico o el cable. Para que estos servicios sean más accesibles se necesitan de nuevas instalaciones la cual es la que los encarecen.

Tipos de redes de acceso que actualmente están disponibles:

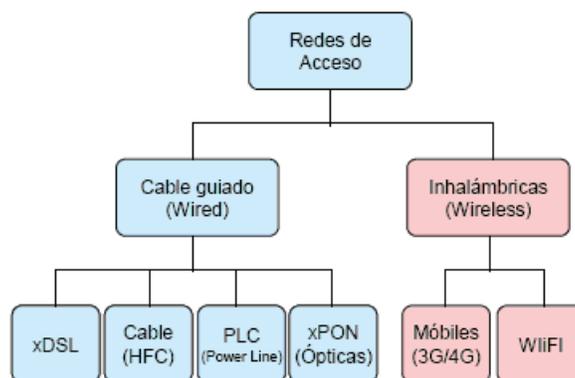


Figura 2.37: Tipos de Redes de Acceso

2.7.1 CONEXIÓN DIAL-UP

Es una línea conmutada, permite la comunicación para aquellos que poseen acceso a la red telefónica pública conmutada. Al usar transmisiones por este tipo de líneas, las centrales de conmutación de la compañía telefónica establecen la conexión entre el módem del usuario y el módem del ISP en una conexión física de la red telefónica conmutada, el usuario debe establecer la conexión llamando al número telefónico del ISP, esta conexión se realiza mediante un módem analógico, el cual modula digitalmente una portadora analógica comprendida en el rango de frecuencia del canal de voz 4 kHz, convirtiendo los pulsos digitales en señales analógicas. En recepción se demodula los datos digitales contenidos en la señal analógica. La utilización de técnicas de modulación permite aprovechar el limitado ancho del canal, la conexión terminara cuando el abonado cuelga o cuando exista algún problema en la línea, en el momento de colgar la central desconecta la trayectoria que

fue establecida para la conexión y restablece todas las trayectorias usadas tal que queden libres para otras conexiones.

Este tipo de líneas tienen gran uso cuando se requiere cursar una cantidad pequeña de tráfico y cuando éste tráfico es esporádico. A pesar de las bajas velocidades de transmisión que alcanza, son capaces de conectarse con cualquier línea telefónica existente en el mundo que utilice otro módem.

La oferta de este tipo de conexión es de bajo costo y de bajas velocidades, debido a que requiere la línea telefónica para su conexión, adiciona el costo del servicio de teléfono que también es utilizado en la comunicación, en ese momento el servicio telefónico se interrumpe.

2.7.2 LÍNEAS DEDICADAS

Las líneas arrendadas también llamadas comúnmente líneas privadas o dedicadas, se obtienen de una compañía de telecomunicaciones para comunicar dos instalaciones separadas en una misma ciudad o en ciudades alejadas. No se requiere marcar ningún número telefónico para lograr el acceso.

La Línea Dedicada proporciona a las empresas una conexión permanente a Internet a través de un circuito digital dedicado. Son servicios para la transmisión de voz, datos, vídeo e imágenes en forma directa, no conmutada es decir que no hay un equipo intermedio que tramite la comunicación, entre un punto y otro. Cualquier usuario de la red interna podrá acceder a Internet o a aplicaciones remotas siempre que desee. Dicha conexión está permanentemente operativa, no teniendo así que soportar costes telefónicos. Las conexiones dedicadas o de banda ancha se ofertan desde 64 Kbps llegando 155 Mbps, y es una opción económicamente viable. El servicio de acceso por línea dedicada ofrece una solución de conectividad con un coste fijo mensual, independientemente de la utilización de Internet, Posee en sus extremos equipos de alta tecnología que permiten enviar señales digitales a altas velocidades.

Es una aplicación creciente de los circuitos T1/E1, ya que extiende la digitalización de la sección de la red telefónica que va desde la central telefónica hasta los nodos de acceso remoto y conectan 24 o 30 líneas de usuario sobre los pares de cobre de las redes telefónicas, esto ahorra en nuevos tendidos de cable y reduce la distancia entre un punto de acceso y el suscriptor. Los costos se elevan al implementar circuitos E1/T1 ya que se incorpora un software complejo y costoso, por lo que es conveniente para grandes compañías y no para usuarios residenciales.

2.7.3 ISDN-RSDI

La RDSI (Red Digital de Servicios Integrados o en inglés ISDN, Integral Services Digital Network) permite conectividad extremo a extremo capaz de soportar una gama de servicios como son voz, datos, vídeo, imágenes. Substituye a las tradicionales redes telefónicas analógicas por una transmisión digital conmutada la cual utiliza un par trenzado de cobre, cuyo espectro se encuentra lógicamente dividido en múltiples canales. La RDSI posee una banda estrecha a nivel comercial para el usuario común, que va desde una simple línea de 56 Kbps a 2 Mbps a la cual se la denomina Narrowband ISDN, hasta grandes anchos de banda que van desde 2 Mbps a 622 Mbps es Broadband ISDN. El CPU del ordenador se encarga de controlar las comunicaciones. Cuando el sistema se encuentra congestionado por la ejecución de muchas aplicaciones, se disminuye el rendimiento de las mismas. El tráfico de larga distancia entre centrales telefónicas corre sobre enlaces T1/E1, o superiores que consisten de cuatro alambres lógicamente divididos en múltiples canales. Permite conectividad de extremo a extremo soportando servicios de (voz, datos, video, etc.) independientemente del ancho de banda deseado:

- Utilizada para videocomunicaciones con alta calidad.
- Transmisión de datos a alta velocidad
- Servicios de distribución de vídeo
- Programas musicales de alta fidelidad.
- La fibra monomodo es el soporte físico fundamental de la RDSI en todas sus partes: nivel de tránsito, nivel de acceso y en la propia red de la

instalación del abonado por lo que se debe disponer de portadores ópticos en el bucle de abonado.

- Disponible por las telefónicas.
- Requiere adaptadores a ambos extremos de la transmisión.
- Velocidad y confiabilidad en la conexión

2.7.4 LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA (ADSL)

El ADSL (Bucle de Abonado Digital Asimétrico) es una técnica de transmisión que, aplicada sobre los bucles de abonado de la red telefónica, permite la transmisión de datos a alta velocidad. Por esta razón utiliza frecuencias más altas que las empleadas en el servicio telefónico para que no interfieran entre sí, permitiendo así el uso simultáneo del bucle para el servicio telefónico y para acceder a servicios de datos a través de ADSL.

El ADSL es una tecnología asimétrica que presenta mayor caudal en el canal descendente (de la red hacia el usuario) que en el ascendente (del usuario a la red), trabaja a nivel de capa física y soporta cualquier stack de protocolos del más alto nivel. Permite convertir las líneas analógicas convencionales en líneas digitales de alta velocidad, siempre que se cumplan los requisitos necesarios de calidad del circuito y distancia entre el abonado y la central telefónica. Tiene un gran ancho de banda con costos de inversión relativamente bajos.

Esta tecnología tiene mayor penetración en el mercado residencial, al parecer por su idoneidad de acceso a Internet y para aplicaciones cliente/servidor. En el hogar por medio de un equipo de acondicionamiento llamado Splitter²⁶, la voz y los datos se separan, de manera que se puede hablar por teléfono mientras se está usando la conexión a Internet a través del computador, el transporte de datos se produce en tiempo real.

La tecnología PLC es muy similar al sistema ADSL ya que las dos tecnologías ocupan infraestructura ya desplegada.

²⁶ *Splitter*: Este discriminador tiene dos entradas, a una de las mismas se instalan los aparatos telefónicos que siguen funcionando. A la otra entrada se conecta un MODEM ADSL (ATU-R o ADSL Terminal Unit-Remote) que a su vez se conecta al ordenador por medio de una tarjeta de red.

- En la conexión ADSL se pueden distinguir tres canales de información: descendente, ascendente y el canal telefónico.
- No posee amplificadores a lo largo del cableado
- Su instalación es sencilla
- Permite el servicio telefónico tradicional
- Descongestionamiento de las centrales y la red conmutada ya que el flujo de datos se separa de la señal telefónica y se encamina por una red de datos.
- Ofrece el servicio de manera individual solo para aquellos cliente que lo requieran, sin necesidad de reacondicionar todas las centrales locales.
- Opción para ofrecer tarifas plana para Internet.

2.7.5 CABLE MÓDEM

Esta red se diseñó para proporcionar servicios de difusión de televisión, al cual denominaron "Community Antenna Television" (CATV). Un cable módem es un tipo especial de módem diseñado para modular la señal de datos sobre una infraestructura de televisión por cable. El término Internet por cable se refiere a la distribución de un servicio de conectividad a Internet sobre esta infraestructura de telecomunicaciones.

El Cable Modem se utiliza principalmente para distribuir el acceso a Internet de banda ancha, aprovechando el ancho de banda que no se utiliza en la red de TV por cable. Los abonados de un mismo vecindario comparten el ancho de banda proporcionado por una única línea de cable coaxial. Por lo tanto, la velocidad de conexión puede variar dependiendo del número de usuarios que estén usando el servicio al mismo tiempo.

El Cable Modem puede ser un dispositivo externo o una tarjeta que se conecta directamente al bus de datos de un computador.

A menudo, la idea de una línea compartida se considera como un punto débil de la conexión a Internet por cable ya que comparte una cantidad fija de ancho de banda entre varios usuarios, por lo que se debe asegurar un buen rendimiento en la red. Una debilidad más significativa de las redes de cable al usar una línea compartida es el riesgo de la pérdida de privacidad,

especialmente considerando la disponibilidad de herramientas de hacking para cable modems.

2.7.6 TECNOLOGÍA CELULAR

La infraestructura de la línea telefónica móvil digital está basada en una arquitectura de microceldas, capaz de brindar servicios de voz y datos en cualquier lugar y momento. Se permite el acceso a servicios de Internet, a través de empresas proveedoras de servicios celulares. En Ecuador las empresas que brindan estos servicios son: Porta, Movistar y Allegro y se denominan Internet Móvil, aunque no deja de ser una simple conexión dial-up utilizando un teléfono celular.

Estas soluciones son de moderado costo y de relativo ancho de banda. Para pueblos pequeños y zonas rurales este puede ser la mejor o la única solución para acceder a servicios de banda ancha siempre y cuando exista cobertura. Las desventajas que posee este tipo de red es que la velocidad de la conexión es variable, los recargos adicionales son altos, si el usuario sobrepasa los límites establecidos en su plan de servicio contratado. Los límites de uso están definidos en términos de MB (megabytes) de información descargada o por tiempo de consumo medido en horas.

Los tiempos medios de descarga están entre 2,2 seg y alcanzan máximos de 10 seg son tiempos extremadamente altos en comparación con medios físicos cableados ya que en estos no suele sobrepasar los 500 mseg, en las peores condiciones. No permite los servicios simultáneos como recepción de llamadas y descargas de datos, todo debe hacerse en momentos diferentes.

Allegro PCS ofrece varios servicios adicionales y funcionalidades, tales como: localización de usuarios, recepción de pequeños mensajes, servicios de datos, mejor uso de la batería, servicio de redes inteligentes, etc.

En cuanto a la navegación por las páginas Web, solo el 15% de los entrevistados en las ciudades de Quito y Guayaquil respondió que usa la Internet desde su teléfono celular.

2.7.7 TECNOLOGÍA SATELITAL

Para comunicaciones vía satélite se procede de la siguiente manera: El satélite recibe las diferentes portadoras moduladas que emite el centro de transmisión a través del enlace ascendente (uplink) y las retransmite hacia los diferentes sitios de recepción en Tierra a través del enlace descendente (downlink). El satélite modifica la frecuencia de recepción y selecciona una nueva frecuencia de transmisión para el enlace descendente evitando así interferencias entre estos dos enlaces. Como el satélite es un recurso de comunicaciones limitado en potencia, la frecuencia de transmisión del enlace descendente se selecciona de un valor menor que la frecuencia de recepción del enlace ascendente. Al tener frecuencias altas en las transmisiones se produce una mayor atenuación en la propagación de la señal y por ende se necesita mayor potencia de transmisión.

Aquí se tiene una gran cobertura ya que da servicio a amplias zonas geográficas, retardos de transmisión elevados, gran ancho de banda, altos costos independientes de la distancia. Las redes satelitales existentes son usadas para brindar servicios de datos, voz y en ocasiones videoconferencia. Las comunicaciones satelitales que se utilizan hoy en día son a nivel corporativo, en áreas de difícil acceso y zonas carentes de infraestructura de telecomunicaciones.

	DIAL-UP	LÍNEAS DEDICADAS	ISDN	ADSL	CELULAR	CABLE MODEMS	SATELITAL	PLC
INFRA ESTRUCTURA	Red telefónica (líneas conmutadas analógicas)	Red telefónica (conexiones permanentes)	Red telefónica (líneas conmutadas digitales)	Red telefónica Par de cobre	Red de telefonía Móvil Celular	Red de TV por cable Fibra óptica Cable coaxial	Satélites LEO y GEO	Líneas eléctricas BT
VELOCIDAD S/B	33.6 / 56 kbps	nxE1 o nxT1 64 kbps 128 Kbps	64 / 128 Kbps 1.47 / 1.92 Mbps	64 / 128 kbps 256 / 128 kbps 512 / 256kbps Sub: 64/640 Kb Baj: 1.5 / 9 Mb	14/40 kbps	10-40 Mbps S: 320/10Mbps B: 30/40Mbps	GEO: 400 Kbps LEO: 64 Mbps	18 /27 Mbps Hasta 45Mbps
RANGO DE FRECUENCIA	4 kHz		-	4 Khz a 2.2 Mhz		42 a 850 Mhz		1.6 a 30 Mhz
MODO	Full dúplex	Full dúplex	Full dúplex	Full dúplex		Asimétrico	Full dúplex	Full dúplex
MODULACIÓN			PCM/PAM	DMT		S:QPSK/16QAM B:64/256 QAM		OFDM
CALIDAD	Baja	Media	Media	Alta	Baja/Media	Alta	Alta	Alta
COSTE MENSUAL	\$18- \$22 costo Adicional teléfono	\$200 a \$300	\$200 a \$450	\$50 /\$100/ \$700	\$29 o \$89	\$20 a \$100	\$300 a \$ 837	---
FORTALEZA	<ul style="list-style-type: none"> - Asegura una conexión rápida - Solo necesita computadora y su modem - El precio depende del tiempo de uso 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad simétrica - Gran confiabilid. en el transporte de datos - Permite acceder al Internet siempre que se lo requiera, - El costo es el mismo sin depender del uso, no costo adicional de teléfono 	<ul style="list-style-type: none"> - Rapidez en el establecimiento de la conexión. - Permite acceder servicios de teléfono, fax, datos 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite mejorar el ancho de banda en horas picos - Permite aplicaciones de multimedia - Rápido en descargue y envió de archivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Movilidad de tarifas por número de paquetes Tx/Rx 	<ul style="list-style-type: none"> - Conexión asimétrica - Permite acceder a Internet como a la TV. - Ancho de banda no utilizado es usado para transferencia de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad suficiente para bajar grandes archivos - Navegar velozmente en la Web. 	<ul style="list-style-type: none"> - Infraestructura disponible - Permitiría abarata los costos del Internet - Incrementaría el 1% de índice de penetración de banda ancha en nuestro país

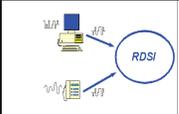
	DIAL-UP	LÍNEAS DEDICADAS	ISDN	ADSL	CELULAR	CABLE MODEMS	SATELITAL	PLC
DEBILIDADES	<ul style="list-style-type: none"> - Baja velocidad - Se necesita línea telefónica - Lento al bajar archivos de gran tamaño - No permite videoconferencia - El servicio telefónico se interrumpe durante la conexión al Internet 	<ul style="list-style-type: none"> - No todas las líneas telefónicas son adecuadas para brindar este servicio - Requiere una línea privada para cada punto - El coste de la línea depende de la distancia entre los puntos - La telefónica de nuestro país sin interés en modernizar las centrales 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo difícil de instalar y configurar - Debido a que requiere protocolos de adaptación reduce las tasas de transmisión - El servicio se satura debido a grandes cantidades de usuarios simultáneos 	<ul style="list-style-type: none"> - MODEM costoso - La velocidad Tx depende de la distancia - Tiene problemas de software espías - La comunicación depende de la calidad del cableado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baja velocidad de navegación limitada por Internet - En ocasiones reduce el servicio al 50 % 	<ul style="list-style-type: none"> - Medio compartido entre varios usuarios de un mismo sector - Fácil de romper la privacidad de los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo de la implementación caro - Instalación compleja por lo que se incluye gastos de adicionales - Susceptible a climas adversos - Baja penetración por el costo - Necesita mayor potencia 	<ul style="list-style-type: none"> - No existe regulación ni permisos hasta el momento - Necesita de equipos acondicionador es no muy caros para evitar las interferencias - Necesita software para seguridad de la información
USOS	<ul style="list-style-type: none"> - Residencial 	<ul style="list-style-type: none"> - Bancos - Industrias - Instituciones académicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Pequeñas y grandes empresas 	<ul style="list-style-type: none"> - Grandes negocios, hogares y educación 	<ul style="list-style-type: none"> - Usuarios Móviles 	<ul style="list-style-type: none"> - Usuarios residenciales pequeñas y medianas empresas 	<ul style="list-style-type: none"> - Todo tipo de usuarios - Implementar cibercafé 	<ul style="list-style-type: none"> - Usuarios que posea red eléctrica en optimas condiciones
DESARROLLO EN EL PAÍS	Completa, pero poco preferida (actualmente)	Completa (depende de la ubicación)	Completa, (pocos usuarios en Ecuador)	Completa (gran aceptación en el país)	Etapas de crecimiento	Completa (depende de la ubicación)	Lugares de difícil acceso, en nuestro país en la región oriental,	No instalada comercialmente solo en etapas de pruebas
GRAFICO								

Tabla 2.10: Comparación de la tecnología PLC frente a redes alámbrica de banda ancha

2.8 REDES DE BANDA ANCHA INALÁMBRICAS

Las tecnologías inalámbricas más difundidas para la transmisión de banda ancha son:

2.8.1 WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

WiMAX está diseñado como una alternativa wireless al acceso de banda ancha y una forma de conectar nodos Wifi en una red de área metropolitana (MAN). Diseñado como una solución de última milla en redes (MAN) para prestar servicios a nivel comercial.

El estándar que lo representa es el 802.16. La velocidad de transmisión es de 70 Mbps con largo alcance por debajo de 50 km. trabaja en bandas del espectro tanto licenciado y no licenciado. El servicio tanto móvil como fijo, emplea antenas adaptivas que permiten intercambiar ancho de banda por alcance y antenas sectoriales tradicionales.

WiMAX FORUM es un grupo de empresas que se encargan de diseñar las normas y estándares de la tecnología WiMAX. En cuanto a modulación utiliza OFDM adaptable la cual soporta niveles de servicios (SLAs)²⁷ y una excelente calidad de servicio (QoS).

Dentro de WiMAX debemos hacer una pequeña diferenciación el estándar 802.16d para terminales fijos, y el 802.16e para estaciones en movimiento. Esto marca una distinción en la manera de usar este protocolo, aunque lo ideal es utilizar una combinación de ambos.

2.8.1.1 Características

- Las antenas de WiMAX operan a una frecuencia de hasta 60 MHz.
- Las antenas no tienen que estar directamente alineadas con sus clientes.
- Puede dar cobertura a un área bastante extensa y la instalación de las antenas para transmitir y recibir que forman estaciones base.

²⁷ SLAs: Soporta niveles de servicio

- Puede ser simétrico lo cual significa que puede proporcionar un flujo de datos similar tanto de subida como de bajada.
- WiMAX facilita una infraestructura de red de datos cuando el entorno o distancia no es favorable para una red cableada.
- Es una alternativa más rápida y barata que tener que instalar cables.

2.8.2 Wireless Fidelity (WiFi)

Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. WiFi es una de las tecnologías de comunicación inalámbrica más utilizada hoy en día. También llamada WLAN (Wireless Lan) “Red Inalámbrica”. WiFi, fue diseñada para ambientes inalámbricos internos como una alternativa al cableado estructurado de redes y con capacidad sin línea de vista de muy pocos metros, empleando ondas del espectro radio-eléctrico.

2.8.2.1 Características

- La tecnología WiFi fue creada en sus inicios para resolver problemas de área local, pero hoy en día se la utiliza para acceder a internet mediante, la transmisión de datos, voz sobre IP.
- Ofrece ventajas como la eliminación del cableado, la movilidad dentro de la cobertura, fácil instalación, escalabilidad y adaptabilidad.
- Es aconsejable mantener el punto de acceso en un lugar alto para que la recepción/transmisión sea más fluida.
- La velocidad baja podría deberse a que los dispositivos no se encuentren adecuadamente situados o puedan existir barreras entre ellos (como paredes, metal o puertas).
- El funcionamiento de la red es bastante sencillo, normalmente sólo se conectan los dispositivos e instalar su software.
- Se recomienda la encriptación para la transmisión de información para lograr un entorno seguro, esto es posible gracias al WPA²⁸, el cual permite generación dinámica de la clave de acceso.

²⁸ *WPA*: es la abreviatura de Wifi Protect Access, y consiste en un mecanismo de control de acceso a una red inalámbrica, pensado con la idea de eliminar las debilidades de WEP. También se le conoce con el nombre de TSN (Transition Security Network)

En la *Tabla 2.11* se muestra una comparación de la tecnología PLC con las tecnologías inalámbricas WiMAX y WiFi.

TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS y PLC							
Característica o Estándar	PLC	Wi-Fi			WiMax		
	-	802.11b	802.11a	802.11g	802.16a	802.16d	802.16e
Rango de Frecuencia	1.6 a 30 Mhz	2.4 Ghz	5.7 Ghz	2.4 Ghz	2-11Ghz	2-66Ghz	2-6Ghz
Velocidad de transmisión	18 /27 Mbps Hasta 45Mbps	11Mbps	54Mbps	54Mbps	75Mbps	32-124 Mbps	15Mbps
Medio físico	Líneas de distribución Eléctrica	ONDAS DE RADIO			ONDAS DE RADIO		
Modo	Full dúplex	Full dúplex			Full dúplex		
Modulación	OFDM	DSSS	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - No existe regulación ni permisos. - Necesita de equipos acondicionadores para evitar las interferencias - Necesita software para seguridad de la información 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene interferencias - Cubre distancias menores a 100 m - Velocidades a 11 Mbps - Perdida de velocidad debido a interferencias - Son susceptibles a captura de su información 			<ul style="list-style-type: none"> - Permisos otorgadas por CONATEL - Requiere línea vista con la mayoría de los sistemas - Enlaces de larga distancia - Seguridad afectada por hacker 		
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Tiene la cobertura más extensa - Infraestructura disponible - Permitiría abaratar los costos del Inter. - Incrementaría el 1% de índice de penetración de BA. 	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación del cableado, y la movilidad dentro de la cobertura - Fácil instalación y utilización del software 			<ul style="list-style-type: none"> - Instalación sencilla - Gran Ancho de Banda (70Mbps máx.) - Fácilmente actualizable a nuevos estándares - Puede dar igual velocidad de subida como de bajada - Cubre grandes extensiones 		
Usos	<ul style="list-style-type: none"> - Residencial - Educación 	<ul style="list-style-type: none"> - Residencial - Empresas 			<ul style="list-style-type: none"> - Universidades - Puede utilizarse para interconectar sucursales de empresas dentro de una ciudad 		
Precios	-----	<ul style="list-style-type: none"> -Wifi interior \$ 200 300 -Wifi exterior \$2000 a 3000 			Precios Bajos		
Representación							

Tabla 2.11: Comparación de la tecnología PLC - Tecnología inalámbrica

Características	Tecnologías Cableados					Tecnologías inalámbricas	
	PLC	Ethernet	Cablemodem	ADSL	Fibra	Wi-Max	Wi-Fi
Acceso	Si	No	Si	Si	Si	Si	No
Simetría	Si	Si	No	No	Si	No	No
Movilidad	Si	No	No	No	No	Si	Si
Calidad Servicio Clase de Servicio	Si	Si**	Si	Si	Si	Si	No
Seguridad Información	Si	Si**	Si	Si	Si	Si	No
	**Requieren equipamiento adicional						

Tabla 2.12: Ubicación de PLC en soluciones de Acceso de alta velocidad^[29]

PLC: simétrico, escalable, flexible y multiservicio

Ethernet: económico y fácil de instalar, sensible interferencias

Cablemodem: televisión y datos únicamente

ADSL: despliegue masivo, requiere alta inversión inicial

Fibra: mayor capacidad, requiere instalación especial

Wi-Max: movilidad, sensible a interferencias

Wi-Fi: soporta servicios básicos, problemas de cobertura

^[29] Fuente: Schneider Electric

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DEL TRANSPORTE DE DATOS, VOZ Y VIDEO EN FORMA CONVERGENTE

Con el diseño de una red de comunicaciones que utilice la infraestructura eléctrica de las empresas distribuidoras de electricidad, se puede lograr que estas se convirtieran en proveedoras de servicios de comunicaciones en un territorio, ya que a más de satisfacer a usuarios de áreas urbanas, podrían satisfacer los requerimientos de comunidades o sectores alejados no atendidos. El aprovechamiento de la red eléctrica que llega a un gran número de usuarios, con una tecnología emergente como lo es el PLC podría fomentar que se incremente el alcance de los servicios ofrecidos por una empresa distribuidora de electricidad como ELEPCO S.A., puesto que ingresaría a un mercado no explotado por ellos como son las comunicaciones. Además, crearían competencia a las empresas de comunicaciones ya posicionadas, lo que podría ocasionar una posible reducción en los costos de los servicios de Internet actuales.

3.1 TENDENCIA GLOBAL DE LAS COMUNICACIONES

En los últimos años a nivel mundial se han producido constantes y acelerados cambios en el campo de la tecnología, como la informática y las telecomunicaciones.

La telecomunicaciones actuales sufren cambios vertiginosos ya que hay un sin número de equipos y tecnologías que se desarrollan día a día, brindando más servicios, mayores velocidades, más capacidad de almacenamiento etc. Uno de los motores de este crecimiento es el uso de la Internet, ya que todo se

centra en conectarse a la red de redes con mayores velocidades y obteniendo mayores descargas de información. El tener al alcance un gran volumen de contenidos, hace atractiva la conectividad e incluso estimula la necesidad de considerar al Internet como una fuente primordial de información para el individuo u organizaciones. La feroz competencia, la constante evolución tecnológica, las nuevas regulaciones y la creciente sofisticación de los consumidores son algunos de los aspectos que también ejercen mayor presión en la industria tecnológica actual.

Este estado de cambio y evolución permanente es lo que ha generado la consolidación y la convergencia de las telecomunicaciones actuales. Debido a esto las empresas que triunfen serán las que manejen adecuadamente los cambios, para combinar tecnología avanzada y una clara visión del futuro. También hay que considerar que la normatividad debe ser convergente para que la evolución de tecnologías y servicios sean una realidad.

Las telecomunicaciones han abordado definitivamente el reto de la convergencia. Y lo han hecho con un objetivo: satisfacer las necesidades y demandas del cliente que busca soluciones adaptadas que le reporten ventajas en términos de productividad y eficacia y le permitan un acceso inmediato a los servicios en cualquier momento y lugar.

3.2 DEFINICIÓN DE CONVERGENCIA

Convergencia es la fusión de todos los elementos, encaminándose hacia un mismo punto. Tecnológicamente se define como la fusión de voz, video y datos actuando sobre una misma plataforma tecnológica y que puedan interactuar con una variedad de dispositivos, poniendo fin así al uso de diferentes infraestructuras para brindar servicios únicos. La convergencia ha sido fomentada por el crecimiento y adopción del uso de la Internet, las redes de banda ancha y la masiva disponibilidad de contenido digital.

3.2.1 OBJETIVOS DE LA CONVERGENCIA

- Desarrollar la unión, compatibilidad, convivencia de todos los servicios de telecomunicaciones, donde coincidan todas las tecnologías, en una visión unificada y superadora, a la que un usuario pueda acceder.
- Desarrollar la prestación de nuevos servicios con la infraestructura existente.
- Crear nuevos tipos de infraestructura o el mejoramiento de servicios y tecnologías activas para ofrecer nuevas posibilidades de comunicación.
- Tener una capacidad tecnológica, comercial, jurídica y reglamentaria para integrar estructuras industriales, mercados y tecnologías.

3.2.2 TENDENCIA DE LA CONVERGENCIA

La tendencia actual de la convergencia se presenta en la *Figura 3.1*, donde se muestra como se ha producido el crecimiento del mercado de las telecomunicaciones y la tendencia actual hacia un mercado convergente de servicios, tecnologías y redes.

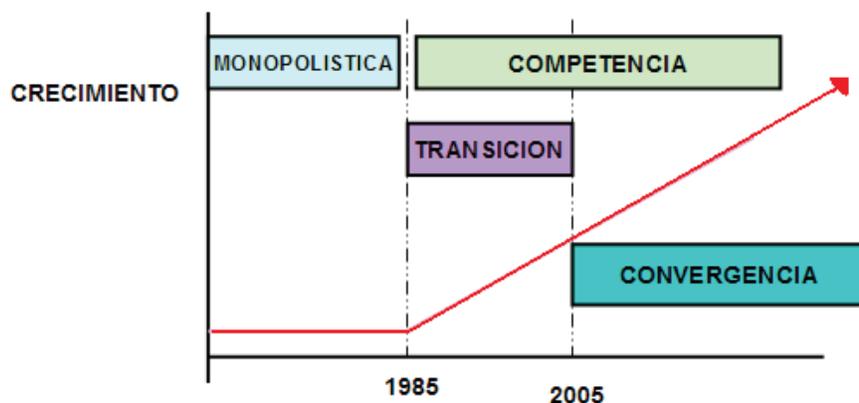


Figura 3.1: Tendencia del mercado de las comunicaciones

La convergencia actualmente tiende hacia:

- La migración de las denominadas “Redes de siguiente generación NGNs”, las cuales incorporan los elementos de movilidad, con la característica de “ubicuidad”.
- Migración hacia redes plenamente basadas en el protocolo IP (Voz, Datos y Video).
- Uso diferenciado en el acceso inalámbrico (3G, WiFi, WiMAX y Satélites)
- Servicios Triple Play y Cuadruple play (Voz, datos, video y energía eléctrica)
- La desaparición de redes tradicionales que no soportan innovación en Multiservicios
- Búsqueda de una oferta integrada y atractiva para el usuario final.
- Aplicaciones convergentes que facilitan el acceso a la información a través de un único interfaz, de forma ubicua, con calidad adecuada y en múltiples contextos.

3.2.3 PANORAMA ACTUAL DE LA CONVERGENCIA

Actualmente no hay una plataforma universal que satisfaga todas las demandas de los usuarios, aunque existen varias que aportan soluciones parciales y complementarias a las diferentes necesidades. Hay varias tecnologías que pueden agruparse para mejorar sus aplicaciones lo que implicaría mayores alcances y mejores servicios, entre ellas tenemos.

TECNOLOGÍA ALÁMBRICA	TECNOLOGÍA INALÁMBRICA
Bucle digital de abonado (xDSL)	Bucle inalámbrico (WLL o Wireless Local Loop, LMDS, MVDS)
Cable	Redes de acceso por satélite
Fibra óptica (FTTx)	Redes locales inalámbricas (WLAN, WiFi, HiperLAN2)
Redes híbridas de fibra y cable (HFC)	WiMAX
Comunicaciones por línea eléctrica (PLC)	Comunicaciones móviles de tercera generación (UMTS, 3G)
Ethernet en la primera milla (EFM)	Televisión digital terrestre (TDT)
	Óptica por Aire (HAPs)

Tabla 3.1: Tecnologías utilizadas para dar inicio a la convergencia

La digitalización de los diferentes contenidos (voz, texto, imágenes, etc.) permite la convergencia y el uso indistinto de una sola red. Este uso reduce el impacto de algunos costos fijos (por ejemplo, los costos asociados a redes dedicadas) lo que origina monopolios. Por lo que el desarrollo de los nuevos servicios y las nuevas tecnologías se está generando de la siguiente manera:

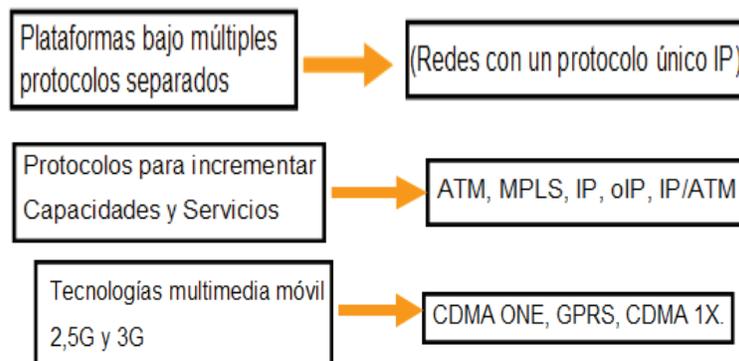


Figura 3.2: Tendencia de las tecnologías hacia la convergencia

Actualmente la radio, la prensa, la televisión, se han unido a la Internet, para conformar el amplio espectro de las TIC³⁰. A esto se añaden tecnologías de comunicación bidireccional como la telefonía convencional, la telefonía celular, la radio-comunicación, etc. Algunas tecnologías se integran en otras: la telefonía a través del Internet, el Internet a través de la señal de televisión, la radio en el Internet, etc.

3.2.3.1 Elementos impulsores de la convergencia

- **Gobierno:** Deben promover la convergencia de redes y servicios en beneficio de los consumidores.
- **Regulación hacia la convergencia:** Mientras más rápido se establezcan leyes y estén claras las reglas que se deben seguir, más fácil será hacer uso de la convergencia.
- **Empresas:** Muchas empresas que no tienen la experiencia en un área específica deben buscar la oportunidad de aliarse con otras empresas que tenga la experiencia.

³⁰ TIC (Tecnologías de la información y Codificación): son un conjunto de medios que permiten el intercambio y difusión de información y conocimientos, y que facilitan el entendimiento entre personas o grupos de personas.

3.3 ORGANISMOS QUE FOMENTAN LA CONVERGENCIA EN EL PAIS

Entre los principales organismos se encuentran:

- La Comisión Nacional de Conectividad (CNC)
- Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones (FODETEL)

3.3.1 COMISIÓN NACIONAL DE CONECTIVIDAD

Tiene como objetivo establecer políticas, estrategias, programas y proyectos para desarrollar la infraestructura de acceso, los servicios y aplicaciones relacionados con el uso de las TIC, para beneficio de la sociedad en sus actividades. Contribuye al desarrollo territorial encaminado a satisfacer las necesidades fundamentales como son salud, educación, trabajo y seguridad. La CNC actúa sobre: Infraestructura para el Acceso, Teleducación, Telesalud, Gobierno en Línea y Comercio Electrónico. Entre sus labores se encuentran:

- Fomenta la participación activa y permanente de la sociedad civil, el sector privado y el sector público en los procesos de diseño, implementación, promoción, mantenimiento y capacitación de las TIC.
- Está orientada por principios de equidad y universalidad, mediante el acceso para todos en el territorio nacional.
- Promueven la conectividad como el antídoto de la brecha digital, garantizando la inclusión digital a las personas, con la generación de planes e inversiones, sobre la infraestructura para el acceso, el desarrollo de redes de telecomunicaciones y el fortalecimiento del mercado de los computadores.

Promueve el desarrollo de varios proyectos como:

- ***Programa Nacional de Tele-educación.-*** proyecto para complementar y modernizar las metodologías y formas de enseñanza, tanto en la educación formal, educación continua, capacitación y entrenamiento.

- *Programa Nacional de Tele-salud.-* promueve ofrecer servicios de salud, en prevención y diagnóstico con programas de Telemedicina³¹, así como la capacitación continúa de profesionales de la salud, en especial en zonas rurales y urbanas marginales del país donde los profesionales no tienen posibilidades de acceder a redes de comunicaciones, convirtiéndose eventualmente en personal poco calificado.
- *Programa Nacional de Comercio Electrónico.-* fomenta el desarrollo de un entorno que promueva la economía digital, realizando actividades comerciales a través de redes electrónicas de información, para favorecer las actividades productivas tales como el comercio, la agricultura, la ganadería, el turismo, la industria, y otros sectores.

3.3.2 FONDO DE DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES (FODETEL)

Ayuda al desarrollo de las telecomunicaciones sociales. Es previsible que un amplio sector de la comunidad tenga aún restricciones para el acceso a las telecomunicaciones. Tiene como fin combatir la deficiencia de los servicios de telecomunicaciones en áreas rurales y urbano-marginales ya que las operadoras de comunicaciones no invierten en estas áreas, por considerarlas no rentables. Se crea para compensar esta deficiencia en los servicios, brindando un incentivo a las operadoras para que inviertan en las áreas marginadas social y económicamente. Emplea todos sus recursos a fomentar programas de telecomunicaciones con contenido social, en donde el tamaño del mercado y la capacidad de pago de los usuarios no sean altos.

Tiene por objetivos:

- Financiar programas y proyectos destinados a instaurar o mejorar el acceso a los servicios de telecomunicaciones de los habitantes del área rural y urbana marginal.

³¹ *Telemedicina:* es la utilización de la tecnología y medios electrónicos para transmitir imágenes, datos, voz y video y así facilitar o apoyar los objetivos de la Tele-salud.

- Incrementar el acceso de la población en áreas rurales y urbano marginales a los servicios de telecomunicaciones, con miras a la universalización en la prestación de estos servicios para favorecer la integración nacional, mejorar el acceso de la población al conocimiento y la información, ayudar a la prestación de los servicios de educación, salud, y emergencias, así como ampliar las facilidades para el comercio y la producción.
- Atender, prioritariamente, las áreas rurales y urbanas marginales que no se encuentren servidas o tengan un bajo índice de penetración de servicios de telecomunicaciones.

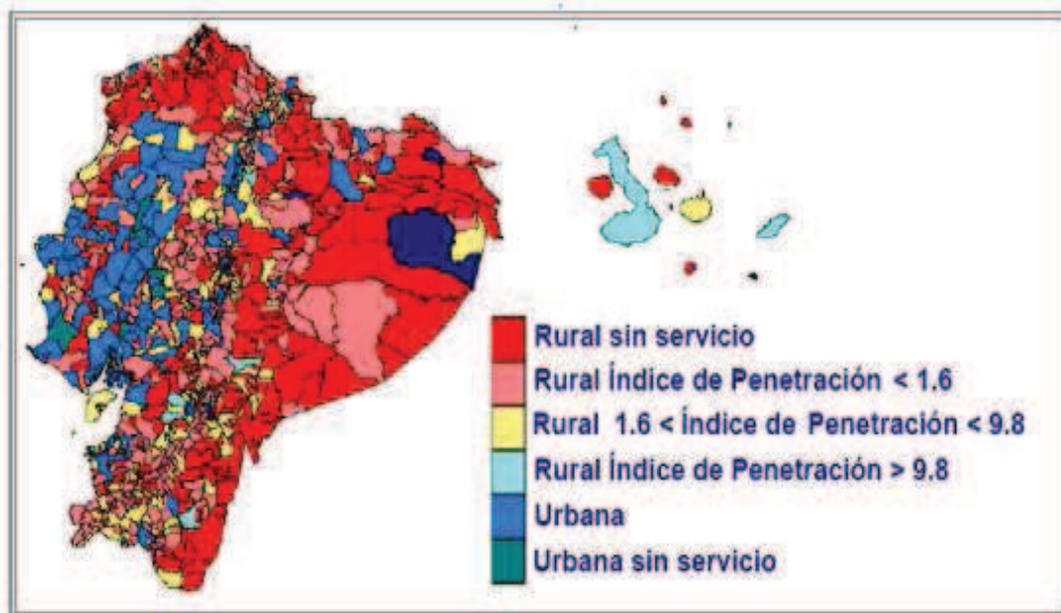


Figura 3.3: Índice de penetración de Internet en el Ecuador

3.4 BARRERAS DE NUEVAS REDES Y SERVICIOS EN ECUADOR

Principales barreras para la implementación de nuevas redes y servicios de telecomunicaciones en nuestro país:

- Concepción de rentabilidad y acceso a los servicios, tradicionalmente se ha concebido a la infraestructura de comunicaciones con el fin de proveer rentabilidad económica mediante el cobro por los servicios ofertados; lo cual ha limitado el acceso y uso de las TIC únicamente al segmento de la población que tiene capacidad de pago.
- Barreras generadas por regulaciones tributarias, existen barreras legales relacionadas especialmente con la aplicación de altos impuestos por el uso de los servicios de telecomunicaciones.
- Barreras económicas, comerciales y de financiamiento para mejorar el acceso a la infraestructura, el alto costo para el acceso a Internet tanto internacional como local.
- Falta de equipos y computadores para acceder a las TIC, escuelas en sectores rurales no disponen de redes de datos y menos de equipos de computación.
- Difícil acceso a las infraestructuras de las operadoras de telefonía fija. Las operadoras estatales de telefonía fija dificultan el acceso a su infraestructura o cobran un costo excesivo.
- La regulación vigente de los permisionarios para la prestación de servicios de valor agregado, Internet, limita su capacidad de desarrollo de infraestructura propia para brindar acceso a sus usuarios finales al requerir un título habilitante para la prestación de servicios finales o portadores, cuyo costo incide en el precio final del servicio de Internet.
- Las conexiones Internacionales como el cable panamericano está saturado y sin posibilidades de crecimiento. Las conexiones a través de los países vecinos presentan costos elevados pues se debe pagar el tránsito por dichos países.

Para reducir estas barreras se promueve:

- La Desagregación del Bucle Local ya que incrementaría las opciones de acceso a redes de servicios de telecomunicaciones sin grandes inversiones, generando más ingresos al propietario y beneficiando con nuevos y mejores servicios a los usuarios. Para lograr la desagregación de bucle local se requiere previamente la emisión del respectivo reglamento y la renegociación de los contratos con las respectivas operadoras.
- Nueva Ley de Telecomunicaciones: cuyos objetivos básicos deberían ser:
 - Facilitar la provisión de nuevos servicios convergentes.
 - Eliminar privilegios, fomentando la libre competencia.
 - Incentivar y dar seguridad a la inversión privada.
 - Un solo ente de regulación, administración y ejecución de políticas y un solo controlador, eliminando así conflictos ocasionados por la administración del espectro radioeléctrico a través de dos organismos.

3.5 ELEMENTOS REGULADORES, TECNICOS Y ORGANIZACIONALES DE LA CONVERGENCIA

El avance de la convergencia tecnológica, de servicios, de redes, y del mercado esta imponiendo desafíos a los sistemas regulatorios, técnicos y organizacionales del sector de las telecomunicaciones. Lo que esta produciendo una interacción entre la tecnología, el marco legal y las estrategias competitivas de los operadores. Debido al origen de cada uno, sus velocidades de cambio son diferentes.

- La velocidad del cambio tecnológico es alta
- La velocidad del cambio de estrategias competitivas y estructuras de mercado (organizacional) tiene una velocidad media.
- La velocidad del cambio en el marco legal es baja ya que este debe ser robusto y relativamente permanente en el tiempo para que operen de forma autónoma las dinámicas tecnológicas y de mercados.

La convergencia involucra fundamentalmente tres elementos que interactúan entre sí para impulsarla:

- Aspectos Tecnológicos
- Aspectos de Mercado
- Aspectos Regulatorios

3.5.1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS

- El tránsito de las tecnologías analógicas hacia las digitales ha favorecido al proceso de integración tecnológica. La digitalización y los avances tecnológicos se han incrementado: servicios de voz, imagen, sonido, video, datos, textos, etc.
- El desarrollo de la INTERNET ha sido otro factor desencadenante del proceso de convergencia. La implementación de nuevas tecnologías de transmisión óptica y el acceso vía radio.
- Un nuevo modelo de red que supone la unificación de las redes y servicios. El modelo plantea un escenario en el que la inteligencia se traslada a los extremos de la red.
- Las redes de comunicación deben ser universales. Posibilidad de elegir los servicios entre empresas ubicadas en el mismo país e incluso en otros países.
- Eliminar cualquier discriminación entre distintas arquitecturas de red (NGN, móvil, PLC, etc.)
- Hacer desaparecer las diferencias entre las redes de telecomunicaciones, informáticas o de radiodifusión y televisión. La clasificación tradicional de los servicios (voz, datos y vídeo) va desapareciendo: La “Televisión IP” es un servicio de televisión o de datos a través de la red Internet.
- Las redes tradicionales que no soporten innovación de Multiservicios tiendan a desaparecer.

3.5.2 ASPECTOS DE MERCADO

- La convergencia de mercados e industrias lleva al nacimiento de alianzas y fusiones entre empresas preexistentes y nuevas.
 - Alianzas horizontales entre empresas que se encuentran en la misma parte de la cadena de valor, generando intercambio de conocimiento tecnológico y la experiencia comercial.
 - Alianza vertical entre empresas que actúan en diferentes partes de la cadena de valor, pero que pueden prestar nuevos o mayores servicios.
- Regular un régimen de prestación de servicios y establecimiento de redes de telecomunicaciones, que permita la aparición de nuevos operadores que proporcionen nueva infraestructura y condiciones hábiles para el desarrollo de la sociedad de la información. Generando así una fusión de mercados, el mercado de cable, el mercado de telefonía fija y mercado eléctrico, incrementando la competencia entre estos sectores.
- Las empresas deben ampliar su portafolio de servicios y garantizar su permanencia en el mercado permitiendo tener: Mayor libertad de acción al operador; Mayor dinamismo en el mercado; Mejor aprovechamiento de los recursos
- Paso de estructuras de mercado basadas en monopolios públicos a mercados en libre competencia.
- Necesidad de garantizar el acceso a determinados bienes básicos para todos los ciudadanos a precios razonables, eficientes y seguros para poder contribuir a la reducción de la brecha digital.
- No regular los mercados emergentes. Evitar el traslado de regulación de mercados maduros a emergentes para evitar dañar la inversión y el desarrollo de los mismos.
- El modelo de negocio tradicional de los proveedores de servicios de comunicación está cambiando rápidamente, de tal forma que es difícil seguir el ritmo de crecimiento y los cambios tecnológicos. La tecnología digital permite utilizar fácilmente toda esta información en varios formatos, abriendo un mercado más amplio para un mismo producto.

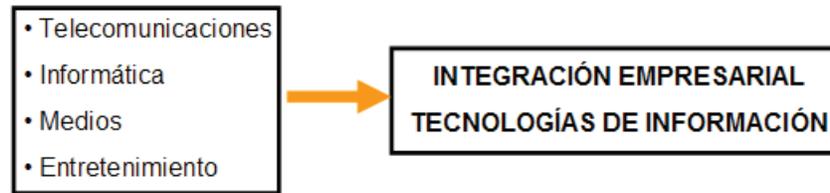


Figura 3.4: Integración Empresarial Tecnologías de Información

3.5.3 ASPECTOS REGULATORIOS

- La convergencia considera el tema regulatorio e institucional con el fin de garantizar una unidad normativa que facilite la libre competencia y la estabilidad regulatoria.
- Eliminar barreras que impide el desarrollo eficiente y coordinado de nuevas redes y servicios.
- Introducir la libre competencia y la ruptura de los monopolios para la prestación de los servicios de telecomunicaciones, abrir el sector de las telecomunicaciones a la libre competencia entre operadores.
- Las leyes o regulaciones no deben ser estáticas, la ley debe contemplar el adelanto tecnológico, el desarrollo del país y favorecer a los usuarios para que puedan recibir una mayor cantidad de servicios de calidad.
- Eliminar la diferenciación de servicios y referirse únicamente a “servicios de Telecomunicaciones” en general.
- Otorgar licencias múltiples a los operadores, para que conforme a sus capacidades presten los servicios que la red permita.
- Desarrollar los principios de multiplicidad de redes, apertura a la inversión, uso eficiente del Espectro Radioeléctrico y agilidad en el otorgamiento de títulos habilitantes.
- Se debería pasar del fundamento de Regulación de Servicios a Regulación de Redes.
- Promover un mercado abierto y competitivo, ofreciendo a los usuarios las mejores condiciones de servicio en lo referente a precios bajos, calidad elevada y rentabilidad máxima
- Garantizar el acceso universal al ciudadano. Protección, seguridad y transparencia en las tarifas y condiciones de uso.

- Dar seguridad jurídica en un mercado dinámico. Eliminando los conflictos o trabas administrativas para nuevos participantes en el mercado.
- Aplicación de un régimen regulador apropiado a los nuevos servicios, que reconozca las incertidumbres del mercado y la necesidad de hacer inversiones iniciales muy cuantiosas para su lanzamiento, manteniendo al mismo tiempo salvaguardas adecuadas para los consumidores.
- Promover regulaciones existentes en los servicios con mayor competencia, antes que imponer regulaciones a los nuevos servicios.
- Facilitar el ingreso de nuevos operadores para garantizar un servicio universal de comunicaciones y promover la educación en las nuevas tecnologías, dejando a la competencia entre operadores privados el impulso y desarrollo del sector.
- Mayor aprovechamiento de recursos de red, entre ellos el espectro. La normativa debe dar libertad al operador en el uso del espectro, permitiéndole poder brindar, si la tecnología así lo permite, servicios fijos o móviles sobre una determinada banda.
- Regular la protección de los derechos de los usuarios.
- Supervisión administrativa de los aspectos relacionados con el servicio público, el dominio público y la defensa de la competencia.

3.6 TIPOS DE CONVERGENCIA

3.6.1 CONVERGENCIA DE SERVICIOS

Se refiere a la agrupación de servicios dentro de una misma infraestructura de telecomunicaciones a través de un mismo proveedor de servicios, los cuales se entendían como independientes y provistos, cada uno de ellos, por un operador diferente. Capacidad de ofrecer diferentes servicios sobre cualquier red IP (VoIP, IPTV).



Figura 3.5: Tendencia de la Convergencia de Servicios

3.6.2 CONVERGENCIA DE TECNOLOGÍAS

Es la integración, dentro de un mismo dispositivo de telecomunicaciones, de tecnologías inicialmente identificadas con servicios específicos. La combinación de PC, TV, teléfono, y redes de datos cableadas e inalámbricas se combinan en un solo dispositivo para ofrecer servicio multimedia capaz de identificar y procesar señales asociadas a distintos servicios de telecomunicaciones. Capacidad de ofrecer un servicio sobre diferentes redes utilizando un mismo terminal.

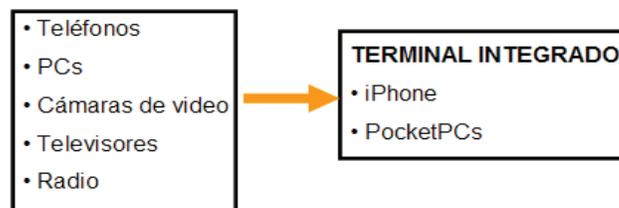


Figura 3.6: Tendencia de la Convergencia tecnológica

La convergencia Tecnológica requiere:

- Digitalización de señales análogas, uso de estándares en equipos terminales e interfaces, interconexión e interoperabilidad.
- Búsqueda de una oferta integrada y atractiva para el usuario final.
- Aplicaciones convergentes que faciliten el acceso a la información a través de un único interfaz, de forma ubicua, con calidad adecuada y en múltiples contextos.

3.6.3 CONVERGENCIA DE REDES

La convergencia de redes representa una importante transición en el mundo de las comunicaciones. Transmitiendo todo tipo de información por el mismo cable, en lugar de contar con redes separadas. Permite la convivencia en la misma línea tanto de voz como de datos estableciendo un modelo que permita “empaquetar” la voz para ser transmitida. Además de ofrecer acceso a Internet sobre diferentes redes (DSL, cable módem, PLC, datos sobre redes móviles, 802.11x, NGNs).

Esta unificación de infraestructura no solo supone un importante ahorro económico, sino que a través de la convergencia de redes una compañía puede reinventar toda su organización, ganando desarrollo tecnológico. Una red convergente apoya aplicaciones vitales como el negocio de telefonía IP, videoconferencia, capacitación y Administración de Relaciones con el Cliente (CRM)³², que contribuyen a que la empresa sea más eficiente, efectiva y ágil.

3.6.3.1 Calidad del Servicio (QoS) en la Convergencia de Redes

Para asegurar la Calidad del Servicio (QoS)³³ en una red convergente se debe establecer un orden de prioridades a las aplicaciones. Con un gran flujo de datos integrados en una sola red, se debe asegurar que la aplicación más importante, que es la voz, no tenga ningún problema. La voz requiere un menor ancho de banda, pero es la aplicación más importante y no puede ser interrumpida. Por lo tanto, debe tener prioridad sobre el resto de las aplicaciones, seguida del video y los datos.”

Cada aplicación debe contar con el ancho de banda adecuado para asegurar la Calidad del Servicio. En el pasado, esto no representaba un problema puesto que cada aplicación tenía una línea dedicada, pero hoy que todas están integradas, se debe identificar el contenido de los diferentes paquetes de información, conocer si se trata de un paquete de voz o de video, ya que se requiere asignar el ancho de banda adecuado, para que las aplicaciones no se vean afectadas entre sí.”

Servicios en los que se debe considerar QoS:

- **Voz:** alta prioridad si se introduce en el servicio.
- **Flujo de datos:** alta prioridad y los requerimientos de menor retardo.
- **Aplicaciones secundarias:** baja prioridad y mayor permisividad de retardo.
- **Servicios interactivos:** no son considerados ya que reducen en gran manera las capacidades a transmitirse debido a que la red eléctrica es un medio compartido.

³² *Capacidad y relación con el cliente (CRM):* Estrategia de negocios centrada en el cliente, además es la respuesta de la tecnología a la necesidad de las empresas para fortalecer las relaciones con sus clientes.

³³ *QoS Calidad de Servicio:* son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado (throughput). Calidad de servicio es la capacidad de dar un buen servicio.

3.7 EMPRESAS PROVEEDORAS DE CONVERGENCIA

La convergencia en las telecomunicaciones enfrenta como competidores a proveedores que hasta hace poco trabajaban en mercados separados.

- Operadores de cable, que quieren ingresar al mercado de la telefonía y del Internet de banda ancha.
- Compañías telefónicas, que buscan alternativas para ofrecer servicios de video.
- Operadores de tecnologías inalámbricas como MMDS, Wi-Fi y Wi-MAX que se agrupan, desarrollando alternativas y ofreciendo múltiples servicios.
- Empresas eléctricas que gracias a la tecnología PLC pueden utilizar su infraestructura con una Red de acceso para transportar datos.

3.7.1 CONVERGENCIA DE REDES Y LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS

Las empresas eléctricas están ingresando a un nuevo mercado gracias a la convergencia de redes, debido a la ubicuidad de su infraestructura que cubre grandes extensiones, llegando a un gran número de usuarios, se puede dar servicios de comunicaciones con la ayuda de la tecnología PLC, ya que permite el transporte de datos a través de las líneas eléctricas de media y baja tensión. Esto las hace atractivas para incorporar varios servicios y acrecentar la convergencia hacia las mismas:

La convergencia sobre las líneas eléctricas permite:

- Partiendo de su ubicuidad, la red de suministro eléctrico es una gran oportunidad de negocio para las empresas eléctricas ya que pueden llevar las comunicaciones a zonas geográficamente apartadas, sin necesidad de invertir en infraestructura extra. Generando así rentabilidad para las empresas eléctricas con una baja inversión en relación a infraestructura, así estas ingresarían al mercado de las comunicaciones, asegurando el ingreso a la Internet en sitios donde no llega la banda ancha por cuestiones de cobertura e inversión.

- Incrementar el número de proveedores en la industria de las telecomunicaciones o formar alianzas estratégicas entre operadores de distintas tecnologías y servicios para soportar una red multiservicio a través de las líneas eléctricas.
- Servicios Triple Play- Cuadruple play (Voz, Datos, Video y Electricidad). Convirtiéndose en una oportunidad estratégica para los protagonistas de los mercados de Internet, Telecomunicación y Eléctrico
- La fortaleza de la red eléctrica reside en la última milla, que permite llegar directamente a las instalaciones de los usuarios del servicio eléctrico, sin necesidad de utilizar infraestructura de terceros. Esto puede desarrollar, menores costos de los servicios y mejores precios para los usuarios.
- La convergencia se traducirá en una fuerte competencia entre las compañías de telecomunicaciones y las eléctricas que a corto y mediano plazos, generará un beneficio a los usuarios finales.

3.7.2 BENEFICIOS DE LA CONVERGENCIA DE REDES PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS

- Es una oportunidad para estimular la competencia entre el sector de comunicaciones y el eléctrico, con la adopción de políticas por parte de los entes reguladores que faciliten la limpia competencia, desarrollando mecanismos para la prestación de servicios múltiples.
- Se deben adoptar diseños de arquitectura de red abierta, para permitir la interconexión e interoperabilidad de sus redes. Las redes de acceso serán las que provean de conectividad a los usuarios y podrían considerarse como proveedores de última milla.
- Ahorrar en costos de gestión y mantenimiento de redes, ya que en vez de manejar varias plataformas, cada una diseñada para un tipo de tráfico distinto (telefonía fija, telefonía móvil, datos o Internet), el proveedor tiene la posibilidad de implementar una sola red multiservicio.
- Además, también hay ahorros en ancho de banda, ya que estas redes al estar basadas en IP, permiten la compresión de voz y datos.

- Reducción de costos del operador se traducirá en mejores tarifas para el usuario final, quien además podrá recibir todo tipo de mensajes (fax, e-mail, voz, datos, etc.) en un mismo dispositivo, gracias a la integración de las redes.
- De esta forma, las compañías eléctricas pueden ofrecer a sus abonados nuevos servicios:
 - Acceso a Internet de Banda Ancha
 - Telefonía VoIP
 - Extensión de redes de área local (LAN)
 - Mensajería unificada
 - Televisión, música y radio
 - TV digital
 - Juegos en red
 - Domótica
 - Redes virtuales privadas VPN

Para una efectiva aplicación se requiere:

- Regulación que coordine la aplicación de dos sistemas diferentes, el eléctrico y el de telecomunicaciones; previendo y corrigiendo, entre otras, las conductas anticompetitivas.
- Regulación técnica que permita la utilización de las nuevas tecnologías. Proceso técnico de normalización de la calidad de la señal de transmisión, evitando la contaminación y/o alteración por ruidos, cargas y/o todo otro efecto no deseado sobre la propagación de la señal.

3.7.3 BARRERAS DE LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS AL INGRESAR AL MERCADO DE LAS COMUNICACIONES

Para que una empresa eléctrica ingrese al negocio de las telecomunicaciones ofertando servicios, es necesario enfrentar varias barreras. Los problemas considerados son: tecnológicos, económicos, organizacionales y regulatorios. Esto se debe tener en consideración al emplear una tecnología emergente como el PLC.

3.7.3.1 Barreras tecnológicas

Consideraciones relacionadas a la compatibilidad electromagnética con otros servicios ya desarrollados. Al ser PLC una tecnología que recién ingresa al mercado, no debe interferir con ninguno de los servicios existentes (radiodifusión y radioafición) y debe cuidarse que las interferencias de estos servicios no afecten a las señales transmitidas a través de las líneas eléctricas. Otra barrera implica el funcionamiento de la red eléctrica ya que es necesario analizar el cableado eléctrico para eliminar o aislar los cables que produzcan problemas de interferencia, esto es necesario para transportar los datos y evitar que las líneas actúen como antenas emitiendo señales que generen interferencia con otros sistemas de comunicación. Además la falta de estándares que regulen la tecnología PLC y que permitan su convivencia junto a otros medios.

3.7.3.2 Barreras económicas

Las redes eléctricas se convierten en redes bidireccionales de datos de alta velocidad y sus instalaciones deben ser habilitadas con los equipos PLC necesarios para ofrecer los nuevos servicios de comunicaciones. Además se requiere el alquiler o implementación de fibra óptica o DSL (red de transporte requerida), para enlazar la red eléctrica a la red de datos o Backbone para acceder a las redes externas Internet. Este proceso involucra una inversión por parte de la empresa eléctrica que implica altos costos, sólo para habilitar el canal de retorno y equipar a los centros de recepción y control con la infraestructura necesaria para proveer servicios de acceso a Internet de banda ancha. Servicios de automatización de sistemas eléctricos, servicios como telefonía y servicios digitales avanzados implican mayores inversiones. Además de los trabajos de mantenimientos en tramos de la red eléctrica que no este en condiciones para la transmisión de datos.

3.7.3.3 Barreras regulatorias

Actualmente no hay impedimento para proporcionar servicios de telecomunicaciones a través de las líneas eléctricas a más de las que se considera en las regulaciones técnicas a nivel internacional, se requieren las licencias correspondientes de telecomunicaciones para operar en una ciudad o país. La regulación actual se basa fundamentalmente en la necesidad de coordinación económica y técnica del funcionamiento del sistema eléctrico.

No hay una legislación específica que regule este tipo de comunicación, elemento que preocupa a los fabricantes y a los proveedores. Tampoco se han emitido regulaciones en términos legales para su operación e implantación, no se ha fijado el papel que jugarán las compañías eléctricas en todo este negocio, como redes de transporte o comercializadoras directas del servicio; pero sobre todo, aún no se cuenta con información suficiente para regular las emisiones electromagnéticas que puedan afectar a otras tecnologías.

3.7.3.4 Barreras organizacionales

Las empresas eléctricas requieren de una transformación organizacional para dar cabida a los nuevos servicios convergentes. Nuevas estructuras de organización, personal técnico calificado en redes de datos, telefonía y servicios digitales, programas de capacitación y nuevas estrategias de comercialización de servicios deben ser desarrollados por la empresa, esto le ayudara a ingresar a un sector donde la competencia es primordial.

Una compañía eléctrica puede dar el servicio de telecomunicaciones ya sea de forma directa, o mediante alianzas con empresas de comunicaciones. Esta puede conseguir como operador PLC beneficiarse, de forma no equitativa, de la posición de fortaleza que implica llegar a todas partes, aunque también podría nivelar la situación de competitividad con el operador ya establecido de telecomunicaciones. Se considera la opción de que la transmisión de datos sea comercializada o explotada por una filial, o una empresa diferente a la eléctrica que atienda a la condición de conservar la exclusividad de su objeto social. En este contexto, es posible el establecimiento de empresas que implanten y exploten PLC.

3.8 MOTIVACION DE ELEPCO S.A. PARA INCURSIONAR EN LAS COMUNICACIONES

La implementación de la tecnología Power Line Communications (PLC), representan una posible solución al problema de acceso y cobertura en nuestro país, ya que prácticamente la totalidad del país posee una gran infraestructura de red eléctrica

La Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi ELEPCO S.A. suministra energía eléctrica al 96.75 % de la provincia de Cotopaxi, su infraestructura alcanza sitios alejados de la misma, con la implantación de la tecnología PLC se puede ofrecer servicios de valor agregado, cambiando su modelo de negocio, actuando como una empresa de comunicaciones. Esto traerá como fin aumentar los recursos económicos de la empresa y el desarrollo de programas sociales que reduzcan la brecha digital de la provincia.

La motivación de ELEPCO S.A. para utilizar sus redes eléctricas en la transmisión de datos es para tener la oportunidad de ingresar en un nuevo sector, aportando así una clara mejora de competitividad, con una verdadera propuesta de valor:

- Incrementar la penetración de Internet en la provincia
- Facilidad de llegar a áreas de la provincia donde los sistemas de comunicación no están disponibles por falta de infraestructura de comunicaciones
- Mejorar la satisfacción del cliente.
- Ahorro de Costos.
- La transmisión de datos en la actual infraestructura Eléctrica de ELEPCO S.A. permitiría un crecimiento considerable en ámbitos culturales, informativos, sociales y profesionales, con privilegio en el sector de la comunicación y el entretenimiento.

3.8.1 CONDICIONES NECESARIAS PARA EL DESARROLLO COMERCIAL

La viabilidad del ingreso de ELEPCO S.A. como empresa a ofrecer servicios de comunicaciones mediante la tecnología PLC depende de los siguientes factores:

- Que existan estándares de equipamiento e interconexión.
- Que exista regulación sobre aspectos relacionados con la compatibilidad electromagnética.
- Que exista un número mínimo de clientes por cada transformador, interesados en utilizar la tecnología PLC.
- Que dentro de la estrategia de arrendamiento (no incurrir en el área de las telecomunicaciones) de la infraestructura instalada, exista una compañía de telecomunicaciones que alquile el medio de transmisión y tenga presencia en el sector donde se instalará el servicio PLC.
- Que el servicio sea por lo menos igual en calidad a los servicios ofrecidos por la competencia para que tenga penetración en el mercado. Normalmente, un sistema de telecomunicaciones que proporciona telefonía acepta menor cantidad de interrupciones que el de energía eléctrica.
- Que se ofrezca una gama de servicios adicionales no provista por la competencia. Servicios de banda angosta tales como: seguridad, control de consumo de energía, etc.
- Que se realice una intensa campaña publicitaria difundiendo las cualidades y beneficios de las redes PLC.ELEPCO S.A.

➤ *RETOS EXTERNOS*

- Infraestructura adecuada para llevar los nuevos servicios.
- Ambiente competitivo más intenso, mayor presión para bajar precios.
- Empresas entrando al campo de negocio de otras empresas.
- Reducción de márgenes para poder competir, que garanticen una competencia justa, manteniendo un negocio rentable frente a la presión de competir en precios.
- Entorno regulatorio desarrollándose al ritmo acelerado de las nuevas tecnologías.

- Contratos de interconexión con empresas ya establecidas.
- Alquiler de infraestructura a las empresas dominantes del sector.
- Reglas claras y oportunas por parte de la Autoridad Regulatoria para una verdadera apertura y transparencia para las empresas establecidas y las nuevas entrantes.
- Adecuarse a los cambios en el comportamiento y los hábitos del consumidor para poder ser actor y no espectador de otros proveedores capitalizando sobre sus redes

➤ ***RETOS INTERNOS***

- Innovación debe ser una disciplina dentro de la empresa.
- Nuevos modelos de negocio para poder competir.
- Alineación interna con los objetivos definidos.
- Mantener el enfoque en el consumidor

El mundo cambia y las empresas deben cambiar con él y adaptarse para ser competitivas en el nuevo entorno Globalizado.

ELEPCO S.A. debe cumplir ciertos aspectos como: Los costos para el usuario final, el proceso para su implementación y el despliegue en una determinada área de servicio. En la actualidad los proveedores de telecomunicaciones disponen de redes separadas para voz y datos y cada 4 a 5 años los costos de explotación y operación de una red superan los costos iniciales de inversión, esto hará que los operadores que mantengan redes de voz y datos por separado no puedan competir con aquellas compañías que apuesten por una única red para voz y datos.

ELEPCO S.A. Tiene capacidad no sólo para vender energía eléctrica, sino también para desarrollar el sistema de comunicación (PLC). La introducción de esta tecnología por parte de ELEPCO S.A. Aumentaría en un importante porcentaje el uso de Internet en la provincia. Cualquier toma del hogar, oficina taller, serían las conexiones ideales para el acceso de banda ancha a precios competitivos. A diferencia de las actuales tecnologías, el PLC podría llegar a las comunidades rurales más apartadas.

En el Ecuador solamente el 13,37 % de habitantes tienen acceso a una línea telefónica, dando como resultado millones de hogares sin teléfono y con poca posibilidad de que las líneas lleguen a sus domicilios; y en aquellas zonas rurales donde llega el teléfono, resulta inviable el ADLS, el cable y la banda ancha; por lo que la propuesta de la tecnología PLC resulta atractiva para la idea de una sociedad totalmente comunicada.

3.8.2 SERVICIOS A IMPLEMENTAR EN LA REDES DE ELEPCO S.A.

Con el uso de la tecnología PLC en sus redes, ELEPCO S.A. puede ofrecer varios servicios de comunicaciones, que pueden ser puestos en funcionamiento en forma rápida, flexible y eficiente.

3.8.2.1 Aplicaciones de AMR (Medición Automática Remota)

ELEPCO S.A. podría utilizar la red eléctrica para mejorar la seguridad y eficiencia de sus instalaciones, a través de servicios de monitoreo, diagnóstico, gestión de redes, control remoto de cargas, y telemetría. Desarrollar servicios de vigilancia remota y supervisión de la red eléctrica. El sistema se basa en el intercambio de datos a través de la red eléctrica. Esto se realiza automatizando las actividades manuales y repetitivas pudiendo de esta manera no depender de ninguna intervención humana. Esto mejora el rendimiento y la eficacia de las funciones operacionales de la empresa. El beneficio es conseguir reparaciones más rápidas de fallas y procesos para prevenir riesgos, aumentando la productividad de la empresa. La velocidad de transmisión que se requiere es de aproximadamente 9600 bps, no es objetivo obtener una alta velocidad de transmisión, la prioridad es la seguridad y la integridad de los datos presentes en la Red.

La implementación del servicio de telemedición ofrece ventajas sobre el sistema de medición convencional realizado manualmente, debido a que se actualizaría periódicamente el estado de las variables de los dispositivos que constituyen el sistema, algo que manualmente es casi imposible de realizar, debido al costo económico que esto requiere y debido a la cantidad de dispositivos presentes en la Red eléctrica.

- Permite identificar inconvenientes de manera casi instantánea, pudiendo tomar decisiones a distancia logrando que el problema se resuelva mucho más rápido.
- Permite que los datos actuales de los dispositivos puedan ser contrastados con sus datos históricos, para poder determinar si hay alguna falencia en el rendimiento de los mismos.

3.8.2.2 Servicios de banda ancha

ELEPCO S.A. puede brindar servicios de banda ancha (Internet, voz e imágenes) en su área de explotación. Permitiendo aplicaciones como:

➤ *Acceso a Internet e interconexión de redes.*

- Mediante este servicio se provee la transmisión de datos a través de la red eléctrica con la conexión de un proveedor de servicios de Internet. Se puede interconectar hogares o empresas entre sí con la red Internet creando redes LAN mediante la infraestructura eléctrica: Las conexiones pueden ser en oficinas, edificios, conjuntos habitacionales en una red externa, computadoras y periféricos en una red interna.
- Como los servicios de Banda Ancha soportan el protocolo de Internet (IP) se aumenta el número de aplicaciones a brindar a través de la red eléctrica como:
 - Telefonía IP: VoIP.
 - Redes privadas virtuales (VPN)
 - Videoconferencia
 - Seguridad (videovigilancia)

- Teleasistencia
- Redes LAN sin cableado estructurado.
- ASP (Application Service Provider)
- ISP (Internet Service Provider)

3.8.2.3 Adecuación a los servicios considerados

- **Distribución de TV:** No es considerable ya que implica altas tasas de transmisión en sentido descendente que se reparten entre todos los usuarios, la red no soporta distribución de TV, ni vídeo bajo demanda.
- **Telefonía:** Si es posible usando voz sobre IP. Varios fabricantes tienen equipos que incorporan una pasarela de voz sobre IP, los cuales están siendo diseñados para proporcionar una calidad de servicio garantizada para esta aplicación.
- **Acceso a Internet:** Principal aplicación, se tiene ancho de banda suficiente 45 Mbps para redes de MT y 2 Mbps para redes de BT.

Todos estos servicios deben considerar un alto nivel de QoS (Calidad de Servicio), tanto para el sistema como para el usuario final. Los objetivos concretos para obtener lo anterior sería:

- Hacer uso de un mecanismo de gestión de QoS extremo a extremo, desde un dispositivo multimedia en una red local a otro en otra red local, incluyendo la configuración de la QoS en las pasarelas, red de acceso y red cableada.
- Desarrollo de un modelo de datos flexible que permita la integración de la gestión de la calidad de servicio en sistemas heterogéneos, y que tenga en cuenta distintos aspectos que influyen en la calidad de un servicio.

3.8.3 CAPACIDADES DE INFORMACIÓN A SER TRANSMITIDAS

Para los servicios y aplicaciones se requieren las siguientes Anchos de banda tanto de subida como de bajada:

Servicio	Downstream	Upstream	AB Total
1 canal de TV alta definición (HDTV)-IPTV	10 Mbps (MPEG) 4	20 Kbps	7.5 o 10 Mbps
1 canal de juegos	512 Kbps	512 Kbps	512 Kbps
Internet banda ancha	3 Mbps	512 Kbps	3 Mbps
2 canales de voz, alta definición + video IP	256 Kbps	256 Kbps	512 Kbps
Teléfono	0.16 Mbps	0.16 Mbps	
Datos IP	4 Mbps	4 Mbps	8 Mbps
total		1.3 Mbps	15 Mbps

Tabla 3.2: Rango de las capacidades de la información a transmitir

3.8.4 CONSIDERACIONES DE NEGOCIO A SEGUIR

Consideraciones de negocio para ELEPCO S.A., en los cuales puede incursionar:

3.8.4.1 Como arrendador de su infraestructura

La empresa eléctrica, por intermedio de una filial, alquila su infraestructura (la red eléctrica) a quien quiera explotarlo. Se proporciona la infraestructura a los operadores cobrando una tarifa adecuada. Este es un mercado regulado (alquiler de circuitos) y habría obligación de pagar las correspondientes tasas asociadas a la licencia que esto implica.

ISPs, empresas de telecomunicaciones y desarrolladores inmobiliarios pueden hacer uso de la infraestructura para brindar en forma rápida, flexible y eficiente todo tipo de servicios de comunicaciones, lo que reduce al mínimo la necesidad de obra de acondicionamiento, ideal para uso en edificios, hoteles, museos, escuelas, y hospitales, donde otras tecnologías son de difícil implementación.

3.8.4.2 Como prestador del servicio de telecomunicaciones

La empresa eléctrica actuará como una Prestadora de servicios desarrollándose como una empresa de telecomunicaciones. Proporciona el servicio final al usuario haciendo uso de sus propias infraestructuras. Esta opción requeriría de la obtención de una licencia o títulos habilitantes que le permitan operar en la región o el país. ELEPCO S.A. tendría la posibilidad de dar servicios de banda ancha (Internet, voz e imágenes) en su área de explotación. A más de las aplicaciones de AMR, vigilancia remota y supervisión de la red eléctrica.

3.8.4.3 Alianza con empresas de Telecomunicaciones

La empresa eléctrica se asocia con un operador de telecomunicaciones, comercializando servicios portadores para otros operadores, para lo cual se requiere una licencia o título habilitante. La oferta consistirá en proveer servicios portadores sobre las redes de acceso de distribución eléctrica.

Modelos de negocio del PLC

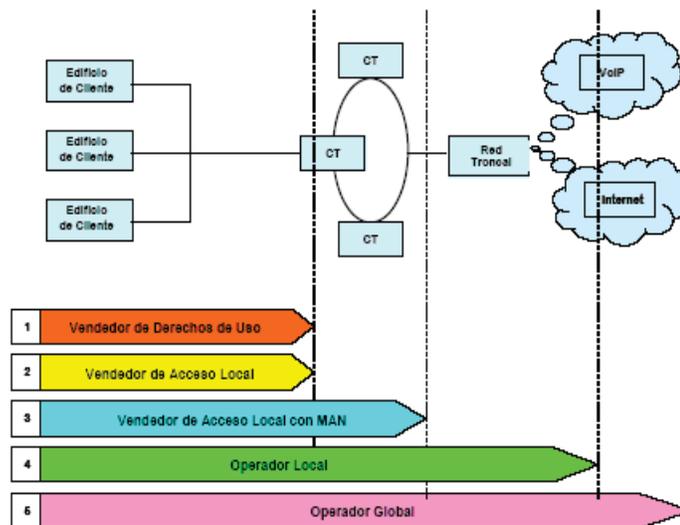


Figura 3.7: Modelos de negocio para la Empresa Eléctrica

3.8.5 BENEFICOS PARA LOS USUARIOS DE LA RED DE ELEPCO S.A.

- Servicios facturados en un solo recibo de pago.
- Trato con un solo proveedor de telecomunicaciones.
- Reducción de precios al adquirir paquetes de varios servicios.
- Integración de múltiples servicios en un número reducido de dispositivos de comunicación.
- Facilidad para integrar nuevos servicios y tecnologías dentro de la misma plataforma de comunicaciones.

3.8.6 BENEFICOS PARA LA PROVINCIA Y LA CIUDAD

Por la falta de infraestructura de telecomunicaciones se hace imposible el acceso a servicios de banda ancha, pero ELEPCO S.A. con una implementación de la tecnología PLC en sus redes hará posible el alcance del Internet en todos los sectores de la provincia.

- ELEPCO S.A. podría implementar programas de desarrollo “Internet para todos” que fomente el Internet en áreas de bajo alcance Ej.: Internet Rural, ya que con la tecnología PLC se acercaran los servicios de banda ancha a entornos rurales, bibliotecas y centros escolares de educación primaria y secundaria para reducir la brecha digital.
- Despliegues en zonas de alta densidad, compartiendo un eje de conexión entre varios unidades de vivienda, para ofrecer a bajo costo los servicios de doble-play.
- Cada uno de los enchufes de la pared esta en línea, computadoras, estéreos, la televisión digital, aparatos y unidades de juego serian conectados a la red eléctrica con conexión a Internet.
- Con su participación en el mercado como proveedor de servicios de Internet ELEPCO S.A. podría dar inicio a la reducción de costos de servicios de Internet en la provincia.

3.9 SITUACION ACTUAL DEL SERVICIO DE INTERNET EN ECUADOR

Ecuador posee una baja disponibilidad de líneas telefónicas en zonas rurales, pero aquí si esta presente la red eléctrica. Además las redes de acceso están dominadas por operadores independientes, lo que desarrolla una barrera para nuevas empresas que desean ingresar a brindar servicios de telecomunicaciones.

3.9.1 PENETRACION DE INTERNET

En la actualidad el Ecuador al igual que varios países latinoamericanos muestran una conectividad de banda ancha limitada, producidas por una serie de obstáculos como:

- Deficiente infraestructura de telecomunicaciones
- Bajos índices de información
- Acceso limitado a créditos para desarrollo de infraestructura
- Falta de inversiones (públicas y privadas)
- Inexistencia de una masa crítica de usuarios
- Alto costo del acceso a la banda ancha

En la *Figura 3.8* se muestra el estado del Ecuador en relación a otros países en materia de penetración a los servicios de Banda Ancha

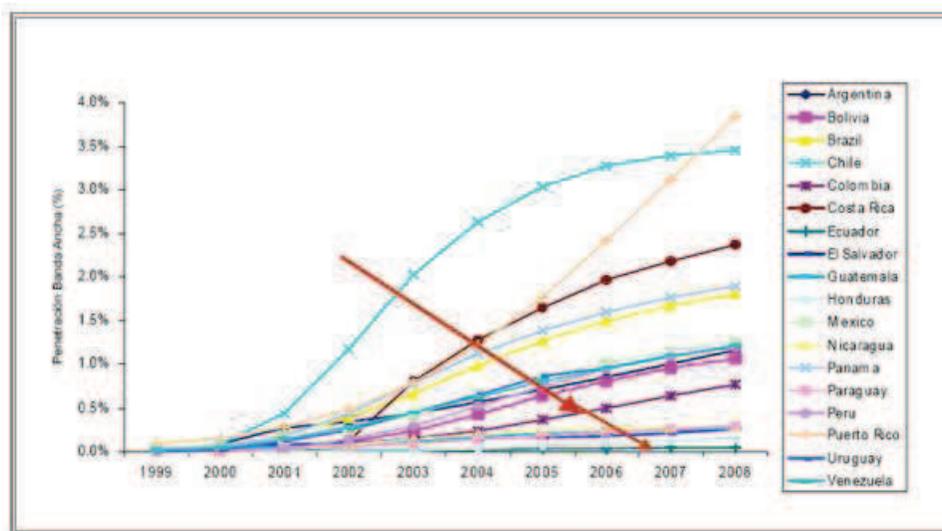


Figura 3.8: Proyección de Índices de Penetración de Banda Ancha en América Latina^[34]

3.9.1.1 Barreras que impiden incrementar la conectividad nacional

La baja penetración de Internet en Ecuador, obedece básicamente a las siguientes barreras:

- **Conectividad internacional:** Para la conectividad con el exterior se dispone de acceso a través de rutas submarinas por el Cable Panamericano, enlaces satelitales y enlaces terrestres a través de interconexiones vía microonda digital con Colombia y Perú. La capacidad a través del Cable Panamericano se encuentra saturada. Además el alto costo de la conectividad internacional a Internet, genera tarifas altas al usuario final. La falta de un NAP³⁵ robusto con alto tráfico de “peering”³⁶ para reducir el uso de la capacidad internacional y acceder a los contenidos locales.
- **Disponibilidad de Internet:** Hay oportunidades, aunque limitadas, para el acceso del público a Internet, para aquellos que no lo poseen desde el hogar, el trabajo o la escuela, en las áreas urbanas, casi ninguna en áreas rurales. Los usuarios suelen tener dificultades en establecer una conexión a un ISP local. Aún no hay competencia en la oferta comercial de líneas.
- **Costos de acceso a Internet:** Las tarifas de telefonía local pueden disuadir del uso extenso del Internet vía ISP locales, incluso para los usuarios con capacidad de pago es una tarifa que puede considerarse alta, debido a que no existe un régimen tarifario específico para el servicio de Internet. La falta de competencia en la provisión de líneas telefónicas comerciales se refleja en cuotas exageradas o tarifas de uso relativamente altas.
- **Penetración promedio de PCs.** Este problema lo constituye la carencia de computadoras personales, para aprovechar las prestaciones derivadas del uso de banda ancha. Accesibilidad a Equipo Terminal exige acciones conjuntas de proveedores, operadores y gobiernos.

³⁵ *NAP* Punto de Acceso a la Red: Puntos principales de acceso a grandes redes como el Internet o el VBNS (Very-high-speed Backbone Network Service).

³⁶ *Peering*: Voluntaria interconexión entre dos redes administrativamente independientes, con el propósito de intercambiar tráfico entre usuarios de cada red

La poca importancia que el gobierno ha dado al uso de las tecnologías en la educación se revela a través de los siguientes datos encontrados a nivel nacional en las instituciones educativas del país:

- El porcentaje de instituciones preuniversitarias con equipos computacionales es muy bajo, 13% en el área rural y 27% en el área urbana.
 - De las instituciones con computadoras, aproximadamente, el 2 % del área rural y 11% del área urbana, tienen laboratorios informáticos.
 - Tanto en el área Rural como en el Urbano, el número de estudiantes por computadoras en los establecimientos educativos es mayor a 46. Esta relación baja a 21 en el caso de las Universidades.
 - Sólo el 5,38% de establecimientos acceden a Internet (0.95% del área Rural y 4,4% del área Urbana).
 - Únicamente 6% del total de establecimientos tienen conectados sus computadoras por medio de una red LAN (2% en el área rural).
- Bajo desarrollo de la conectividad de Internet social.
- No existen soluciones regulatorias genéricas. El acceso a la banda ancha no está regulado expresamente, pero sí la infraestructura para proveerlo.
- Incentivar plataformas universales multiservicio
- Promoción del uso de Cafés Internet o “Cibercafés”
- Desagregación Bucle Local con cautela
- Tema de Licencia única o genérica parece dar buenos resultados en un entorno de convergencia. Liberalización de Voz sobre Internet, con gradualidad y cautela

La propuesta de la tecnología PLC para introducir los servicios de Banda Ancha en áreas no atendidas del país y especialmente en el área de concesión de ELEPCO S.A. resulta viable, ya que nos brindaría poder alcanzar una sociedad totalmente comunicada.

3.9.2 PRINCIPALES ENTIDADES INTERESADAS EN EL SERVICIO DE INTERNET

Con la implementación de la tecnología PLC se podría brindar servicios de banda ancha, a unidades educativas, centros de cómputo, entidades financieras, centros comerciales, edificios, hoteles, museos y hospitales donde es primordial no hacer trabajos adicionales que modifiquen su infraestructura. También es beneficiosa para empresas consultoras, PYMES³⁷ en expansión, oficinas temporarias, contratistas y todo tipo de entidades o empresas que requieran montar rápidamente una red flexible y con capacidad de ser mudada y reutilizada en otras locaciones. Sobretudo para redes de datos hogareñas donde no se requiere altas inversiones para suministrar el Internet.

Entidad	Sitios Requirientes
Centros públicos	<ul style="list-style-type: none"> - Correos - Municipio - Consejo Provincial - Gobernación - Policía Nacional
Información	<ul style="list-style-type: none"> - Cámara de Turismo del Cotopaxi - Cámara de Comercio
Museos	<ul style="list-style-type: none"> - Museo de la Casa de la Cultura - Museo del Col. Vicente León - Museo de la Esc. Isidro Ayora - Bibliotecas
Puntos de Interés	<ul style="list-style-type: none"> - Cuerpo de Bomberos - Cruz Roja - Hospital General
Centros culturales	<ul style="list-style-type: none"> - Casa de los Marqueses - Esc. Politécnica del Ejército - Universid. Tec. de Cotopaxi
Transportes	<ul style="list-style-type: none"> - Terminal Terrestre - Aeropuerto
Educación	<ul style="list-style-type: none"> - Escuelas - Colegios - Universidades
Otros	<ul style="list-style-type: none"> - SRI - Instituciones Bancarias - Centros de comercio

Tabla 3.3: Grupos de Interés para brindar servicios de datos en Latacunga

³⁷ PYMES: Pequeña y Mediana Empresa

3.9.3 PENETRACIÓN DE INTERNET EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI

Debido a que ELEPCO S.A. brinda el servicio de energía eléctrica a toda provincia, se puede afirmar que los potenciales usuarios que ELEPCO tratará de captar en su etapa inicial son todos los usuarios que hoy en día acceden al Internet en esta provincia, fundamentalmente porque posee la infraestructura necesaria para el despliegue de la tecnología.

Para el cálculo de los usuarios de cuentas conmutadas y dedicadas se asume que cada una abastece a 8 usuarios. Obteniendo el total de usuarios de Internet en la provincia de Cotopaxi aproximadamente de:

	Cuentas	Usuarios estimados	Total de usuarios de Internet
Usuarios Conmutados	461	8	3688
Usuarios Dedicados	708	8	5664
Satelital	120	2	240
Otros	100	2	200
Total	1389	20	9792

Tabla 3.4: Número de usuarios de Internet en Cotopaxi

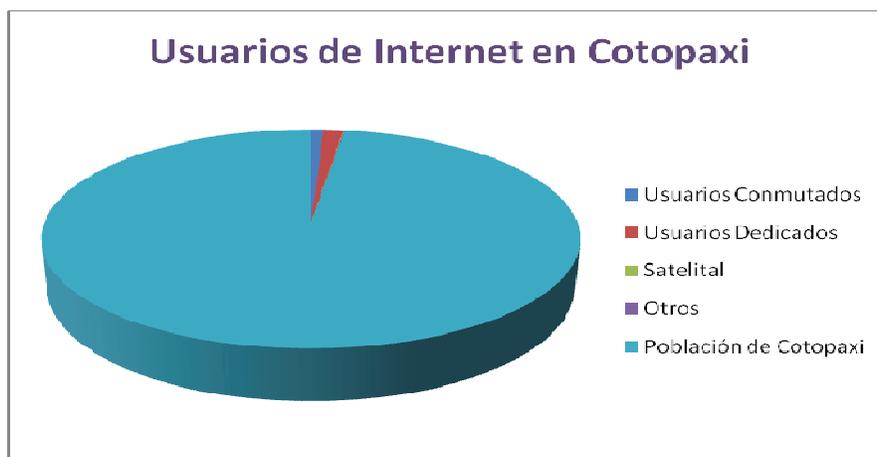


Figura 3.9: Tipos de Cuentas de Internet en la provincia de Cotopaxi

Para el cálculo del índice de penetración en la provincia de Cotopaxi, es necesario conocer el número total de habitantes en la provincia, como el total de usuarios con acceso a Internet en la misma. A continuación se indican valores obtenidos en la Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador. El cálculo del índice de penetración del Internet se obtiene de la *Ec-3.1* donde:

CALCULO # 1

$\%I_p =$ *Índice de penetración de acceso a internet en la prov.*

$U_I =$ *# Total de usuarios de Internet*

$H_P =$ *# Habitantes en la provincia*

$$\%I_p = \frac{U_I}{H_P}$$

Ec-3.1

$$\% = \frac{9792}{402877} * 100$$

$$\% = 2,4$$

3.9.3.1 Número de usuarios a ser atendidos por ELEPCO S.A.

Se considera que los usuario que puedan acceder al Internet, solamente deben contar con una cuenta de energía eléctrica. Por lo tanto se procede a estimar valores a partir del número de usuarios que cuentan con el servicio de energía eléctrica en la provincia.

Al partir del número total de habitantes en la provincia de Cotopaxi que es 402,877, de acuerdo a datos obtenidos en el INEC, se destaca que existe una cobertura del servicio eléctrico de 99 % en la zona urbana y 93.5% en lo que corresponde al área rural y urbano marginal. De acuerdo al cálculo anterior el índice actual de penetración de Internet en la provincia es de 2.4.

El número de usuarios a los que ELEPCO S.A. suministra energía eléctrica representan el 96.75% de la población total de Cotopaxi.

Población de Cotopaxi	Porcentaje Cobertura Eléctrica	Usuarios Eléctricos en Cotopaxi
402877	96.75%	389784

Tabla 3.5: Número de usuarios Eléctricos

Del valor total de usuarios que son abastecidos con energía eléctrica en toda la provincia, determinamos sobre ellos el índice de penetración real, para conocer el número de usuario a los que ELEPCO S.A. podría prestar el servicio de Internet.

Usuarios Eléctricos en Cotopaxi	Índice de Internet	Usuarios de Internet en Cotopaxi
389784	2.4	9355

Tabla 3.6: Número de usuarios que reciben el servicio de datos por parte de ELEPCO S.A.

El número de usuarios a los que ELEPCO S.A. podría dar servicios de Banda Ancha es de 9355 posibles clientes de Internet en toda la provincia.

En el diseño de este proyecto se considerará en su etapa inicial el área urbana de la ciudad de la Latacunga cuyo número poblacional se indican en la *Tabla 3.7.*

	Población de Latacunga
Urbana	82742
Rural	85512
Población Total	168254

Tabla 3.7: Número de habitantes en Latacunga

Población de Latacunga (zona urbana)	Porcentaje Cobertura Eléctrica	Usuarios Eléctricos
82742	99%	81815

Tabla 3.8: Número de usuarios del área urbana en Latacunga

Se estima que existe un porcentaje al cual no se llegará con el servicio de Internet en la parte inicial, por lo cual se obtienen los posibles usuarios de Internet, que pertenecen a la zona piloto en la que se centrará el diseño de la red PLC.

CALCULO # 2

$\%I_p$ = *Indice de penetración de acceso a internet en la prov.*

U_E = *# Usuarios Electricos en Latacunga*

U_{ILat} = *# Total de usuarios de Internet en la zona piloto*

$$U_{ILat} = \%I_p * U_E \quad Ec- 3.2$$

$$U_{ILat} = \frac{2.4 * 81815}{100}$$

$$\underline{U_{ILat} = 1966}$$

Usuarios Eléctricos en Latacunga (zona urbana)	Porcentaje Cobertura de Internet	Usuarios de Internet en la zona Piloto
81815	2.4%	1966

Tabla 3.9: Muestra del Número de usuarios a ser atendidos por ELEPCO S.A con el servicio de datos

El número de usuarios a los que ELEPCO S.A. podría brindarles el servicio de Banda Ancha es de 1966 usuarios en el área urbana de la Latacunga, estos disponen actualmente de una cuenta de servicio eléctrico y servicios de Internet. Por lo que representan el número inicial de usuarios a los que ELEPCO S.A. llegará a través del Servicio de Banda Ancha con la tecnología PLC.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA RED PLC EN LA RED ELECTRICA DE ELEPCO S.A.

En este capítulo se diseña el sistema de comunicaciones que operará sobre una Red PLC (Power Line Communications) utilizando la infraestructura de la red eléctrica de ELEPCO S.A. para dar cobertura a la zona Central de la ciudad de Latacunga. Se identificarán los equipos necesarios para adecuar los servicios de voz, datos y video en la red eléctrica con el fin de ofrecer una solución de conectividad a hogares, oficinas, empresas y universidades.

Se determinarán los costos de los equipos involucrados para el diseño de una red con tecnología PLC.

4.1 ALCANCE

El diseño del sistema de comunicaciones con tecnología PLC tiene como fin dar Acceso a Internet de banda ancha a la zona central de la ciudad de Latacunga dentro de la cobertura de las subestaciones La Cocha y El Calvario de ELEPCO S.A. y las Cámaras de transformación a las que suministran energía.

4.2 ESTADO ACTUAL DE LA RED ELÉCTRICA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A.

A continuación se describe la estructura de la red eléctrica de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., y sus características más importantes, con énfasis en la zona de diseño de la Red PLC.

ELEPCO S.A. brinda servicio a un 96.75 % de los usuarios de la provincia de Cotopaxi, su sistema eléctrico posee elementos como Redes de Alta Tensión (AT), Media Tensión (MT) y Baja Tensión (BT), además de las respectivas Subestaciones de AT, MT, Transformadores MT/BT aéreos y subterráneos.

ELEPCO S.A. cuenta con trece subestaciones de distribución instaladas a lo largo de la provincia, sirviendo a un total de 389,783 usuarios.

A continuación se describe la estructura y características de las Subestaciones de el Calvario y la Cocha y las Cámaras de Transformación que alimentan, a través del enlace de MT a la zona Centro de Latacunga hasta llegar a los usuarios de la red de BT, zona en la que se desarrollará el diseño de la Red PLC.

Con el acompañamiento del personal de ELEPCO S.A. se realizó un seguimiento de la red eléctrica que parte de las subestaciones La Cocha y el Calvario, que cubren un área de aproximadamente 62 km² para determinar el número de transformadores que se dirigen al sector de la red subterránea. Puesto que la empresa ELEPCO S.A. no ha reconocido toda su red, se decidió que el diseño de la Red PLC se centrará en el recorrido del Alimentador # 3, que parte de la subestación La Cocha hacia el centro de la ciudad y la subestación El Calvario que son las que abastecen al sistema subterráneo de la ciudad de Latacunga.

4.2.1 SUBESTACIONES DE TRANSFORMACION LA COCHA Y EL CALVARIO

Las subestaciones de la Cocha y el Calvario se encuentran interconectadas por el Alimentador # 2 a una distancia de 6 km, y un conductor de calibre 266,8 MCM, lo que se considera como una sola red de distribución.



Figura 4.1: Alimentador 2 que interconecta a las SE La Cocha y El Calvario

Subestaciones	Primarios	Sectores	Red de MV (kV)
La Cocha	1	Oriente Rural	13.8 kV
	2	Interconexión	13.8 kV
	3	Libre	13.8 kV
	4	FAE	13.8 kV
	5	Latacunga Norte	13.8 kV
El Calvario	1	Industrial Sur	13.8 kV
	2	Oriental	13.8 kV
	3	Libre	-
	4	Libre	-

Tabla 4.1: Distribución de primarios de las subestaciones La Cocha y El Calvario

4.2.1.1 Ubicación de la subestaciones

- La Subestación La Cocha está ubicada en el Barrio La Cocha Norte en la Calle Panzaleos y sirve a 4100 abonados aproximadamente.



Figura 4.2: Subestación la Cocha

- La Subestación El Calvario esta ubicada en el Barrio el Calvario en la Av. Oriente e Isla Floreana y sirve a 4987 abonados aproximadamente.



Figura 4.3: Subestación el Calvario

La subestación La Cocha se encuentra en una zona urbano-marginal de la ciudad de la Latacunga donde el número de habitantes es reducido, razón por la cual se considera la interconexión que tiene con la subestación El Calvario por medio del Alimentador N° 2, para realizar un futuro diseño de expansión del Servicio de la Red PLC. La Cocha y el Calvario se pueden considerar como una sola red de distribución gracias a la interconexión y se puede llegar a otros sectores donde no hay transmisión de datos y así expandir el servicio de Internet junto con la energía eléctrica. La Cocha suministra energía eléctrica al sector del sistema subterráneo de la ciudad a través del Alimentador N° 3.

La subestación el Calvario suministra energía a un sector residencial de la ciudad. El Calvario y la Cocha tienen una red tipo malla. Esta conexión no pasa por el transformador en la subestación y se conectan directamente a los 13,8 kV. Las subestaciones de la Cocha y el Calvario alimentan a los sistemas subterráneos de la zona Centro de la ciudad de Latacunga.

4.2.1.2 Diagramas Unifilares de las subestaciones el Calvario y la Cocha

En la *Figura 4.4* se muestra el diagrama unifilar de las S/E La Cocha y el Calvario y la interconexión que se presenta entre ellas.

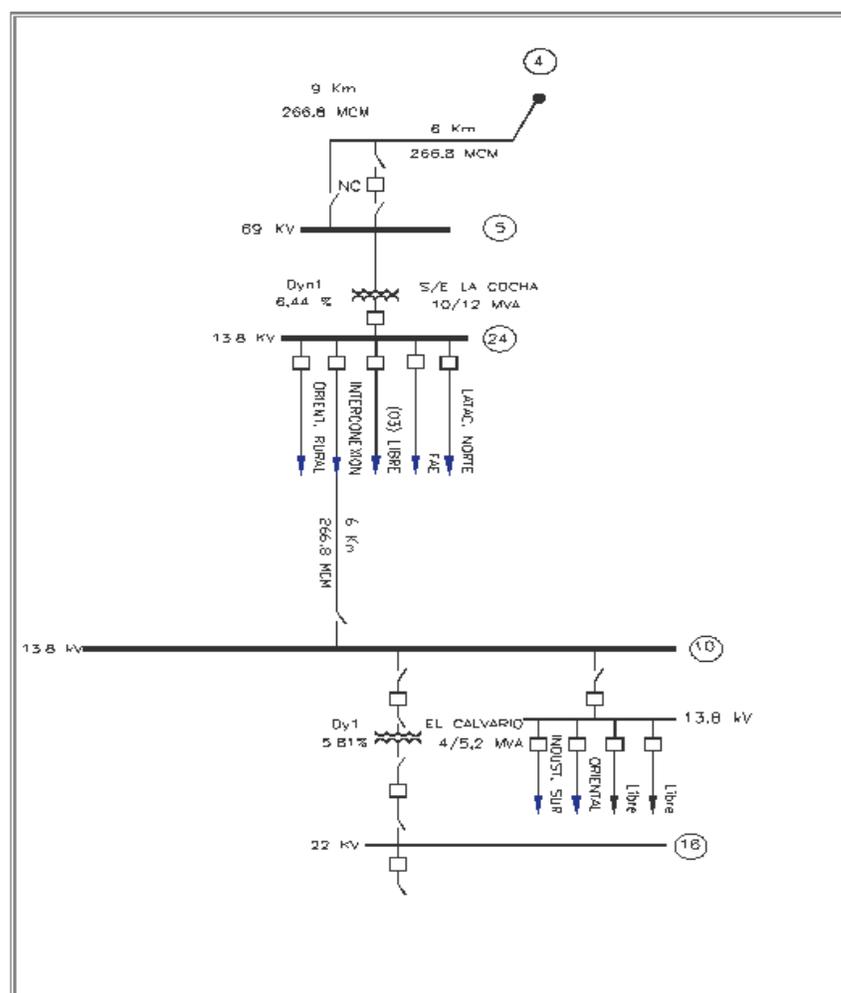


Figura 4.4: Diagramas unifilares de las S/E La Cocha y el Calvario

4.2.1.3 Calibre de los conductores

Tipo de Redes	El Calvario	La Cocha
Redes Aéreas MV (13.8 kV)	Aluminio Desnudo ASCR No. 2, 4, 1/0 y 3/0.	Aluminio Desnudo ASCR No. 2, 4, 1/0 y 3/0.
Redes Aéreas BV (120 – 240 V)	Aluminio Desnudo ASCR No. 2, 4, 1/0 y 3/0 y Cable preensamblado No. 3 x 1/0	Aluminio Desnudo ASCR No. 2, 4, 1/0 y 3/0 y Cable preensamblado No. 3 x 1/0
Redes Subterráneas MV (13.8 kV)	Cobre aislado XLPE 15 kV calibre No. 2/0, 3/0	Cobre aislado XLPE 15 kV calibre No. 2/0, 3/0
Redes subterráneas BV(120 – 240 V)	Cobre aislado No. 2/0, 3/0	Cobre aislado No. 2/0, 3/0
Acometidas	Cobre aislado calibre No. 6, 8, 10	Cobre aislado calibre No. 6, 8, 10
	Longitud máxima de la acometida	Red Subterránea 15 m Red Aérea 30 m

Tabla 4.2: Conductores empleados en las redes de MT y BT

4.2.1.4 Longitud de las Líneas de transmisión

Distancia	Valor
Desde El Calvario al Centro Histórico	0.5 km.
Desde La Cocha al Centro Histórico	2.5 km.

Tabla 4.3: Longitud de las Líneas de transmisión

4.2.1.5 Número de Transformadores aéreos hasta el Sistema Subterráneo

A lo largo de la ciudad de Latacunga se encuentran distribuidos todo tipo de transformadores monofásicos y trifásicos. Para llegar al sistema subterráneo de la ciudad se distribuyen en la red desde la Cocha aproximadamente 20 transformadores aéreos hasta llegar a la Av. Napo y Luís Vivero donde se ingresa a la red subterránea de MT en la Cámara de Transformación de La Merced, a una distancia de 2.5 km.

Desde el Calvario hasta llegar a la red subterránea hay 7 transformadores aéreos, donde ingresa a la Cámara de Transformación San Francisco. La Subestación el Calvario esta ubicada a una distancia de 500 m de la CT San Francisco.

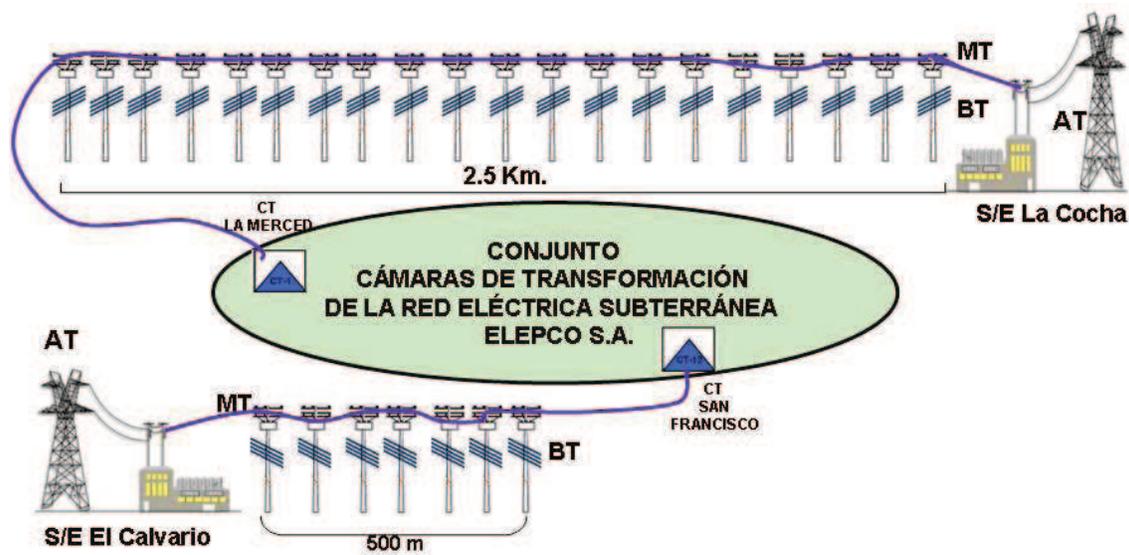


Figura 4.5: Transformadores que ingresan a la Red Subterránea de ELEPCO S.A.

4.2.1.6 Número de usuarios aproximado por transformador

No existe un número de usuarios estándar por transformador ya que varía de acuerdo a la potencia de cada transformador, del tipo de consumidor y de la zona urbana, urbano-marginal y rural a la que se brinda el servicio de energía eléctrica. Según datos de la empresa, se tiene un promedio de 25 abonados eléctricos por transformador. Para tener un registro más exacto se considerarán los datos de las Cámaras de Transformación Subterráneas.

4.2.2 CÁMARAS DE TRANSFORMACION SUBTERRANEAS

Cada Cámara de transformación subterránea representa a un transformador de distribución de MT/BT que alimentan la parte de la zona Centro de la ciudad de Latacunga. Cada una da servicio a grupos importantes como son escuelas, colegios, universidades, municipio, hospital, instituciones bancarias, etc., donde actualmente ya se encuentra establecido un servicio de transmisión de datos (Internet). Las cámaras subterráneas se encuentran en lugares cerrados protegidos de la lluvia y factores climáticos como rayos, interferencias que pueden afectar a los equipos que constituirán la Red PLC.

En esta zona se encuentra distribuido un importante sector comercial de la ciudad, por lo que el diseño de la Red PLC en este sector involucra a potenciales clientes del servicio.

4.2.2.1 Número de Cámaras de Transformación Subterráneas

Dentro de la Ciudad de Latacunga en el Sector Central se encuentran distribuidas 13 cámaras de transformación subterráneas de MT/BT:

CT	Cámara Transformación	Potencia	Dirección
CT-01	La Merced	200 KVA	Quijano y Ordóñez
CT-02	Victoria Vásquez Cuví	200 KVA	Sánchez de Orellana # 19-01
CT-03	Cementerio	160 KVA	Belisario Quevedo y Calixto Pino
CT-04	Santo Domingo	400 KVA	Iglesia Sto. Domingo Fernando Sánchez Orellana y Guayaquil
CT-05	C.C. California	120 KVA	Juan A. Echeverría
CT-06	Banco del Litoral	400 KVA	Calle Guayaquil
CT-07	Rafael Cajiao	400 KVA	Av. Amazonas/ J.A. Echeverría
CT-08	Plaza Sucre	200 KVA	Pastaza y Amazonas esquina
CT-09	Corte de Justicia	200 KVA	Antonia Vela - G. Maldonado
CT-10	Gobernación	160 KVA	G. Maldonado- Quito
CT-11	San Agustín	160 KVA	H. Páez 3-01 B. Quevedo
CT-12	San Francisco	200 KVA	San Vicente Martín-Gral. Maldonado
CT-13	La ESPE	200 KVA	Hermanas Páez - Av. Oriente
CT-14	Torre 1	75 KVA	Félix Valencia – Av. Napo
CT-15	Torre 2	60 KVA	Napo-Guayaquil

Tabla 4.4: Cámaras Subterráneas de ELEPCO S.A.

Además existe un número considerable de cámaras particulares que sirven a edificios e instituciones pero se alimentan de las CT Subterráneas de ELEPCO S.A.

4.2.2.2 Red de MT que alimenta a las CT Subterráneas

Las Cámaras de transformación que suministran energía al sistema eléctrico subterráneo del Centro de la ciudad de Latacunga, son alimentadas por las subestaciones el Calvario y la Cocha.

Subestación	CT	Nombre
La Cocha Alimentador 3	CT-01	La Merced
	CT-02	Victoria Vásconez Cuvi
	CT-03	Cementerio
	CT-04	Sto. Domingo
	CT-05	C.C. California
	CT-06	Bco. Litoral
	CT-07	Rafael Cajiao
El Calvario Alimentador 1- 3	CT-08	Plaza Sucre
	CT-09	Corte de Justicia
	CT-10	Gobernación
	CT-11	San Agustín
	CT-12	San Francisco
	CT-13	ESPE

Tabla 4.5: Distribución de las Subestaciones que alimentan a las CT subterráneas

4.2.2.3 Interconexión de las Cámaras de Transformación

En el mapa de la Ciudad de Latacunga se muestra la distribución de las Cámaras de transformación ubicadas en la zona Central de la ciudad.

MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS CÁMARAS DE TRANSFORMACIÓN SUBTERRANEAS DE ELECPCO S.A. EN LA CIUDAD DE LATACUNGA



Figura 4.6: Distribución de las Cámaras de Transformación subterránea

4.2.2.4 Conexión de las CT en el enlace de MT

En la *Figura 4.7* se muestra las conexiones de MT de las CT y las interconexiones que existen entre ellas. De la subestación el Calvario a la CT-12 (San Francisco) hay una distancia de 0.5 km. De la subestación la Cocha a la CT-01 (La Merced) hay una distancia de 2.5 km. Sobre esta red se va a estructurar la red de comunicaciones. Las líneas de media tensión siguen generalmente la topología de anillo, que provee redundancia, garantizando la provisión de energía en caso de que se produzca la rotura del anillo.

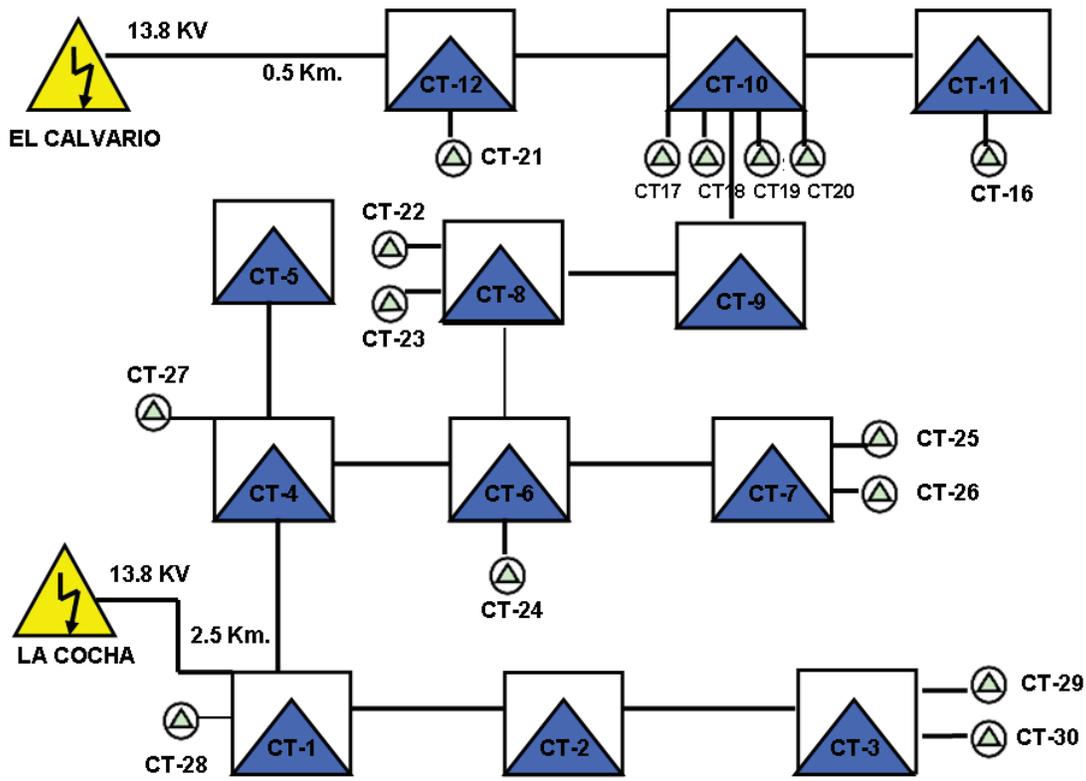


Figura 4.7: Interconexión de las CT subterráneas a través del cableado de MT

En la *Figura 4.7* además se muestran las Cámaras de Transformación privadas o subcámaras que sirven a edificios e instituciones, pero que se alimentan de las CT Subterráneas de ELEPCO S.A.

En la *Tabla 4.6* se muestran las CT principales y a que Subcámara de transformación suministran energía.

Cámaras Principales	Potencia	Interconexiones	Potencia
CT-01 La Merced	200 KVA	CT-28 Sindicato de Chóferes	30 KVA
		CT-02 V.V.C	200 KVA
CT-02 V.V.C	200 KVA	CT-03 Cementerio	160 KVA
CT-03 Cementerio	160 KVA	CT-29 C.C. Zapata	25 KVA
		CT-30 TIA	50 KVA
CT-04 Sto.Domingo	400 KVA	CT-05 C.C. California	120 KVA
		CT-27 C.C San Pedro	15 KVA
		CT-01 La Merced	200 KVA
CT-06 Bco. Litoral	830 KVA	CT-04 Sto. Domingo	400 KVA
		CT-07 Rafael Cajiao	400 KVA
		CT-24 Padilla	30 KVA
CT-07 Rafael Cajiao	400 KVA	CT-25 UniBanco	37,5 KVA
		CT-26 Sr. Palma	37,5 KVA
CT-08 Plaza Sucre	440 KVA	CT-22 Chifa	10 KVA
		CT-06 Bco. Litoral	400 KVA
		CT-23 Narcis	30 KVA
CT-09 Corte Justicia	200 KVA	CT-08 Plaza Sucre	200 KVA
CT-10 Gobernación	560 KVA	CT-12 San Francisco	210 KVA
		CT-09 Corte Justicia	200 KVA
		CT-17 Andinatel	50 KVA
		CT-18 Platinum	50 KVA
		CT-19 Curia	75 KVA
		CT-20 Bco. Pichincha	75 KVA
CT-11 San Agustín	160 KVA	CT-16 Hospital	100 KVA
CT-12 San Francisco	210 KVA	CT-21 SRI	30 KVA

Tabla 4.6: Detalle de las CT Subterráneas y sus CT particulares

4.2.2.4.1 Segmentos de las Cámaras de Transformación Subterráneas

- Desde CCR-Subestación El Calvario parte un segmento hacia CT-12
- CT-10 parten dos segmentos uno para CT-12 y el otro para CT-9
- CT-9 parte un segmento de red hacia CT-8
- CT-8 parte un segmento hacia CT-6
- CT-6 parten dos segmentos uno hacia CT-4 y otro para CT-7
- CT-4 parten dos segmentos uno hacia CT-5 y otro hacia CT1
- CT-1 parte un segmento hacia CT-2
- CT-2 parte un segmento hacia CT-3

4.2.2.5 Distancia entre las CT subterráneas

En la *Figura 4.8* se muestra la Red de MT por la cual se interconectan las CT Subterráneas. Aquí se determina las distancias existentes entre cámaras y la distancia hacia el CCR (Centro de Control de la RED) situado en la Subestación de Transformación El Calvario.

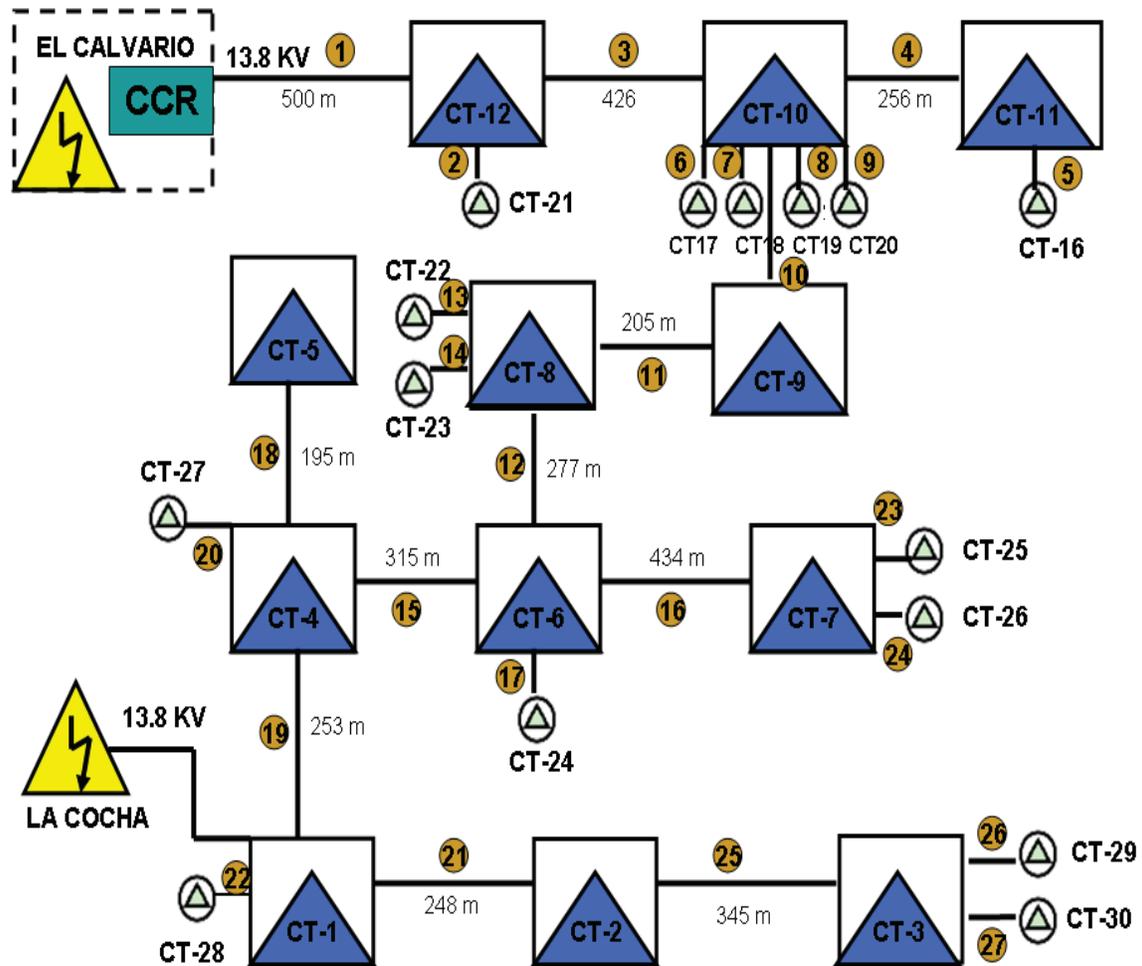


Figura 4.8: Distancias entre Cámaras de Transformación

Tramo	Nodo A	Nodo B	Distancia (m)
1	Cent. Control de la RED ELEPCO S.A.	CT-12	500
2	CT-12	CT-21	186
3	CT-12	CT-10	426
4	CT-10	CT-11	256
5	CT-11	CT-16	188
6	CT-10	CT-17	54
7	CT-10	CT-18	293
8	CT-10	CT-19	235
9	CT-10	CT-20	92
10	CT-10	CT-09	292
11	CT-09	CT-08	205
12	CT-08	CT-06	277
13	CT-08	CT-22	126
14	CT-08	CT-23	145
15	CT-06	CT-04	315
16	CT-06	CT-07	434
17	CT-06	CT-24	292
18	CT-04	CT-05	195
19	CT-04	CT-01	253
20	CT-04	CT-27	238
21	CT-01	CT-02	248
22	CT-01	CT-28	86
23	CT-07	CT-25	167
24	CT-07	CT-26	235
25	CT-02	CT-03	345
26	CT-03	CT-29	98
27	CT-03	CT-30	83

Tabla 4.7: Distancia entre CT Subterráneas y sus respectivas CT privadas

Las distancias máximas desde el CCR hasta las Cámaras de Transmisión son CT-3 (3117 m), CT-2 (2772 m), CT-1 (2524 m).

4.2.2.6 Estructura de las Cámaras de Transformación

4.2.2.6.1 Equipos y elementos

Están constituidas básicamente de:

Equipo	Características
Interruptor de Alta tensión	Es una unidad principal (Ring Main Unit) aislada en aceite, con dos y hasta cinco Switch para operar bajo carga, mas un Sw tipo fusible para el transformador propio de la unidad.
Transformador	Trifásico, opera en la $f= 60$ Hz, aislado en aceite con enfriamiento natural además de lo equipos de protección.
Armario para baja tensión	Posee un conjunto de barras de cobre, un disyuntor para protección de las barras, disyuntores para protección de los alimentadores secundarios.

Tabla 4.8: Características de los equipos de una CT



Figura 4.9: Transformador trifásico

4.2.2.6.2 Red de Media y Baja Tensión

Niveles de transformación: Ingresa a las CT 13,8 kV de la Red MT y se transforma en redes de BT de 110 V, 220 V monofásicas, bifásicas o trifásicas.

➤ **Red de Baja tensión**

Parte de los armarios de las CT, a través de una protección principal. Se encuentra formada por tres fases y un neutro que se dirigen por medio de ductos hacia los contadores de energía de los usuarios. Dependiendo de las necesidades se pueden tener medidores de energía monofásica, bifásica y trifásica.



Figura 4.10: Ingreso de los circuitos a la Red de BT

➤ **Número de usuarios con medidores digitales y electromagnéticos**

Actualmente se está realizando la instalación de medidores digitales en la ciudad de Latacunga, debido a un cambio de infraestructura en los equipos de la empresa. Un 47 % de la población urbana ya tienen medidores digitales (Datos tomados de los registros de ELEPCO S.A.).

➤ **Entidades**

Las principales entidades que se encuentran ubicadas en este sector son generalmente: Bancos, escuelas, colegios, universidades, hospitales, locales comerciales de variada actividad, municipalidad, gobernación, etc.

➤ **Calidad del cableado de la Red Subterránea**

Las líneas de MT a BT ubicadas en el sector de la zona de diseño tienen aproximadamente 10 años de haber sido tendidas, por lo que pueden considerarse como infraestructura nueva, con escasa cantidad de empalmes, que cumplen con los niveles de seguridad del sistema eléctrico ecuatoriano.

4.2.2.7 Número de circuito y usuarios por Cámara de Transformación

Las CT suministran energía a un total de 2694 usuarios. En la *Tabla 4.9* se indica el número de usuarios por circuito en cada cámara de transformación subterránea de la ciudad de Latacunga:

CAMARAS DE TRANSFORMACIÓN					
CT-01 LA MERCED		CT-02 VICTORIA VASCONEZ CUVI		CT-03 CEMENTERIO	
Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores
Circuito 1	39	Circuito 1	48	Circuito 1	14
Circuito 2	30	Circuito 2	73	Circuito 2	53
Circuito 3	27	Circuito 3	47	Circuito 3	54
Circuito 4	33	Circuito 4	43	Circuito 4	60
Circuito 5	60	Subtotal	211	Subtotal	181
Subtotal	189				
CT-04 STO. DOMINGO		CT-05 C.C. CALIFORNIA		CT-06 BCO. LITORAL	
Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores
Circuito 1	31	Circuito 1	1	Circuito 1	54
Circuito 2	23	Circuito 2	1	Circuito 2	108
Circuito 3	31	Subtotal	2	Circuito 3	80
Circuito 4	23			Subtotal	242
Circuito 5	40				
Circuito 6	39				
Circuito 7	73				
Circuito 8	27				
Circuito 9	58				
Subtotal	345				
CT-07 RAFAEL CAJIAO		CT-08 PLAZA SUCRE		CT-09 CORTE DE JUSTICIA	
Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores
Circuito 1	36	Circuito 1	99	Circuito 1	53
Circuito 2	79	Circuito 2	51	Circuito 2	66
Circuito 3	60	Circuito 3	79	Circuito 3	57
Circuito 4	58	Circuito 4	39	Circuito 4	20
Circuito 5	15	Subtotal	268	Subtotal	196
Circuito 6	48				
Circuito 7	49				
Circuito 8	65				
Subtotal	410				
CT-10 GOBERNACIÓN		CT-11 SAN AGUSTIN		CT-12 SAN FRANCISCO	
Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores
Circuito 1	38	Circuito 1	28	Circuito 1	40
Circuito 2	35	Circuito 2	27	Circuito 2	24
Circuito 3	18	Circuito 3	27	Circuito 3	51
Circuito 4	18	Circuito 4	35	Circuito 4	28
Subtotal	109	Subtotal	117	Subtotal	143
CT-13 LA ESPE		CT-14 TORRE 1 FELIX VALENCIA-AV. NAPO		CT-15 TORRE 2 NAPO-GUAYAQUIL	

CAMARAS DE TRANSFORMACIÓN					
Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores	Nº Circuitos	Nº Medidores
Circuito 1	38	Circuito 1	35	Circuito 1	32
Circuito 2	57	Circuito 2	38	Circuito 2	12
Circuito 3	24	Subtotal	73	Subtotal	44
Circuito 4	45				
Subtotal	164				
		TOTAL DE USUARIOS:	2694		

Tabla 4.9: Número de Circuitos y usuarios de las CT subterráneas

4.2.2.8 Cámara de Transformación de Santo Domingo CT-04

Cada CT tiene un número de circuitos que distribuyen energía a la Red de BT, como se observa en la *Tabla 4.9*. Aquí se detallan los circuitos y el número de usuarios que son abastecidos. Se considera la CT-04 Santo Domingo como ejemplo de estudio ya que posee una gran cantidad de circuitos, en total nueve, que alimentan a 354 contadores de energía que representa el número de usuarios totales a los que abastece CT-04.

En la *Figura 4.11* se muestra la red de BT que parte de la CT-04 (Santo Domingo) a los nueve circuitos (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9) y las respectivas distancias hasta el último pozo. En la *Tabla 4.10* se especifican todos los circuitos eléctricos de la CT-04 hasta llegar a los pozos de conexión donde ingresan al contador eléctrico de cada usuario.

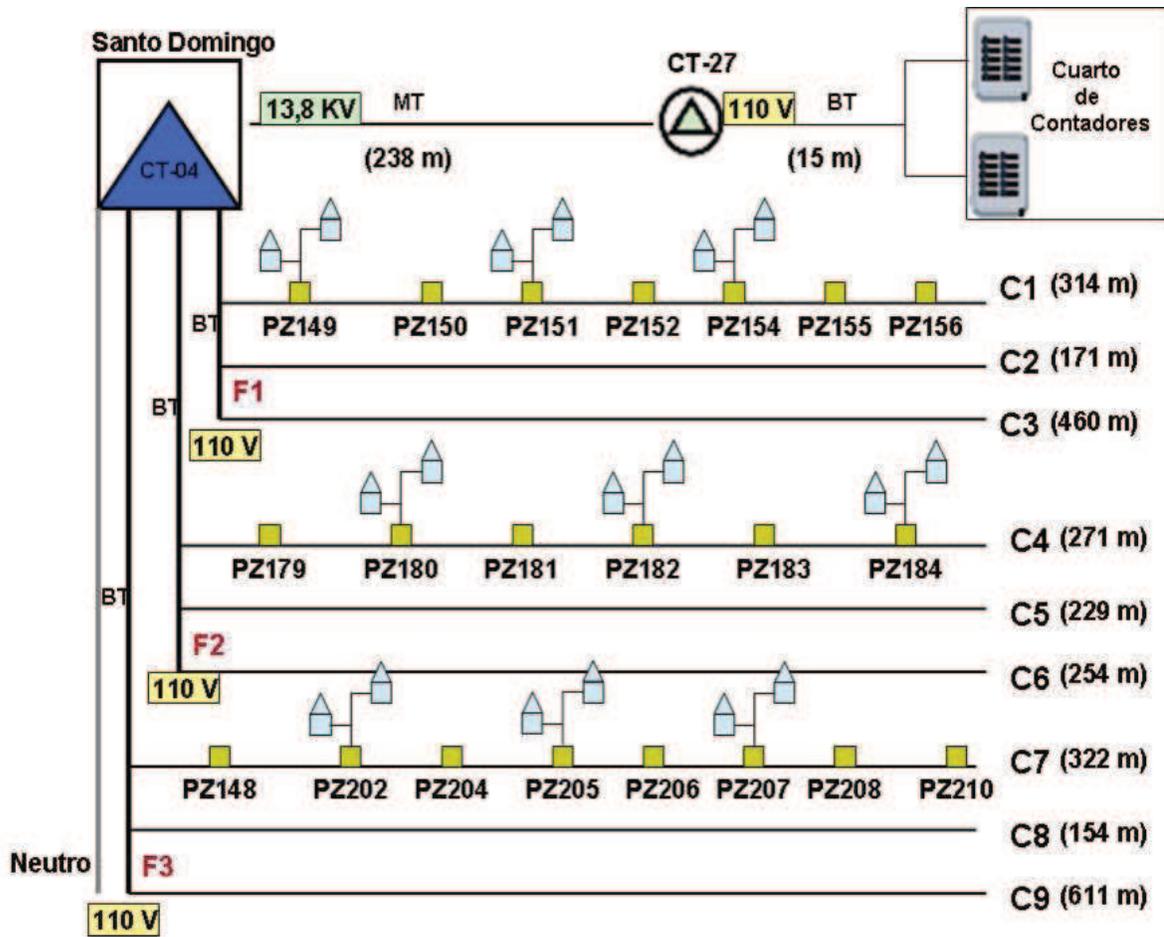


Figura 4.11: Diagrama de la Red de BT de la CT-04

CAMARA DE TRANSFORMACION SANTO DOMINGO CT-04																	
CIRCUITO 1 (314 m)			CIRCUITO 2 (171 m)			CIRCUITO 3 (460 m)			CIRCUITO 4 (271 m)			CIRCUITO 5 (229 m)			CIRCUITO 6 (254 m)		
Pozos	Nº	Dist.	Pozos	Nº	Dist.	Pozos	Nº	Dist.	Pozos	Nº	Dist.	Pozos	Nº	Dist.	Pozos	Nº	Dist.
Pz141	0	-	Pz141	0	-	Pz141	0	-	Pz141	0	-	Pz141	0	-	Pz141	0	-
Pz142	0	-	Pz142	2	31 m	Pz142	0	-	Pz142	0	-	Pz122	0	-	Pz191	0	-
Pz143	0	-	Pz158	2	60 m	Pz158	0	-	Pz143	0	-	Pz143	2	48 m	Pz192	0	-
Pz144	0	-	Pz159	2	94 m	Pz159	0	-	Pz178	0	-	Pz144	4	83 m	Pz193	0	-
Pz145	0	-	Pz160	1	99 m	Pz165	0	-	Pz179	2	101 m	Pz145	2	113 m	Pz194	0	-
Pz146	0	-	Pz161	4	121 m	Pz166	5	127 m	Pz180	9	140 m	Pz146	0	-	Pz195	0	-
Pz147	0	-	Pz162	1	149 m	Pz167	3	154 m	Pz181	4	173 m	Pz147	4	118 m	Pz196	5	150 m
Pz148	0	-	Pz163	0	-	Pz168	0	-	Pz182	1	213 m	Pz185	4	152 m	Pz197	1	181 m
Pz149	5	124 m	Pz164	11	171 m	Pz169	0	-	Pz183	4	247 m	Pz186	2	155 m	Pz198	0	-
Pz150	5	156 m	Total	23		Pz170	0	-	Pz184	3	271 m	Pz187	2	177 m	Pz199	7	192 m
Pz151	1	176 m				Pz171	16	252 m	Total	23		Pz188	4	190 m	Pz200	13	226 m
Pz152	3	201 m				Pz172	0	-				Pz189	7	204 m	Pz201	13	254 m
Pz153	0	-				Pz173	0	-				Pz190	9	229 m	Total	39	
Pz154	4	227 m				Pz174	0	-				Total	40				
Pz155	4	252 m				Pz175	2	135 m									
Pz156	3	286 m				Pz176	5	159 m									
Pz157	6	314 m				Pz177	0	-									
Total	31					Total	31										

Tabla 4.10: Distribución de Circuitos, Pozos, Distancias y Usuarios de la CT-04 Sto. Domingo

CAMARA DE TRANSFORMACION SANTO DOMINGO CT-04								
CIRCUITO 7 (322 m)			CIRCUITO 8 (154 m)			CIRCUITO 9 (611m)		
Pozos	Nº	Dist.	Pozos	Nº	Dist.	Pozos	Nº	Dist.
Pz141	0	-	Pz141	0	-	Pz141	0	-
Pz142	0	-	Pz191	0	-	Pz191	0	-
Pz143	0	-	Pz211	1	16 m	Pz192	0	-
Pz144	0	-	Pz212	2	46 m	Pz217	5	65 m
Pz145	0	-	Pz213	6	72 m	Pz218	0	-
Pz146	0	-	Pz214	4	76 m	Pz219	0	-
Pz147	0	-	Pz215	7	109 m	Pz220	4	118 m
Pz148	1	125 m	Pz216	7	154 m	Pz221	2	135 m
Pz202	2	159 m	Total	27		Pz222	5	163 m
Pz203	0	-				Pz223	5	164 m
Pz204	4	178 m				Pz224	3	202 m
Pz205	11	209 m				Pz225	4	235 m
Pz206	18	239 m				Pz226	2	251 m
Pz207	2	267 m				Pz227	0	-
Pz208	3	271 m				Pz228	9	95 m
Pz209	21	297 m				Pz229	2	122 m
Pz210	5	322 m				Pz230	12	142 m
Pz18	6					Pz231	0	-
Total	73					Pz232	5	180 m
						Total	58	

Tabla 4.10: Distribución de Circuitos, Pozos, Distancias y Usuarios de la CT-04 Sto. Domingo

4.3 ESTUDIO DE LA ZONA PILOTO CONSIDERADA PARA EL DISEÑO DE LA RED PLC

Con la realización de un sondeo en el sector del Centro de la ciudad de Latacunga y observando los principales lugares que proveen servicios de Internet (Total 27 Cyber ubicados en cuatro cuadras entre las calles Quito y Félix Valencia) se determinaron varios factores que van a influir en el diseño de la Red PLC. La energía que abastece a estos sectores proviene de las cámaras de transformación CT-02 Victoria Vásquez Cuví y CT-04 Santo Domingo. Se pudo observar que hay una gran cantidad de usuarios que proviene de colegios, universidades, bibliotecas, instituciones bancarias, SRI, el municipio. Del sondeo a los 27 locales de Internet se obtuvo la siguiente información:

4.3.1 OBTENER UN CONOCIMIENTO DEL SECTOR

El sector que es suministrado por las CT-02 y CT-04 es residencial-comercial ya que se encuentran (12) Escuelas, (5) Colegios, (3) Universidades, (10) Entidades Bancarias, (4) Bibliotecas, Servicio de Rentas Interna SRI, el municipio de la Ciudad de Latacunga, La Gobernación, y un gran número de locales comerciales (electrodomésticos, teléfonos comercio en general).

4.3.2 CONOCER LA COMPETENCIA

En el sector del Centro Histórico la empresa que provee servicio de Internet es ANDINATEL con la tecnología ADSL y Dial Up. El servicio de Internet está monopolizado por este proveedor.

4.3.3 CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS OFRECIDAS

El rango de velocidades ofrecidas por ANDINATEL es de:

512/256 Kbps y 1024/512 Kbps.

4.3.4 COSTOS QUE TIENE EL SERVICIO DE INTERNET

El rango de costo que los propietarios de los Cyber pagan a ANDINATEL está entre \$85, \$100, \$134, \$180, \$215, sin incluir el servicio telefónico en algunos de ellos.

Se les comentó a los usuarios que respondieron al sondeo sobre la tecnología PLC dándoles breves detalles de cómo funciona. Algunos se mostraron entusiastas ante la idea de que PLC no requiere un cableado adicional, solamente el eléctrico, pero muchos referían que aceptarían este servicio si la velocidad que proporciona es mayor a la que tienen actualmente contratada y con pagos menores. En resumen, si supera su actual servicio, los montos estimados que podrían pagar están entre \$20 a \$100.

Como se mencionó, en el sector de la zona a implementar el diseño se observó un alto número de sitios que ofrecen servicios de Internet, en total 27 Cyber, lo que en parte muestra que no es común tener una cuenta propia de Internet en usuarios residenciales. Por lo mismo, el diseño de este proyecto se centrará en un sector que actualmente tiene gran demanda, pero que no llega a todos los usuarios ya sea por su alto costo u otros factores. Pero es el inicio para desarrollar nuevos diseños de red que lleguen a sectores donde actualmente hay servicios de Internet pero por su costo no es accesible; además que llegue a lugares alejados que actualmente no cuentan con ningún servicio de transmisión de datos, para así aumentar el mercado al que puede llegar ELEPCO S.A., por medio de la tecnología PLC.

En resumen, se puede mencionar que la zona seleccionada es comercial residencial, donde se encuentra ubicada gran cantidad de unidades educativas. Esto es un punto importante ya que tiene un alto número de potenciales clientes, que requerirán el servicio como una necesidad a corto plazo que debe ser satisfecha. Por otro lado, que el proyecto se implemente en el sistema subterráneo de la ciudad trae grandes ventajas para el desarrollo del diseño ya sea en aspectos de ubicación de los equipos como en consideraciones de mantenimiento y seguridad de los mismos, ya que se considera su instalación en lugares seguros, protegidos de los factores climáticos, y de personal no autorizado que puede acceder a ellos y manipularlos en forma errónea.

4.4 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

Para el diseño son importantes los principios básicos siguientes.

4.4.1 RED ELÉCTRICA

- Diferenciar los equipos involucrados en la Red de acceso y la Red domiciliaria. Esto se hará valorando los equipos de acuerdo a los requerimientos de ELEPCO S.A. que son llevar Internet hasta el usuario final a través de sus redes eléctricas de BT como red de acceso.
- Discriminar el tipo de acoplamiento para cada tramo de las redes eléctricas. Acoplamiento capacitivo en paralelo a la red eléctrica, para instalaciones de interiores, y acoplamiento inductivo para la red de acceso.
- Se debe considerar las condiciones de la infraestructura de las Redes subterráneas de ELEPCO S.A. aunque estas se pueden considerar como nuevas. La empresa realiza un mantenimiento cada dos años a las líneas aéreas y subterráneas de la empresa para mantener su óptimo estado. En cuanto a empalmes hasta llegar al contador de energía son pocos y los que existen están realizados con normas que registran su correcto funcionamiento.
- Inconvenientes en las redes eléctricas internas del domicilio, ya que a menudo son manipuladas por persona que no tienen conocimiento en realizar buenas conexiones eléctricas.
- Considerar las distancias requeridas tanto como para hogares unifamiliares como para edificios. En redes domiciliarias no se presentan grandes distancias (< 100 m), todas las estancias del hogar son servidas con la misma fase de 110/120 V. AC, esto garantiza la continuidad de la comunicación entre los nodos. Además, teniendo en consideración las interferencias EMI/ EMC debido a que la probabilidad de perjudicar a otros vecinos es baja debido a la distancia entre hogares.

- En bloques de viviendas o edificios los problemas que se presentan son la distancia a cubrir (> a 100 metros), seguridad en las comunicaciones (al ser un medio compartido a nivel físico exige la introducción de separación funcional de LANs con técnicas de manejo de etiquetas (VLAN IEEE 802.1q). Continuidad del medio de comunicación en el caso de que no todas las viviendas del bloque sean servidas con la misma fase (exigiría redes PLC para cada fase) y de posibles interferencias EMI/EMC si las distancias entre vecinos son muy cortas.
- Considerar tramos de la red eléctrica en los que no puede realizarse el diseño de la red PLC debido a que las instalaciones eléctricas están afectadas por interferencias, lo cual hace que no sea posible la transmisión de datos a través del cableado eléctrico.
- Se debe considerar que el rendimiento de la red PLC domiciliaria depende de la arquitectura de la red eléctrica.
- Problemas de interoperabilidad que se presentan si se usan equipos de diferentes fabricantes.

4.4.2 RED DE DATOS

- ELEPCO S.A. no posee una red de transmisión de datos que interconecte las CT. En el diseño se considerará una conexión de datos a través de Fibra Óptica. La red de FO se instalará en los ductos de MT que interconectan las CT. Se considera el enlace de fibra óptica por las buenas características que este presenta contra interferencia al medio, alcance y altas velocidades.
- Considerar que el número de usuarios a los que brindan servicio las CT, no todos optarían por el servicio de Internet a través de la red eléctrica, ya sea por que tiene contratado ese recurso en otra empresa del sector o porque no ven necesario realizar una inversión en la contratación de Internet.

- Considerar que el flujo de información que puede atravesar la red dependerá de las aplicaciones a implementarse, por ejemplo: Sistemas de automatización y monitoreo de las CT no requieren grandes capacidades de transmisión ya que están en el rango de los (Bps). Lo que generaría más demanda serían las aplicaciones de usuario con respecto a Banda Ancha ya que se requiere servicio en el orden de los (Mbps). También se debe considerar que la red eléctrica, al ser un medio compartido, la capacidad del canal también se comparte entre los usuarios.

Aplicaciones	Trafico (bps)
Sistemas de Automatización y Monitoreo	17600
Aplicaciones Multimedia	$(130000*3)=390000$
Voz IP	16000

Tabla 4.11: Valores del Flujo de información que viajará por la Red PLC

- En la zona de diseño se debe considerar un sistema de detección de perturbaciones o interferencias que se originan o introducen en la red por los equipos conectados, estos equipos adicionales como filtros capacitivos o inductivos reducen las frecuencias de interferencia para que no se vea afectada la red de datos.
- Limitar la potencia necesaria para transmitir los datos, garantizando suficiente ancho de banda y limitando los efectos del ruido y la distorsión en la línea. Esto se logra al combinar una señal con las mejores prestaciones posibles y un acoplamiento óptimo de la red PLC a la red de suministro eléctrico.

4.4.2.1 Velocidad de transmisión

- Velocidad en la Red de distribución hasta 100 Mbps
- Velocidad en la Red de Acceso 45 Mbps
- Velocidad de usuario para acceso a Internet: 256 kbps a 2 Mbps
- Velocidad de usuario para entornos LAN: 2 Mbps

4.4.2.2 Aplicaciones

La red de comunicaciones de ELEPCO S.A. empleando la tecnología PLC ofrecería los servicios de:

- Acceso a Internet a velocidades de banda ancha
- Telefonía IP
- Transmisión simultánea de voz y datos
- Conexión permanente
- Creación de entornos tipo LAN en el hogar

En la *Tabla 4.12* se hacen más consideraciones respecto al diseño de la Red PLC en el sistema eléctrico subterráneo de BT de ELEPCO S.A.

CONSIDERACIONES	
ASPECTOS TÉCNICOS	
Ubicación	Se requiere una adecuada ubicación de los equipos de comunicación para permitir una mayor cobertura en forma práctica, rápida y rentable.
Servicios adicionales	Incluir servicios adicionales como Voz, TV, VPN que sean soportados a través de la Red PLC de acceso, actualmente hay equipos PLC redes wireless, esto generaría mayor interés de los usuarios.
Alcance	La señal debe tener alta recepción, determinando cual es la máxima distancia propuesta por los fabricantes de los equipos.
Seguridad	Considerar la seguridad en la red como primordial ya que al ser un medio compartido esta expuesta a intromisiones, que afectan la confidencialidad de los datos de los clientes e incrementar las tentativas de fraudes por acceso indebido a servicios no autorizados. Los equipos involucrados en Tx de datos se conectan a líneas de energía eléctrica que manejan voltajes considerables, esto requiere que la manipulación de los mismos se realice por personal calificado, además se deben cumplir con las normas de seguridad eléctrica generales y las específicas de los equipos.
INTERFERENCIAS	Las redes PLC pueden producir radiaciones secundarias no deseadas o ser interferidos por aparatos cercanos. Se debe de establecer límites para evitar que se produzcan interferencias con otros sistemas de comunicaciones.
ASPECTOS FINANCIEROS	
Terminales de red	Se debe considerar el alcance del diseño y de los equipos ya que se puede requerir de equipos adicionales para evitar que se afecte la calidad de la señal. Esto incrementa de manera significativo los costos de implementación.

CONSIDERACIONES	
Costos	El mercado a ingresar y los precios de los equipos para el diseño deben ofrecer una solución que se adapte al sistema a diseñar, ya que se requiere calidad y buenos precios de los equipos y de los servicios a ofertar.
Número de usuarios	Tener una rentabilidad del proyecto depende del número de dispositivos que se instalen por usuario, porque se optimiza la red si se llega a un gran número de usuarios con pocos equipos.
SOSTENIBILIDAD	
Estándares	Actualmente no existe un estándar definido a nivel internacional de las redes con tecnología PLC, pero es de alta importancia que los equipos operen según las recomendaciones internacionales ya vigentes.
Interoperabilidad	La interoperabilidad entre los equipos se obtiene de manera natural cuando se trata con elementos del mismo fabricante. Sin embargo, en la actualidad la mayoría de los productos ofrecidos por los fabricantes no son compatibles.
Coexistencia	Se provee soluciones aplicables a redes de acceso y redes locales. Se debe considerar la posibilidad de que se empleen equipos de diferentes fabricantes en cada uno de los segmentos, debiendo operar de manera independiente pero garantizando su coexistencia.
Escalabilidad	Es la facilidad de un sistema para expandir o disminuir su capacidad. Para el despliegue de una red PLC el principal problema consiste en elegir la ubicación del equipo de cabecera donde se efectúa la conversión de la red de transporte de telecomunicaciones convencional a la tecnología PLC, el costo del punto de conversión debe ser repartido entre el mayor número de usuarios posible.
Continuidad del servicio	La Tx en el sistema PLC está soportada por la red eléctrica, las averías que puedan ocurrir en la misma darían lugar a interrupciones del servicio, es recomendable disponer de vías alternativas para dar continuidad al servicio, en caso de interrupciones de los tramos principales de la red de distribución.

Tabla 4.12: Consideraciones principales para el Diseño de la Red PLC

4.5 EQUIPOS REQUERIDOS EN EL DISEÑO

4.5.1 EQUIPOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN O BACKBONE

ELEPCO S.A. recibiría la señal de datos de un ISP externo para enviarla a través de un enlace de Fibra Óptica a los puntos de distribución en la red de MT. El Backbone de Fibra Óptica conectará las CT al puerto de un Switch Óptico ubicado en el CCR, esta señal tendrá velocidades de 100 Mbps. En cada CT se ubicaría un convertidor de medio que haría el traspaso de señales

ópticas a señales Ethernet de 100 Mbps, luego de este paso se inyectaría la señal al equipo de cabecera o Unidad de Acondicionamiento a través de un puerto Fast-Ethernet, en la UA la señal será procesada e inyectada a la red de baja tensión a través de un acoplador de señales. La señal de datos será introducida a la red de baja tensión en una frecuencia llamada Outdoor, con un ancho de banda que va desde los 1.6 Mhz a 18 Mhz. La red será dividida usando diferente VLANs en la parte del usuario (todo el tráfico generado por el cliente) y la parte de administración (control remoto del trafico, configuración, sistemas de acceso y monitoreo).

4.5.1.1 Equipos del CCR ubicados en la Subestación El Calvario

En la subestación el Calvario se ubicarán equipos para el control, monitoreo y mantenimiento remoto de la Red PLC, las Cámaras de Transformación y el enlace de Backbone. Esta dependencia interactuará con los departamentos necesarios para determinar funcionalidad técnica, objetivos financieros, producción de recursos entre otros. Esto ayudará a mejorar los servicios prestados por la empresa e incursionar en un nuevo mercado como son las comunicaciones. Se dispondrá de una red LAN Ethernet mediante un switch óptico de capa 2 administrable, el mismo que permitirá tener acceso a la red PLC de la empresa. Este switch debe manejar el Protocolo Spanning Tree³⁸ conjuntamente con un servidor y se interconectará con las cámaras por medio de la interfaz de FO.

Para una administración futura de la red eléctrica se ubicara un switch en cada cámara de transformación que se enlazará con el CCR de ELEPCO S.A. Sobre este dispositivo se implementará una red LAN que interconectará los elementos activos que administraran las Cámaras de Transformación.

Equipos para implementar la red de FO

- Switch óptico de 24 puertos
- Router
- Switch Ethernet o Fast Ethernet de 12 puertos

³⁸ *Protocolo Spanning Tree* : STP protocolo de red de nivel 2 de la capa OSI, gestiona la presencia de bucles en topologías de red debido a la existencia de enlaces redundantes (necesarios en muchos casos para garantizar la disponibilidad de las conexiones). El protocolo permite a los dispositivos de interconexión activar o desactivar automáticamente los enlaces de conexión, de forma que se garantice que la topología está libre de bucles. STP es transparente a las estaciones de usuario.

- Distribuidor óptico o Patch Panel de FO de 24 puertos

4.5.2 EQUIPOS DE LA RED PLC

4.5.2.1 Unidad de Acondicionamiento (UA)

- Este equipo se ubicaría en cada CT. Su función es inyectar la señal que proviene de la red de distribución de FO a la red de acceso. En la dirección de bajada, es decir hacia los usuarios, se transmitirán las señales de datos desde la UA a las Unidades Repetidores o a las Unidades de Usuario UU en una configuración “duplex” total de punto a multipunto. En el diseño la UA operará entre la red de Acceso PLC y la red de distribución de FO.

4.5.2.2 Unidades de acoplamiento (UDA)

Este equipo será el encargado de inyectar y adaptar la señal de datos a las líneas eléctricas. En el diseño se emplearían:

- *Acople Capacitivo*: para la red de BT, al ingresar a los hogares.
- *Acople Inductivo*: Se utilizará este tipo de acoplamiento en la red que va desde la UA hasta los repetidores. Este tipo de acople presenta ligeras pérdidas, por lo que no requiere conexión física con la red eléctrica, lo que lo hace más seguro de instalar que el acople capacitivo.

En la parte de baja tensión la señal de datos debe acoplarse a las tres fases del transformador para que llegue a todos los usuarios, ya que estos pueden estar conectados a cualquiera de ellas logrando balancear el sistema PLC.

4.5.2.3 Unidad repetidora (UR)

Este equipo recobrará la señal PLC proveniente de la red de acceso, regenerándola para hacerla llegar a lugares donde la señal se ha deteriorado por la distancia. La señal viene desde la UA a una frecuencia de 1.6 Mhz a 18 Mhz, el repetidor toma esta señal, y eleva la señal a la frecuencia de 18 Mhz a 30 Mhz. En los equipos se establece una separación de frecuencias entre Red de Acceso y Red Domiciliaria. Las UR se instalarán en los cuartos de medidores de cada edificio de la zona del diseño o en lugares intermedios entre la CT y el hogar del usuario.

4.5.2.4 Unidades de Usuario (UU)

Este equipo se ubicará en el hogar del usuario donde se implante la Red PLC. Internamente el equipo de usuario permite separar la señal de datos de la señal eléctrica inyectando la señal de alta frecuencia en la red eléctrica.

El proceso de instalación de las Unidades de Usuario es fácil, simplemente se conecta el equipo a la toma eléctrica sin cable adicional, el computador necesita un interfaz de red Ethernet o USB y la usual configuración para acceder a servicios de Internet. El teléfono no requiere instalación especial.

4.6 DISTANCIAS INVOLUCRADAS EN EL DISEÑO DE LA RED PLC

Para el diseño es fundamental conocer las distancias involucradas en los tramos de MT y BT hasta el usuario final, ya que de esto depende el número de equipos a instalarse en la red. Se toma como muestra la CT-04 de Sto. Domingo por ser una de las más céntricas del sector y además posee un alto número de circuitos, dando servicio a un mayor número de usuarios y a mayores distancias. Los equipos deben ofrecer cobertura suficiente para abarcar los tramos más distantes de la red de baja tensión “Outdoor” e “Indoor”.

4.6.1 DISTANCIAS CT-04 de SANTO DOMINGO

El segmento mas distante de la red de Acceso de BT esta en el Circuito N° 9 y es de 611 m. En este circuito se ubican 19 Pozos subterráneos, cada uno suministra energía eléctrica a un número diferente de usuarios como se indica en la *Tabla 4.13*:

CT-04 Santo Domingo Circuito 9 (611m)		
Pozos	N°	Dist.
Pz141	0	-
Pz191	0	-
Pz192	0	-
Pz217	5	65 m
Pz218	0	-
Pz219	0	-
Pz220	4	118 m
Pz221	2	135 m
Pz222	5	163 m
Pz223	5	164 m
Pz224	3	202 m
Pz225	4	235 m
Pz226	2	251 m
Pz227	0	-
Pz228	9	95 m
Pz229	2	122 m
Pz230	12	142 m
Pz231	0	-
Pz232	5	180 m
Total	58	

Tabla 4.13: Distancia desde la CT-04 a los Pozos de distribución en el Circuito N° 9

Para la red domiciliaria se debe considerar si las construcciones son viviendas o edificios. Las edificaciones a las que suministra energía la CT-04 son en su mayoría construcciones de 2 Plantas (SRI, Bibliotecas, Bancos) y el mayor edificio es el C.C. San Pedro, una edificación de cuatro pisos. En base a esto se estimará que la acometida a un edificio es de 40 metros y para una vivienda es de 15 metros en redes subterráneas. Una acometida de 55 metros abarcaría en su mayoría a cualquier toma de energía eléctrica de los usuarios en el área de cobertura de la CT-04 Sto. Domingo. La suma de estos dos segmentos es de 666 m para la red de acceso de BT.

En la red de MT se debe cubrir una distancia máxima de 3117 m donde se ubica la CT-03, que es la más alejada de la red de MT hasta el Centro Control de la Red CCR.

4.7 DESPLIEGUE DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN O BACKBONE

Diferentes opciones pueden ser usadas para enlazar las CT de media/baja tensión a la WAN -*Wide Area Network*- (enlaces inalámbricos, satelitales, de cobre o bien de fibra óptica). El despliegue de una red de transmisión de telecomunicaciones es primordial en el diseño ya que dependiendo de la capacidad de esta se estimará los valores de capacidad a ofrecer a los usuarios. Esta red de distribución interconectará redes internas y externas de energía eléctrica con redes de telecomunicaciones. Hay varias opciones para realizar el diseño de la red de distribución. En la *Tabla 4.14* se especifican las posibles combinaciones de medios:

Tipo de RED	Combinación de Tecnologías	Velocidad Tx
MANs	DSL - PLC	-
	Coaxial - PLC	-
	PLC - Wifi	-
Backbones	FTTx - PLC	100 Mbps
	LMDS/WIMAX - PLC	-
	PLC - PLC	45 Mbps

Tabla 4.14: Combinación de tecnologías y V_{Tx} en la red de distribución

Una opción para la red de distribución sería el Backbone de PLC, conectando toda la red de MT (13,8 kV) que une a las CT con el equipo adecuado a la Red WAN. La señal de datos sería distribuida por los equipos PLC de MT en todo el anillo hasta las CT; Aquí, por medio de acopladores se introduce la señal a la Red de BT; integrando de esta forma la red de MT y BT.

Otra opción para realizar el diseño de la Red de Backbone es la combinación de Fibra óptica en el tramo de MT y PLC en la Red MT/BT.

En esta combinación de tecnologías el medio de transmisión en la red de MT es un enlace de Fibra Óptica que interconecta a las CT del Centro de la ciudad con la red WAN. El enlace de FO provee Niveles de penetración altos > 50 %.

Además este enlace las conectará a un Centro de Control de la Red ubicado en la Subestación El Calvario para monitoreo y administración de la Red.

La opción de FO para desarrollar el diseño de la red de distribución se consideró debido a las mejores condiciones que presenta frente a capacidades, velocidades de transmisión, mayores distancias e inmunidad a interferencias eléctricas y electromagnéticas.

El enlace de fibra viajará a través de los ductos de MT subterráneos, los cuales presentan condiciones desfavorables como humedad, líneas de cableado eléctrica con bajo aislamiento etc. La FO permitiría cubrir las distancias requeridas en el diseño e interconectar la última CT que se ubica a una distancia de 3117 m del CCR. Esta combinación de FO en la red MT y tecnología PLC en la red de BT permite mejores velocidades de transmisión y mayor alcance en el diseño. En la red de acceso de BT se considera que a distancias mayores de 150 m se ubicarán equipos repetidores de la señal PLC, en los tramos que superen esta distancia, y así proveer a los usuarios más alejados de una señal PLC con iguales características que los que se encuentran en tramos más cortos.

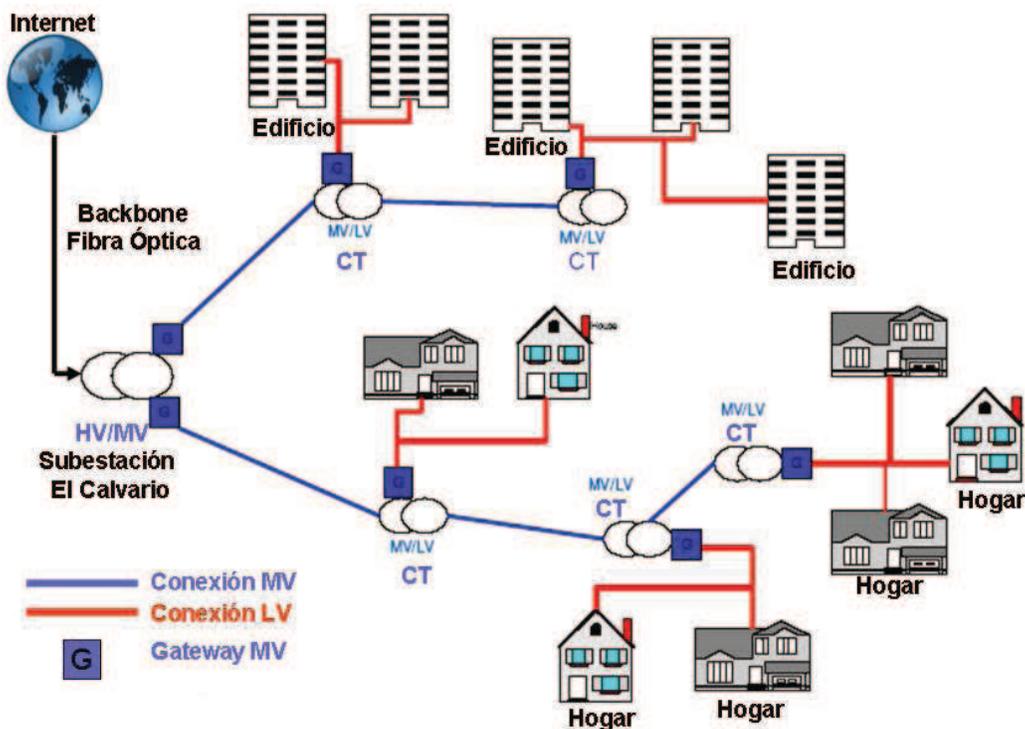


Figura 4.12: Enlace de FO entre las CT de MT/BT

4.8 DISEÑO DE LA RED PLC

El diseño de la red cuenta con los siguientes puntos:

- Conexión a “Backbone” mediante fibra óptica.
- Equipo PLC Unidad de Acoplamiento, con conexión a “backbone” de red mediante convertidor “FO/Fast Ethernet”.
- Unidades Repetidoras PLC de BT
- Unidades de Usuario o MODEM de Usuarios instalados en diferentes puntos de la red domiciliaria ya sea para conectar Teléfonos IP o PCs.
- La instalación de las Unidades de Acoplamiento se harán entre fase y neutro. En los enlaces de mayor distancia, la señal PLC debe acoplarse entre 2 Fases en lugar de una Fase y neutro ya que el uso del neutro implica niveles mayores de ruido, debido a que este cable es común para todos los circuitos de baja tensión y representa el camino de retorno para las tres fases.
- Realizar diagramas esquemáticos de la Red de distribución, la Red de Acceso y la Red domiciliaria, considerando el número de equipos que se requieren para abarcar todos los sectores de la zona de estudio.

4.8.1 MÓDULOS JERÁRQUICOS DEL DISEÑO

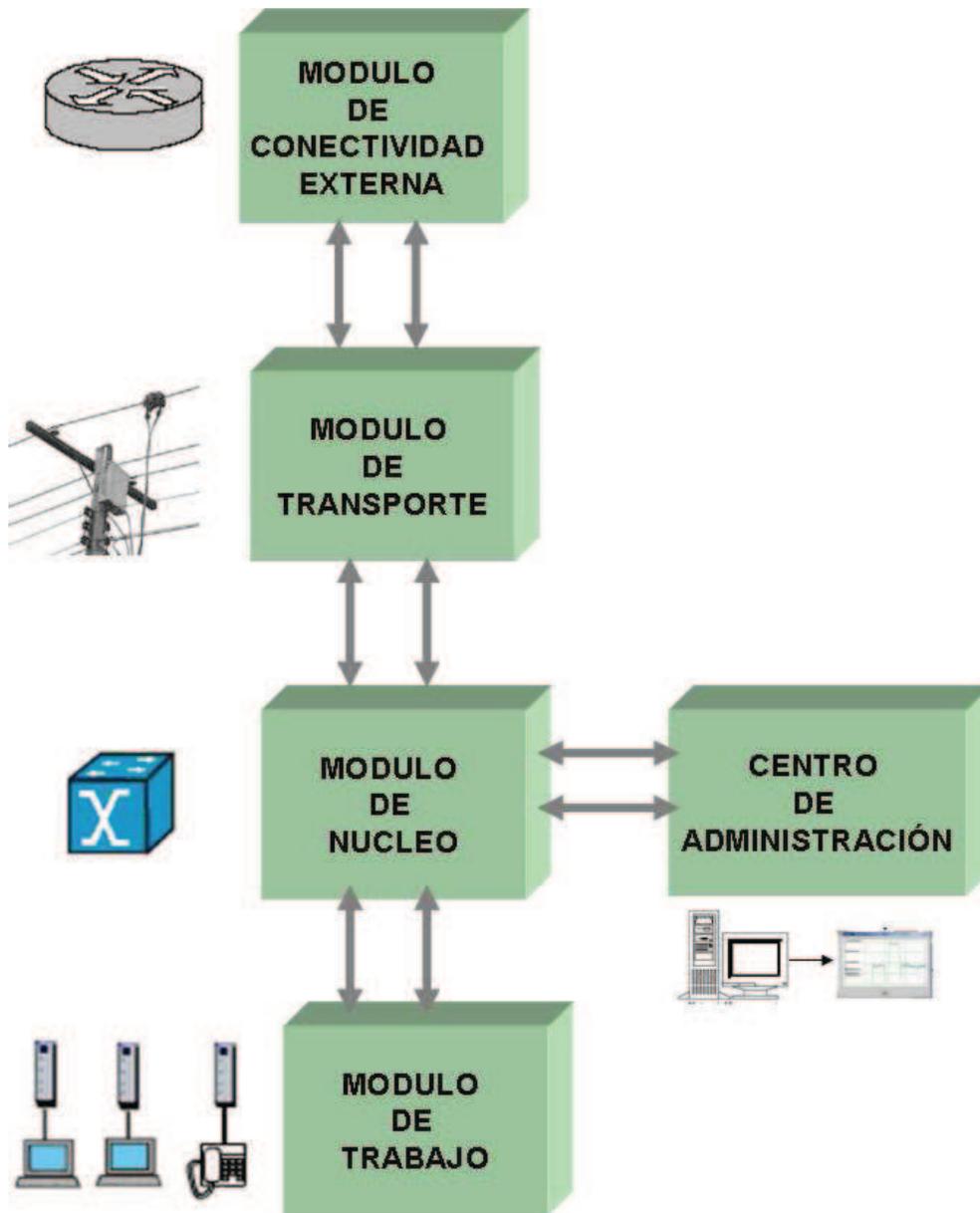


Figura 4.13: Módulos jerárquicos del diseño de la Red PLC^[39]

- **Módulo de conectividad externa:** Brinda la conexión a los servicios de Internet brindado por un ISP. Una red FO proporciona la interfaz Fast-Ethernet que ingresa a la red de transporte PLC.

^[39] Diseño de un sistema de Comunicaciones con PLC Autor: Mori Muñoz Luis

- **Módulo de transporte:** Constituido por la red eléctrica ya sea de MT o BT, que a través de la tecnología PLC permite transportar los datos. Se encuentra compuesta por equipos PLC y circuitos de acoplamiento para acondicionar la red eléctrica.
- **Módulo Núcleo:** Distribuye los datos de forma organizada a los grupos de trabajo y de acuerdo a los requerimientos. Este módulo esta compuesto por un conmutador quien posibilitará versatilidad y escalabilidad a la Red PLC.
- **Módulo Centro de Administración:** Debido a que las redes pueden ser utilizadas para diferentes propósitos es necesario tener seguridad en los sistemas, por lo que se debe implementar servicios para administrar y dar seguridad a la red PLC.
- **Módulo de Trabajo:** está compuesto por UU, computadoras, impresoras, medios de almacenamiento y elementos multimedia que permiten facilidad al usuario para acceder a los datos que viajan por la red eléctrica.

4.8.2 DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA (MT)

Las Cámaras de Transformación Subterráneas estarán interconectadas por un enlace de FO (Red de distribución que puede ser propia o contratada) y enlazadas hacia el Centro de Control de la Red (CCR). Desde aquí se realizará la supervisión de los servicios prestados por la empresa como: las mediciones remotas en las CT, lectura de los medidores eléctricos de los usuarios, monitoreo de la red de comunicaciones etc.

4.8.2.1 Backbone de Fibra óptica

En la red de MT subterránea existen ductos de reserva que permitirán realizar la instalación de la FO. A pesar que el medio en el que va a ser instalada es muy hostil debido a los conductores cercanos, que la exponen a interferencias electromagnéticas. Entre las características que posee están: alto nivel de aislamiento, recubrimiento, auto-soportada, completamente dieléctrica. Esto impide que sea afectada por interferencias externas permitiendo así alcances óptimos en la red de comunicaciones.

El cable de fibra óptica será de tipo monomodo con tecnología Fast-Ethernet, que permite una distancia máxima de 5 km en una configuración punto a punto. Esta elección es la correcta ya que las distancias máximas entre el CCR ubicado en la Subestación El Calvario hasta las Cámaras de Transmisión más alejadas son: CT-3 (3117 m), CT-2 (2772 m).

4.8.2.2 Longitud y número de pares de FO por enlace

En la *Figura 4.14* se muestra cual sería el número de pares de FO necesario para interconectar las CT a nivel de la red de MT.

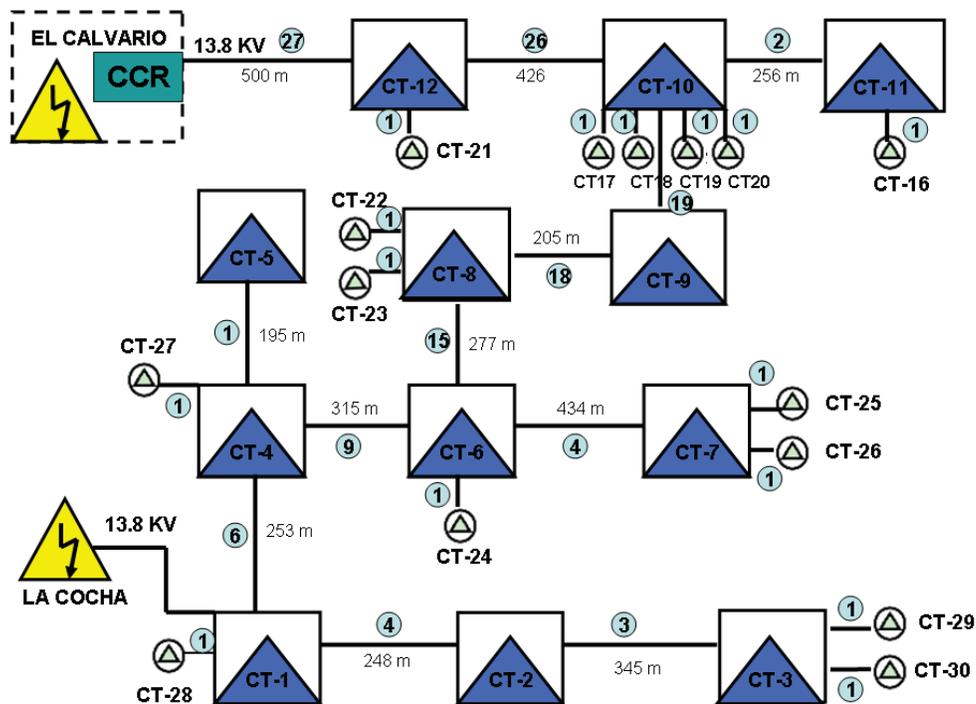


Figura 4.14: Números de pares de FO utilizados

En la *Figura 4.15* se muestra el número de pares de FO utilizados por cada enlace en una configuración punto a punto. Para determinar el número de pares de FO se considerará un porcentaje de reserva para mantenimiento. La red a diseñarse se encuentra en un sector comercial y financiero por lo que se considera un posible crecimiento de la población que demande servicios de transmisión de datos. El porcentaje a considerarse es del 50 % de pares de reserva, dependiendo además del número de pares por cable que ofrece el fabricante, así como también de la ubicación geográfica de la cámara.

Puesto que los cables de FO disponibles en el mercado son de 60, 30, 24, 12 y 6 pares, se tomará entonces un cable de 60 pares que permitirá interconexiones para crecimientos futuros.

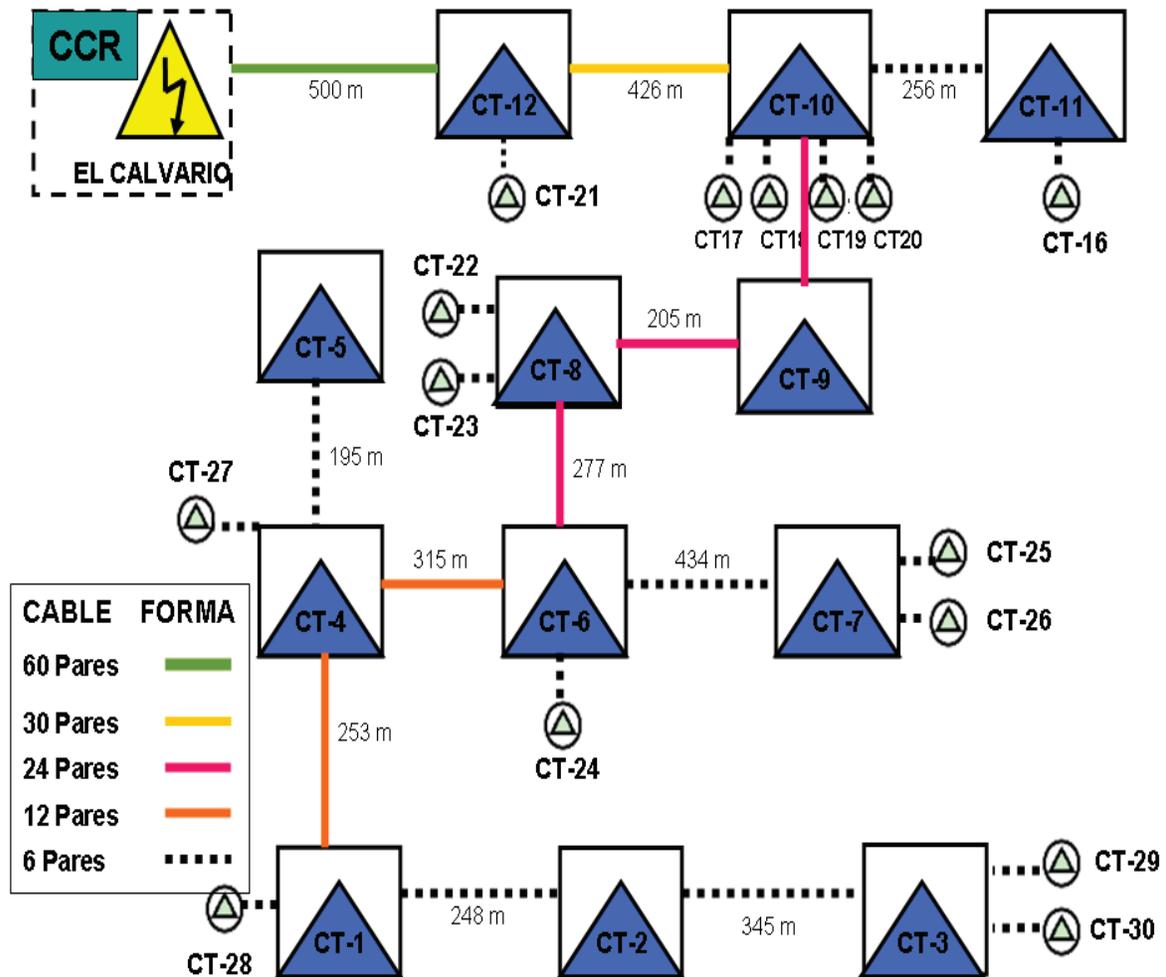


Figura 4.15: Pares de FO que harían la Interconexión de las CT en la red de MT

De acuerdo a la *Figura 4.15*, se puede ilustrar la forma como se interconectan las cámaras de transformación según el número de pares de FO requerido.

- **Cable de 60 pares** enlaza los tramos:
 - 1.- El Centro de Control de la Red CCR con CT-12, cuya longitud es de 500 m.
- **Cable de 30 pares** enlaza los tramos:
 - 1.- Cámara CT-12 hasta CT-10, cuya longitud es de 426 metros.

- **Cable de 24 pares** enlaza los tramos:
 - 1.- Cámara CT-10 hasta CT-09, cuya longitud es de 292 metros.
 - 2.- Cámara CT-09 hasta CT-08, cuya longitud es de 205 metros.
 - 3.- Cámara CT-08 hasta CT-06, cuya longitud es de 277 metros.
- **Cable de 12 pares** enlaza los tramos:
 - 1.- Cámara CT-06 hasta CT-04, cuya longitud es de 315 metros.
 - 2.- Cámaras CT-04 hasta la CT-01, con una longitud de 253 metros.
- **Cable de 6 pares** enlaza los tramos:

Tramo	Nodo A	Nodo B	Distancia (m)
2	CT-12	CT-21	186
4	CT-10	CT-11	256
5	CT-11	CT-16	188
6	CT-10	CT-17	54
7	CT-10	CT-18	293
8	CT-10	CT-19	235
9	CT-10	CT-20	92
13	CT-08	CT-22	126
14	CT-08	CT-23	145
16	CT-06	CT-07	434
17	CT-06	CT-24	292
18	CT-04	CT-05	195
20	CT-04	CT-27	238
21	CT-01	CT-02	248
22	CT-01	CT-28	86
23	CT-07	CT-25	167
24	CT-07	CT-26	235
25	CT-02	CT-03	345
26	CT-03	CT-29	98
27	CT-03	CT-30	83

Tabla 4.15: Enlaces de FO de 6 pares

Se considera un 15% adicional en la longitud determinada del cable, este porcentaje será utilizado en curvaturas, empalmes, ingresos y salidas de las cámaras.

# PARES	DISTANCIA (m)	15%	TOTAL (m)
60	500	75	575
30	426	64	490
24	774	116	890
12	568	85	653
6	3996	599	4595
	Total		7203

Tabla 4.16: Cuadro de longitudes de la FO

Debido a que las distancias consideradas en cada uno de los enlaces no son influyentes en los parámetros de atenuación, como de dispersión, no es necesario el uso de regeneradores intermedios en ninguno de los enlaces.

4.8.2.3 Cálculo de la Potencia Mínima del Transmisor $P_{\min(Tx)}$

La $P_{\min(Tx)}$ se calcula con la siguiente expresión:

$P_{\min(Tx)} = P_{(Rx)} + A_T + A_M$	<i>Ec-4.1</i>
$P_{(Rx)}$ = Potencia óptica del receptor	
A_T = Atenuación Total del sistema	
A_M = Atenuación por margen de degradación del sistema	

Tabla 4.17: Ecuación de la Potencia mínima del transmisor

Potencia (dBm) del Rx: se determina a la V_{Tx} que es de 100 Mbps. Se obtiene de la siguiente figura:

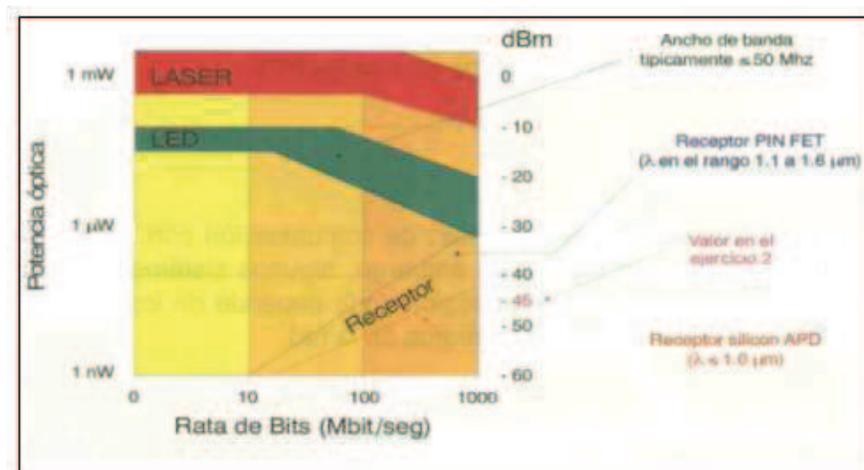


Figura 4.16: Potencia-anchura de banda en el receptor

De esta tabla se obtiene una longitud de onda de $\lambda = 1.1 \mu\text{m}$ a $6 \mu\text{m}$ y una potencia de -30dBm.

1. Atenuación Total del sistema (A)

$A = A_F + A_E + A_C + A_i$ <i>Ec-4.2</i>
A_F : Atenuación de la Fibra óptica
A_E : Atenuación por empalme de FO
A_C : Atenuación por conector
A_i : Atenuación por inserción

Tabla 4.18: Ecuación de la A_T en FO

- Considerando una Fibra monomodo:

Longitud de Onda $\lambda = 1300 \mu\text{m}$

Atenuación: 0.5dB/Km.

d_{maxCT} : Distancia máxima de la CT mas distante

$$A_F = A_{\text{FOmon}} * d_{\text{CT-03}} \quad \text{Ec- 4.3}$$

$$A_F = 0.5\text{dB/Km} * 3.117 \text{ Km} = 1.55 \text{ dB}$$

- Se considera los empalmes realizados en cada CT en el trayecto mas distante, esto es entre el CCR y la CT-03, se determino un total de 20 empalmes, dos por CT y dos terminales, entonces:

$$A_{C/E} = 0.2\text{dB}$$

$$A_E = A_{C/E} * N^{\circ} \text{Empalmes}_T$$

$$A_E = 0.2\text{dB} * 20 = 4 \text{ dB} \quad \text{Ec- 4.4}$$

- Se considera dos conectores uno en la fuente y otro en el receptor, cuya atenuación es de 3.5 dB.

$$A_C = 2 * A_C$$

$$A_C = 2 * 3.5 \text{ dB} = 7 \text{ dB} \quad \text{Ec- 4.5}$$

- A_i del láser es de 3dB

Por lo tanto la Atenuación Total del Sistema es:

$$A = A_F + A_E + A_C + A_i$$

$$A = 1.55 \text{ dB} + 4 \text{ dB} + 7 \text{ dB} + 3\text{dB} = 15.5 \text{ dB}$$

2. Margen de degradación del sistema $A_M=5\text{dB}$

Entonces:

$$P_{\min(\text{Tx})} = P_{(\text{Rx})} + A + A_M$$

$$P_{\min(\text{Tx})} = -30\text{dBm} + 15.5 \text{ dB} + 5\text{dB} = -9.5 \text{ dB}$$

Potencias	
Atenuación Total del Sistema	15.5db
Margen de degradación del sistema	-9,5db

Tabla 4.19: Potencia Mínima de Transmisión

La potencia mínima de transmisión comparada con la que puede proporcionar el láser (3dB), es mucho menor, por lo tanto se concluye que si se puede utilizar láser como fuente de transmisión.

4.8.2.4 Interconexión del BACKBONE o Red de Distribución

En la *Figura 4.17* se muestra la interconexión de la red de FO en cada Cámara de Transformación. Aquí se ubicará un convertidor de FO/Ethernet por cada Cámara para que la señal ingrese a las Unidades Acondicionadoras. Las UA como se describió en la sección de equipos pueden tener diferentes tipos de tarjetas que transportan la señal de datos a la red de BT y MT y una tarjeta Fast Ethernet para su conexión de datos.

La tarjeta Fast Ethernet permite que la señal que viaja por la FO, luego de ser convertida a un medio Ethernet, ingrese al equipo y desde aquí poder distribuirla a diferentes redes eléctricas de BT.

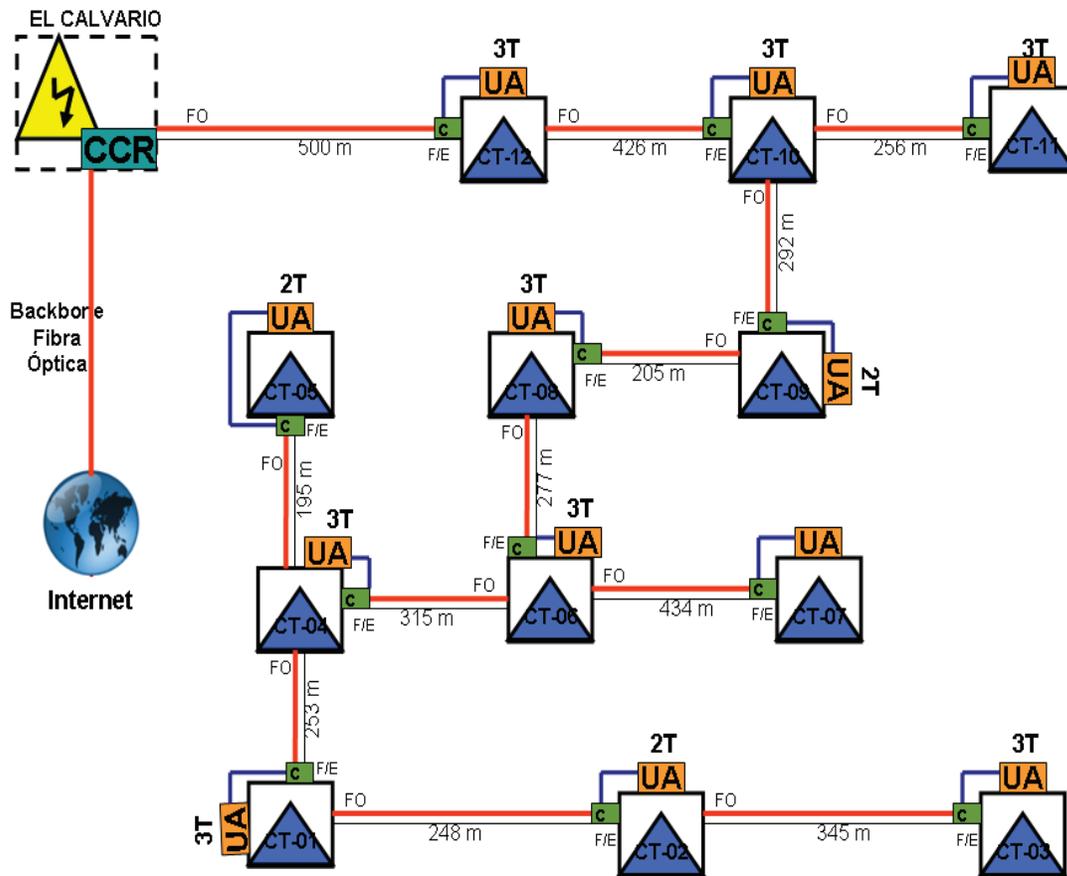


Figura 4.17: Interconexión del Backbone y las CT

Varias de las cámaras de transformación en el Diseño alimenta a Subcámaras, la cuales dan servicio a grandes grupos de usuarios que no están considerados en el número total de usuarios en el diseño.

En la *Tabla 4.20* se muestra el número de equipos estimado para la conexión del Backbone por CT, para cubrir la red de MT de FO.

Cámaras de Transformación	Equipo - Tipo		Cantidad
CT- 01	UA-2T	1 BT	2
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernet		1
CT- 02	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 03	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 04	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 05	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 06	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 07	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 08	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 09	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 10	UA-3T	1 MT	1
		1 BT	
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 11	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
CT- 12	UA-2T	1 BT	1
		1 Fast Ethernet	
	Converter FO/Ethernert		1
Total UA		12	
Total Converter FO/Eth		12	

Tabla 4.20: Equipos a ser instalados en cada CT

4.8.3 EQUIPOS REQUERIDOS PARA REALIZAR EL DISEÑO EN CADA CAMARA DE TRANSFORMACIÓN

Debido a que las UA pueden tener varias tarjetas de comunicaciones una de las cuales hace posible la conexión al Backbone de FO. En el diseño de la red PLC se ubicaran 12 Unidades Acondicionadoras, cada una con su respectiva unidad convertidora de FO/Ethernet. Para conectar las UA a la red de baja tensión se requiere de las Unidades de Acoplamiento respectivas que se colocaran en cada una de las fases del transformador trifásico de las CT.

4.8.3.1 Diseño de la Red de Acceso que parte de CT-04 Sto. Domingo

- *Número de UDA (Unidades de Acoplamiento), una por cada circuito de la red de BT*

En la CT-04 se distribuyen tres circuitos por cada fase, por lo que en cada conexión se ubicará una Unidad de Acoplamiento, que para la red de BT será inductivo.

- *Las distancias de los circuitos varían por lo que se instalarán una UR cada 150 m.* Los circuitos que parten del transformador de la CT-04 son en total nueve y alimentan a la Red de BT, y llegan a diferentes usuarios cubriendo varias distancias. La distancia considerada en cada uno de los circuitos es: la distancia máxima del circuito más el valor total de la acometida (Hogares y edificios) que es de 55 m.

Los equipos requeridos por la CT-04 se muestran en la *Figura 4.18* aquí se considera la longitud por circuito y el número de Unidades Repetidoras necesarias para cubrir esas distancias, además el numero de unidades de acoplamiento requeridas, tanto para los circuitos de BT como para la red de MT que une a la CT-04 con la CT-27 C.C. San Pedro.

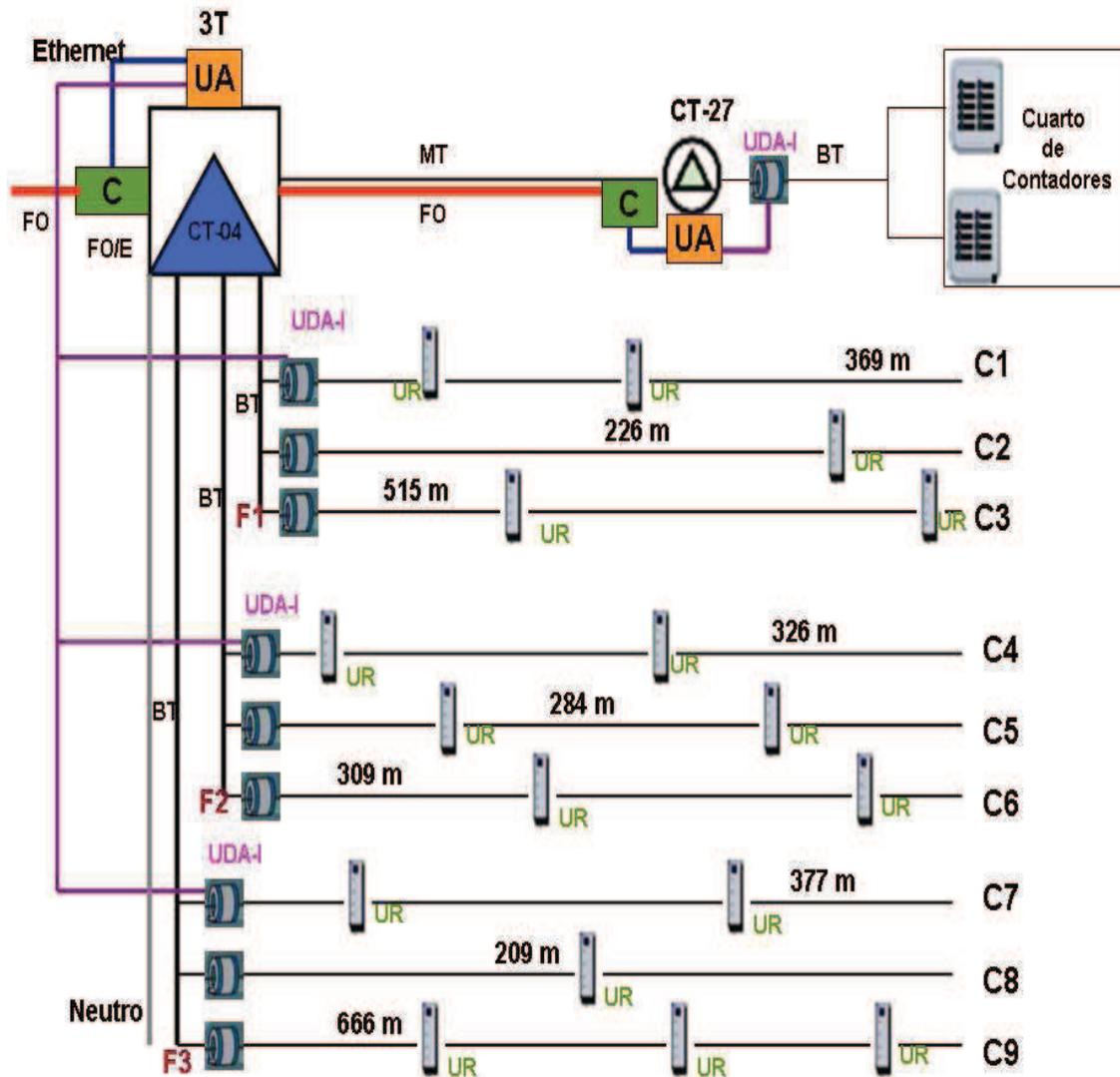


Figura 4.18: Red de Acceso PLC que parte desde la CT-04

4.8.3.2 Número total de Equipos en la Red PLC

En la CT-04 se instalarán los siguientes equipos:

➤ Enlace de BT

- 10 Unidades de Acoplamiento Inductivo (UDA-I) de BT
- 2 UA con 2T (1 Tarjeta de BT, 1 Tarjeta de MT)
- Dependiendo del Circuito de la CT-04 se tiene: considerando que se ubicará una Unidad Repetidora de BT cada 150 m, el número de UR por circuito en la CT-04 es:

CIRCUITOS CT-04	DIST. MAX (m)	Nº DE REPETIDORES
1	369	2
2	226	1
3	515	2
4	326	2
5	284	2
6	309	2
7	377	2
8	209	1
9	666	3
TOTAL		17

Tabla 4.21: Número total de repetidores en los circuitos de La CT-04

En la CT-04 se instalarán 17 Unidades repetidoras para mejorar la cobertura de la señal PLC llegando a todos los usuarios que son alimentados por dicha cámara. En la *Lámina 4.1* se muestra la distribución de las unidades repetidoras en los circuitos de BT de la CT-04.

En la *Tabla 4-23* se muestra el número total de UR que se deberían instalar en todas las CTs, determinando las distancias de cada circuito y la consideración de que por cada 150 m se instale una UR.

CAMARAS DE TRANSFORMACIÓN											
CT-01 LA MERCED				CT-02 VICTORIA VASCONEZ CUVI				CT-03 CEMENTERIO			
Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep
1	39	272 m	1	1	48	246 m	1	1	14	143 m	-
2	30	200 m	1	2	73	429 m	2	2	53	375 m	2
3	27	287 m	1	3	47	416 m	2	3	54	331 m	2
4	33	249 m	1	4	43	210 m	1	4	60	421 m	2
5	60	462 m	2		211				181		
	189	Total UR	6			Total UR	6			Total UR	6
CT-04 STO. DOMINGO				CT-05 C.C. CALIFORNIA				CT-06 BCO. LITORAL			
Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep
1	31	369 m	2	1	1	115 m	-	1	54	639 m	3
2	23	226 m	1	2	1	149 m	-	2	108	352 m	2
3	31	515 m	2		2			3	80	449 m	2
4	23	326 m	2						242		
5	40	284 m	2								
6	39	309 m	2								
7	73	377 m	2								
8	27	209 m	1								
9	58	666 m	3								
	345	Total UR	17			Total UR	-			Total UR	7
CT-07 RAFAEL CAJIAO				CT-08 PLAZA SUCRE				CT-09 CORTE DE JUSTICIA			
Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep
1	36	437 m	2	1	99	462 m	2	1	53	579 m	2
2	79	414 m	2	2	51	536 m	2	2	66	454 m	2
3	60	516 m	2	3	79	541 m	2	3	57	609 m	3
4	58	365 m	2	4	39	412 m	2	4	20	266 m	1
5	15	502 m	2		268				196		
6	48	507 m	2								
7	49	311 m	2								
8	65	283 m	1								
	410	Total UR	15			Total UR	8			Total UR	8
CT-10 GOBERNACIÓN				CT-11 SAN AGUSTIN				CT-12 SAN FRANCISCO			
Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep
1	38	357 m	2	1	28	327 m	2	1	40	378 m	2
2	35	391 m	2	2	27	346 m	2	2	24	430 m	2
3	18	279 m	1	3	27	329 m	2	3	51	472 m	2
4	18	260 m	1	4	35	314 m	2	4	28	364 m	2
	109	Total UR	6		117	Total UR	8		143	Total UR	8
CT-13 LA ESPE				CT-14 TORRE 1 F. VALENCIA-AV.NAPO				CT-15 TORRE 2 NAPO-GUAYAQ			
Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep	Nº Cto	Nº Usu	d _{max}	Nº Rep
1	38	357 m	2	1	35	274 m	1	1	32	359 m	2
2	57	528 m	2	2	38	356 m	2	2	12	210 m	1
3	24	474 m	2		73				44		
4	45	444 m	2								
	164	Total UR	8			Total UR	3			Total UR	3
TOTAL DE USUARIOS						2694					

Tabla 4.22: Número de UR requeridas por cada Circuito de las Cámaras de Transformación

Cámaras de Transformación	Nº Unidades Repetidoras
CT-01	6
CT-02	6
CT-03	6
CT-04	16
CT-05	-
CT-06	7
CT-07	15
CT-08	8
CT-09	8
CT-10	6
CT-11	8
CT-12	8
CT-13	8
CT-14	3
CT-15	3
TOTAL	109

Tabla 4.23: Número Total de UR por Cámaras de Transformación

4.8.3.3 Interconexión hacia el Usuario

En la parte de la red domiciliaria al introducir la señal PLC es necesario realizar un acoplamiento en el Contador de energía del usuario, dependiendo si este es un Contador Digital o Electromagnético se puede requerir de unidades de acoplamiento adicionales. Al pasar por un Contador electromagnético la señal de datos sufre graves atenuaciones por lo que se requiere de unidades de acoplamiento para que la señal ingrese a la Red domiciliaria en buen estado, pero este inconveniente no se presenta en Contadores Digitales. Actualmente en la ciudad de Latacunga se está realizando un cambio de los Contadores de energía tradicionales por Contadores Digitales esto facilitaría en gran manera la implementación de una red PLC en la ciudad. Para el diseño se considerará que los contadores actuales son digitales.

4.8.3.3.1 Equipos de Usuario

En la red domiciliar el usuario únicamente requiere un equipo denominado Unidad de Usuario. Dependiendo de las características del mismo se puede integrar telefonía como servicios de voz VoIP, Redes LAN hogareñas o sistemas de comunicaciones inalámbricos.

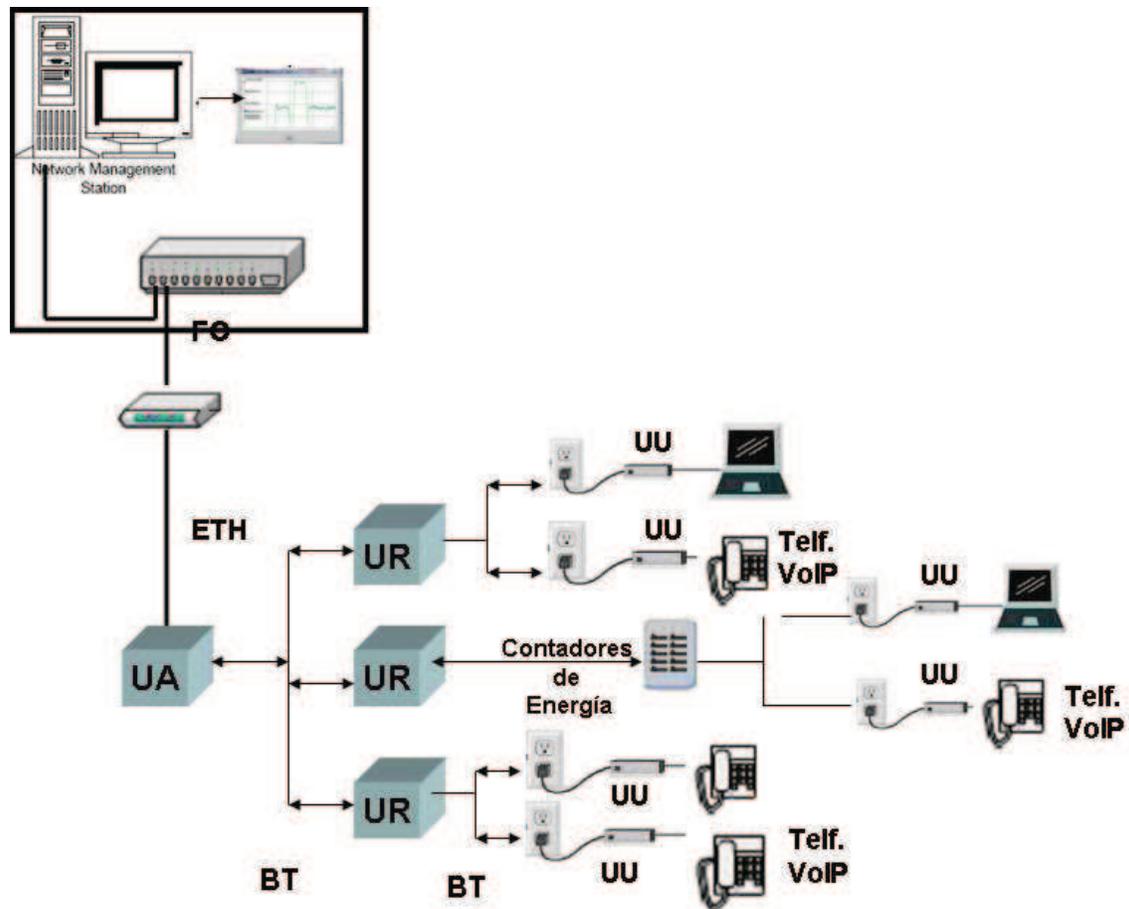


Figura 4.19: Esquema de la Conexión de las Unidades de Usuarios

La UU (unidad de usuario) se puede configurar para soportar FAX; se conecta un FAX o una PC con un Software de FAX en el puerto de voz RJ11 de la UU. Se envía un FAX desde la PC a un Fax en el exterior (por la red PSTN).

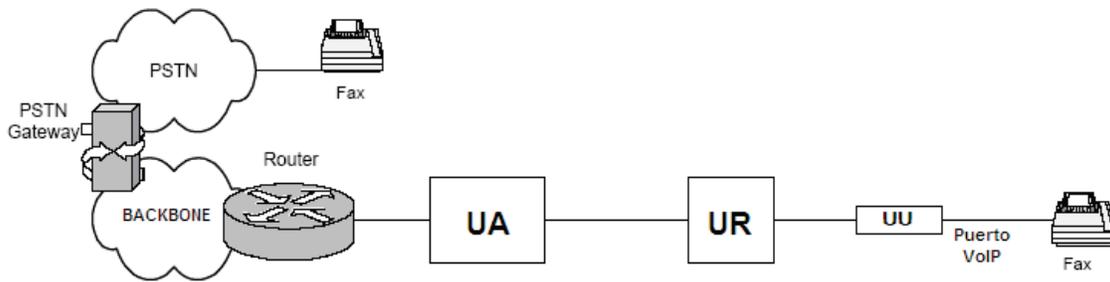


Figura 4.20: Escenario de una FAX conectado a través de la red eléctrica

Hay un gran número de soluciones PLC en la red domiciliar que ayudan a extender una red de área local del hogar para compartir el acceso existente a Internet por Banda Ancha para uso de una red doméstica o en una pequeña empresa. Esta red PLC en el hogar presenta una instalación sencilla, las unidades usuario poseen: Puerto Ethernet o USB y un conector eléctrico, aplicaciones:

- Ethernet Bridge: Conecta la red de datos a la red eléctrica por medio de una interfaz (tarjeta de red) convencional Ethernet RJ45.
- USB Bridge: Conecta los equipos con salida USB a la red eléctrica.
- AP-PLC: Access Point Inalámbrico Wi-Fi. Permite conectar a usuarios Wi-Fi a la red eléctrica PLC.

4.8.3.3.2 Requisitos para una conexión PLC domiciliar

Se requiere:

- Una conexión ADSL, Cable módem, Conexión inalámbrica (Wireless) o una conexión de Datos PLC.
- Un PC equipado con una tarjeta Ethernet o un puerto USB.
- Unidad de Usuario (MODEM PLC)

El usuario final se conecta a la red eléctrica mediante una UU PLC. Esta unidad al recibir las altas frecuencias, las demodula obteniendo un acceso a Internet. La UU se comunica con la Unidad Repetidora situada en el cuarto de contadores del edificio o manzana.

4.8.3.3.3 *Consideraciones del diseño de una Red PLC domiciliaria*

➤ *Hogar*

- Las instalaciones eléctricas del hogar son vulnerables a interferencias y problemas, debido al gran número de empalmes y a la falta de un aislamiento correcto en sus conductores
- La construcción de estas instalaciones no siguen estándares que indiquen su perfecto estado ya que no hay establecido revisiones obligatorias por parte de organismo de fiscalización. Esto ocurre en grandes obras solamente, pero igual las consideraciones que se toman son puramente eléctricas, no intervienen consideraciones que las haga óptimas para emplearlas como líneas de transmisión de datos.
- Detrás de la conexión del medidor monofásico de corriente no hay inconvenientes en la conexión de los adaptadores PLC de usuario a los conectores eléctricos.

➤ *Edificio o Grandes construcciones*

En grandes edificios, urbanizaciones, universidades, hospitales o edificios administrativos la conexión es más compleja debido a que estas estructuras presentan puntos de entrada trifásica y diferentes medidores; además, las longitudes de las redes eléctricas aumentan lo cual atenúa la señal de datos. Por esto es necesario distribuir repetidores para aumentar la cobertura de la señal.

Al momento de realizar una Red PLC domiciliaria se debe considerar lo siguiente:

- Edificios antiguos que tienen instalaciones eléctricas deterioradas y que han crecido de forma poco controlada.
- No haya esquemas eléctricos definidos, se debe conocer toda la instalación eléctrica existente. Se debe determinar la topología de la red eléctrica en la cual se aplicaría el diseño.
- Disponer de un plano actualizado de la red eléctrica, para que el tiempo de instalación disminuya considerablemente.

4.8.3.3.4 Características de la Red domiciliaria

- Menores dimensiones
- Distancia a cubrir es menor (del orden de 50 m) en los hogares excepto para grandes edificios o construcciones.
- Número de ramas es menor y más corto
- Elementos con los que está formada la red eléctrica de un hogar:

ELEMENTOS	FUNCIONES
Acometida.	<p>La acometida normal de una vivienda es monofásica, de dos hilos, uno activo (positivo) y el otro neutro, en 120 voltios.</p>  <p>El diagrama muestra un transformador secundario con dos bobinas. Una bobina está etiquetada como 'VIVO' y la otra como 'NEUTRO'. Una línea de voltaje indica '120 VOLTIOS' entre ellas. Debajo del transformador se indica 'SECUNDARIO TRANSFORM' y 'SERVICIO MONOFÁSICO BIFILAR'.</p>
Medidor	Registra la energía eléctrica consumida por el usuario
Conductores	<p>Elementos que transmiten o llevan el fluido eléctrico.</p> <p>Hilo o alambre: Es un conductor constituido por un único alambre macizo.</p> <p>Cordón: Es un conductor constituido por varios hilos unidos eléctricamente arrollados helicoidalmente alrededor de uno o varios hilos centrales.</p> <p>Cable: Es un conductor formado por uno o varios hilos o cordones aislado eléctricamente entre sí.</p> <p>Los cables son canalizados en las instalaciones mediante tubos para protegerlos de agentes externos como los golpes, la humedad, la corrosión, etc. Normalmente en las viviendas se usan cables de 8, 10, 12 y 14 mm de diámetro.</p>
Control de Interruptores	Diseñados para poder conectar o interrumpir una corriente que circula por un circuito. Se accionan manualmente.
Conmutadores	Interrumpen un circuito para establecer contactos con otra parte de éste a través de un mecanismo interior que dispone de dos posiciones: conexión y desconexión.
Cajas de empalmes y derivación	Se utilizan para alojar las diferentes conexiones entre los conductores de la instalación. Son cajas de forma rectangular o redonda, dotadas de guías laterales para unirlos entre sí.
Consumo	Cualquier aparato o dispositivo que consuma electricidad. Ejemplos: lámparas incandescentes (focos), motobombas, ventiladores fijos, timbre y cualquier carga fija en la instalación.
Protección	Interruptor de seguridad, fusibles, centro de carga.
Varios o Mixtos.	Contactos (se consideran como cargas fijas independientemente de que tengan o no conectado a ellos un aparato), barra de contactos con supresor de picos. Los que tienen doble función: Interruptores termo -magnéticos (protegen y controlan cargas).

Tabla 4.24: Elementos básicos por los que esta formada una instalación eléctrica domiciliaria

4.8.3.3.5 Aplicaciones

- Servicio de telefonía IP desde cualquier tomacorriente. Para tener telefonía IP, la Unidad de Usuario debe incluir un puerto RJ11 para el teléfono.
- Para una red inalámbrica, la UU PLC se debe conectar a un router Wi-Fi o usar Modems que incluyan esa capacidad.
- Las UU PLC están provistos de un puerto Ethernet para conectar impresoras, PCs y cámaras IP que da funcionalidad a la red.

4.8.4 REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE SERVICIO Y SEGURIDAD

4.8.4.1 Calidad de servicio que ofrecen los equipos PLC

Los requisitos para obtener una QoS están relacionados de acuerdo al tipo de datos que se van a transmitir por ejemplo la reproducción en tiempo real de vídeos, música, voz o datos.

4.8.4.2 Seguridad

PLC tiene una seguridad por el uso de medios de autenticación basados en un protocolo cliente servidor, este último actúa controlando el tráfico hacia y desde los clientes, y aquellos mantienen su privacidad por medio de la implementación de redes virtuales VLAN. Los equipos PLC actuales responden a los estándares de los equipos de transmisión de datos, conviven con los demás equipos de la red con iguales protocolos de administración, monitoreo y seguridad.

4.9 EQUIPOS ESCOGIDOS PARA REALIZAR EL DISEÑO DE LA RED PLC

En el mercado hay varios proveedores de equipos PLC. En el desarrollo de equipos PLC de MT se encuentran empresas como AMPERION, ASCOM, EBA, y MAIN NET que ofertan productos que permiten emplear la línea de media tensión como medio de transmisión para la señales PLC. Empresas como DEFIDEV, CORINEX tiene una variedad de equipos para redes PLC de BT. En la *Figura 4.21* se muestran las características de varias de estas empresas.

FABRICANTES DE EQUIPOS BPL							
Proveedor							
Años en el mercado	4			9			4
Países que la usan	Estados Unidos			Estados Unidos, Canada, Colombia, Argentina y Europa			Estados Unidos
Elementos del sistema	Equipo de cabecera	Repetidor	Terminal de usuario	Equipo de cabecera	Repetidor	Terminal de usuario	Terminal de usuario
	Falcon 1000 MV-I Lynx 1000 MV-I	Falcon 1000 MV-RE Lynx 1000 MV-RE	Falcon 1000 MV-E Lynx 1000 MV-E	API-2000-MV/LV	API-2000-GW	APC-2000-DB/VB	PlugLink Ethernet Bridge / PlugLink USB Adapter
Velocidad de transmisión [Mbps]	24	N.E.	N.E.	205	205	2.5-4.5	14
Usuarios	N.E.			64	32	N.E.	16
Interfaces externas	802.11b			Ethernet, RJ45, RJ11	Ethernet, RJ45, RS232		RJ 45, USB
Protocolos	SNMPv2, CLI			SNMP v2, TCP/IP, DHCP, FTP, VLAN, HTTP, STP, 802.1p QoS			TCP/IP
Estándares	N.E.			EN55022, EN55024, EN60950	EN55022, EN55024, EN60950	EN55022, EN55024, EN60950	HomePlug v1.01 Certified Windows 98SE, ME 2000, XP Compatible, IEEE 802.3 UL, Aprobación FCC
Distancia estándar [m]	809.6			1500	300	100	1000
Frecuencia [MHz]	N.E.			2-34			4.3-20.9
Seguridad	SSH, PPPOE, WEP			802.1Q VLAN, Encriptación DES			N.E.
Técnica de modulación	OFDM			OFDM			OFDM

Figura 4.21: Principales Fabricantes de Equipos PLC

FABRICANTES DE EQUIPOS BPL									
Proveedor									
Años en el mercado	15			3			4		
Países que la usan	N.E.			Latinoamérica y Estados Unidos			América, Australia		
Elementos del sistema	Terminal de usuario		Ruteador	Equipo de cabecera	Repetidor	Terminal de usuario	Equipo de cabecera	Repetidor	Terminal de usuario
	Cable Adapter, Ethernet Adapter, USB Adapter, Wall Mount Adapter		Corinex Powerline Router	N.E.	N.E.	N.E.	NmPLUS	RpPLUS, CuPLUS, CpPLUS, AmrPLUS	NiPLUS, TelPLUS
Velocidad de transmisión [Mbps]	50			200			N.E.	N.E.	2.5
Usuarios	5			254	N.E.	N.E.	10		
Interfaces externas	RJ45, USB, ETHERNET, WIFI			RJ45, Ethernet, USB, RJ 11, RS232		Ethernet, RJ45, RJ11, USB	USB, RJ11, RS232		
Protocolos	SNMP v.1, SNMP v.2			SNMP, DHCP			100BaseT, xDSL, T1 and E1		
Estándares	HomePlug 1.0.1, IEEE 802.3			N.E.			N.E.		
Distancia entre repetidores [m]	200			300			N.E.		
Frecuencia [MHz]	4.3-20.9			1.6-18		18-36	N.E.		
Seguridad	N.E.			VLAN 802.1q			N.E.		
Técnica de modulación	OFDM			OFDM			N.E.		

Figura 4.21: Principales Fabricantes de Equipos PLC

4.9.1 EQUIPO ACCESO PLC

Una de las marcas que cumple con las características deseadas para garantizar viabilidad en la red PLC es Main.net, su equipo se basa en “smart repetition” ó “repetición inteligente”, esto garantiza menos interferencia con otros equipos ya que permite transmitir las señales con bajo niveles de potencia. El inyector y repetidor Main.net con modulación OFDM pueden ser implementados en la red de media o baja tensión. Ambos funcionan con voltajes de 100 V-400 V ac y consumen 8 Watts máximo. Pueden ser utilizados en América y Europa (60-50Hz). Sus equipos cumplen con las temperaturas de intemperie -20°C a +55°C y rango de humedad 5% a 85 %. Su equipo repetidor posee incorporado un extractor de señales lo cual es una gran ayuda optimizando recursos.

El equipo Corinex es recomendado como segunda opción para garantizar viabilidad en el servicio de Internet. Corinex MT-BT Access Gateway/Regenerator” ó Regenerador/ Acceso de Entrada para media ó baja tensión transmite la señal y la repite cada 2 km en las redes de MT y cada 200 m en redes de BT. Presenta modulación OFDM, funciona con voltajes de 85-265 V ac y consumen 35 Watts máximo. Pueden ser utilizados en América y Europa (60-50Hz). Funciona con frecuencias de 2 a 24 MHz y cumple con las temperaturas de intemperie - 20°C a +55°C y rango de humedad 10% a 80%. La densidad espectral de energía transmitida es de -50dBm/Hz.

4.9.2 EQUIPO PLC DOMICILIARIA

En equipos para realizar una red PLC domiciliaria se encuentran varias marcas que brindan gran funcionalidad, capaces de brindar un servicio viable de Internet utilizando la red eléctrica entre los principales fabricantes se pueden mencionar: Defidev, Mitsubishi Electric, Equipos ILEVO, Siemens, Corinex todos poseen una variedad de Unidades de Usuario o módems PLC, estos equipos aseguran conectividad a Internet y adaptación a la red Ethernet ó puntos de acceso Wifi, funcionalidad de VoIP (voz sobre IP) también está disponible. Funcionan con voltajes de 100/240 VAC, 0.5 A, 50/60 Hz y consumo 12,9 W/h de potencia, poseen temperaturas de trabajo de 0-40 °C y Humedad de trabajo: 5-90 % (sin condensar). Certifican velocidades de hasta

14 Mbps con encriptación DES. Todos los equipos funcionan bajo modulación OFDM para garantizar viabilidad en el servicio de Internet. Estos equipos están diseñados para una fácil y rápida instalación. Permiten conectar un ordenador personal o impresora vía interfaz Ethernet o USB. Son compactos y autónomos y permiten realizar las funciones de una unidad acopladora de bajo ruido a la línea eléctrica.

4.9.3 COSTO INVOLUCRADO EN EL DISEÑO DE LA RED PLC

Para realizar el presupuesto del diseño de la red PLC se toman costos promedio, ya que en el mercado existen una gama de equipos, medios de transmisión y servicios de instalación y mantenimiento, que cumpliendo con los requerimientos de la red planteada, varían tanto en calidad como en precio.

Es necesario que las empresas proveedoras de cada uno de los equipos a ser adquiridos, brinden la garantía correspondiente, la capacitación para el personal que lo manipulara luego de su instalación, y la posterior asistencia técnica en caso de ser necesaria.

En el **Anexo D.2** se presenta y especifican las características y precios de los equipos involucrados en el diseño. El equipo elegido deberá mantener características similares o superiores a las especificadas como básicas para garantizar un correcto funcionamiento de la red PLC.

4.9.3.1 Instalación del medio de transmisión en el Backbone

La instalación del medio de transmisión en este caso cable de fibra óptica, se estima como un costo total, el que incluye el proceso de adquisición, e instalación, ya que normalmente es así como lo ofrecen las empresas que venden dicho medio de transmisión.

El costo de este servicio, se estipula por tres parámetros principales:

- Longitud del enlace
- Tipo de Fibra óptica
- Modo de instalación

4.9.3.2 Tarifas por uso de frecuencia < 30 MHz

En el Ecuador el organismo que impone tarifas para el uso del espectro radioeléctrico es el CONATEL, el rango de Frecuencias que se requieren para implementar la Red PLC se encuentra entre 1,6 MHz a 30 MHz. Según el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico emitido por este organismo en su Resolución 435-15 CONATEL 2005 se especifican los factores a considerarse para realizar el cálculo de las Tarifas por uso de frecuencias.

Para los fines de cálculo de las tarifas por uso de frecuencias para los Servicios Fijos y Móviles, que operan en las bandas bajo 30 MHz, la zona de concesión es todo el territorio ecuatoriano y el valor a pagar esta en función del número de horas a utilizarse por día y del número de estaciones que operen en cada frecuencia, de acuerdo con la *Ec-4.5*:

$$T(US\$) = K_a * \alpha_1 * \beta_1 * A * Ft$$

Ec.-4.5

Donde:

$T(US\$)$ = Tarifa por frecuencia asignada.

K_a = Factor de ajuste por inflación.

α_1 = Coeficiente de valoración del espectro servicio fijo y móvil en bandas bajo 30 MHz. Definido al inicio de un periodo de concesión y no podrá ser incrementado durante ese periodo mientras este puede ser disminuido durante dicho periodo

β_1 = Coeficiente de corrección para el servicio, fijo y móvil en bandas bajo 30MHz.

A = Anchura de banda de frecuencia asignada.

Ft = Factor de tiempo de uso y número de Estaciones del Sistema

En nuestro diseño no vamos a considerar la tarifa por uso de frecuencia, debido a que no se conoce el modelo de negocio a seguir que ELEPCO S.A. va a desarrollar además que la *Ec-4.5* es considerado como una concesión a nivel nacional, pero para nuestro diseño solo nos centramos en la provincia de Cotopaxi.

En la *Tabla 4.25* se detallan los costos de los equipos involucrados en el diseño de la red, considerando la muestra de 1966 usuarios a ser atendidos, la estimación de costos del proyecto abarca los equipos de usuario que serán instalados. Este valor representa la más alta inversión que debe realizar la empresa para desarrollar el servicio de datos a través de la Red PLC. También se considera un monto por costo varios e imprevistos del 10 a 5 % del costo total del diseño.

PRECIO ESTIMADO DE LA INSTALACIÓN PLC				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P/U	PRECIO TOTAL
1	Equipo Red PLC			
1.1	Unidades de Acondicionamiento 2T de BT Corinex	12	480	5760
1.2	Unidades Repetidoras de BT DS2	109	220	23980
1.3	Unidades de Acoplamiento Inductivo (Juego de Acopladores Inductivo para BT Max 100 A)	(63/6)= 11	291	3201
1.4	Unidades de Acoplamiento Capacitivo (BT 1-fase 100 Ω)	1966	19	37354
1.5	Unidades de Usuario TPL-101U de TRENDWARE	1966	24,89	48934
1.6	Convertidores de Medio FO/Ethernet	12	95,55	1147
1.7	Caja de Distribución de Señal PLC 100Ω, hasta 8 puertos	254	51	12954
1.8	Filtro Interno 12/13 Mhz. Paquete para 10 Instalaciones	(109/10)= 11	380	4180
	Total USD			137519
2	Equipos de Interconexión			
2.1	Switch Ethernet Óptico de 24 Puertos administrable	1	2860	2860
2.2	Switch Ethernet UTP administrable de 24 puertos	1	563,66	564
2.3	Router 2 Puertos 10/100/1000 Base T. Puerto WAN	1	1800	1800
2.4	Patch Panel de 48 puertos – Tipo Óptico	1	920	920
2.5	Patch Panel de 24 puertos – Tipo Óptico	1	308,49	308
2.6	Patch Panel de 12 puertos – Tipo Óptico	1	254,92	255
2.8	Patch Panel de 6 puertos – Tipo Óptico	1	198,4	198
2.9	Rack 72"x19" pies de aluminio negro	2	156,64	313
2.10	Patch Cord de Fibra óptica	13	20	260
2.11	Multitoma montable en Rack	6	29,5	177
2.12	Fibra Óptica de 60 pares monomodo	575 m	28 c/m	16100
2.13	Fibra Óptica de 30 pares monomodo	490 m	15 c/m	7350
2.14	Fibra Óptica de 24 pares monomodo	890 m	10 c/m	8900
2.15	Fibra Óptica de 12 pares monomodo	653 m	7 c/m	4571
2.16	Fibra Óptica de 6 pares monomodo	4595 m	5 c/m	22975
	Total USD			67552
3	Instalaciones			
3.1	Instalación por metro de FO	7203 m	0,7	5042
3.2	Instalación de Equipos, configuracion y pruebas	1	3500	3500
3.3	Certificacion de puntos de FO	20	5	100
3.5	Licencias de Software de Monitoreo de Red. CXM-OPM-u100 Corinex Open Powerline Management ver. 4.0. Licencia para 100 adaptadores	20	550	11000
3.6	Computador	2	650	1300
3.7	UPS	1	500	500
	Total USD			21442
	Total USD de Equipos			226513
	Costos por Gastos Varios o Imprevistos 10%			22651
	TOTAL			249164

Tabla 4.25: Costos totales del Diseño de la Red PLC

El costo estimado total para la implantación del proyecto en la Red Eléctrica de ELEPCO S.A. es de \$ 249,164 USD. Estos valores no incluyen I.V.A. por lo que el valor final será de \$ 279,063 USD.

El total de este presupuesto da una noción, que el mismo es factible, pues la inversión aunque cuantiosa, se justifica tanto tecnológica como económicamente, ya que es un proyecto que impulsa el desarrollo de las comunicaciones en sectores no atendidos, logrando así llegar a la mayor cantidad de usuarios con redes ya instaladas , además abre una nueva oportunidad de negocio a las eléctricas al hacerlas participar en un mercado antes desconocido, pero con los recursos y la tecnología adecuada puede ser explotado y comercializado obteniendo así un nuevo ingreso para la empresa.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSIONES

1. Para ELEPCO S.A. la tecnología PLC es una buena solución de red de acceso, se recomienda implementar esta tecnología, dado que la red eléctrica bajo la cual se sustenta tiene una cobertura de un 96.75% llegando a 386,784 habitantes en la provincia de Cotopaxi, aumentando así el índice de penetración de Internet en la misma.
2. En el diseño de la red PLC se considerará la interconexión que existe entre las subestaciones de la Cocha y el Calvario para una implementación futura, llegando así a otros sectores de la provincia que actualmente no tienen servicios de comunicaciones y así poder expandirlo.
3. El comportamiento natural del cableado eléctrico es un aspecto que afecta el desarrollo de redes de acceso basadas en PLC, estos canales son fuentes principales de distorsión, ya que fueron diseñados para el transporte de señales eléctricas y no para el transporte de señales de telecomunicaciones, por lo tanto se requiere mecanismos de control de acceso al medio y técnicas de modulación que garanticen que las señales transmitidas puedan llegar a su destino de forma confiable. Las soluciones PLC deben incluir una capa física robusta y un eficiente protocolo de acceso a la capa de red. Este protocolo controla la división de los medios de transmisión entre muchos clientes, en tanto que la capa física especifica la modulación, la codificación y el formato de los paquetes.
4. Para limitar la potencia de funcionamiento necesaria para transmitir los datos garantizando el suficiente ancho de banda se requiere limitar los efectos del ruido y la distorsión en las líneas por lo que se debe combinar una señal con excelentes prestaciones y un acoplamiento óptimo de la red PLC a la red de suministro eléctrico.

5. La tecnología PLC constituyen una alternativa para el crecimiento de las redes de datos, y en especial de Internet, siempre y cuando se solventen los problemas regulatorios y de uso del espectro electromagnético que esta tecnología impone.
6. Las pruebas de PLC en otros países han demostrado la viabilidad de la tecnología y la no afectación de los servicios de electricidad. Para el desarrollo del diseño de la red PLC en la infraestructura de ELEPCO S.A. no debe variar en gran manera ya que la infraestructura eléctrica es en si homogénea y no varia en grandes proporciones de las redes en otros países a excepción de la frecuencia de trabajo que en Europa es de 50 Hz.
7. PLC no es una solución para reemplazar en su totalidad infraestructuras tecnológicas existentes, sino que puede introducirse como un elemento complementario, en la que convivan tramos de tecnologías tradicionales con nuevas tecnologías, con el fin de llegar a más lugares. Con tramos de transmisión de datos por red eléctrica PLC.
8. Con una posible implementación de la Red PLC en el sector de la ciudad de Latacunga se podría llegar una población que actualmente ya tiene servicios de Internet con la finalidad de mejorar el servicio y crear una competencia en el sector para que se abaraten los costos de los servicios de comunicaciones.
9. Los dispositivos PLC son utilizados mayormente en zonas residenciales donde la influencia de frecuencias parasitas sean mínimas ya que estas son causadas por motores de tipo industrial, en un caso que la zona a implementar la red PLC tenga perturbaciones de este tipo es necesario introducir a la red equipos adicionales que reduzcan esas frecuencias para que no se vea afectada la red, como son los filtros capacitivos o inductivos, con capacidad de impedir esta clase de interferencias. Además de que los nodos que se ubiquen a mayor distancia de la Unidad de Acondicionamiento tienen mayores tiempos de retardo y por ende, su velocidad de acceso a Internet se reduce.

10. PLC puede competir en prestaciones con las técnicas de cableado estructurado tradicional y el empuje de las redes inalámbricas, representa una solución muy valiosa para ser utilizada en aquellos casos en los que la instalación de redes no resulte viable por razones económicas o normativas.
11. En un futuro cercano, la tecnología PLC ofrecerá grandes anchos de banda, como ya se muestra en su tercera generación, también se verá reducciones en el tamaño y precios de sus equipos, todo esto acompañado de la integración de tarjetas PLC dentro de los computadores, aprovechando así el cable de la fuente de alimentación para la conexión a la red de datos. También es previsible la integración de tecnologías PLC e inalámbricas en redes mixtas, con dispositivos híbridos PLC-WIFI. Finalmente una vez que la tecnología PLC se establezca y consolide, los temas a optimizar serán: mejorar la cobertura en interiores con mayor calidad, establecer niveles de confiabilidad y seguridad, así como establecer un marco normativo y regulatorio que permita el continuo desarrollo de esta tecnología.
12. PLC es hoy una solución que debe ser impulsada por diversos sectores, tanto público y privado, con miras a tener cobertura global de Internet y mayor competencia en plataformas alternativas de acceso de banda ancha, lo cual se ha demostrado, promueve efectivamente la competencia por nuevos usuarios de los servicios de telecomunicaciones.
13. Con el uso del PLC es posible automatizar las redes eléctricas de distribución en MT y BT para controlar consumos, detectar fraudes o realizar cortes por falta de pago desde la subestación de distribución.
14. Si se quiere tener una infraestructura de banda ancha que llegue a todos los rincones de nuestra geografía, la tecnología PLC es una alternativa de red de acceso, con la finalidad de que todas las ciudadanas y ciudadanos tengan la misma oportunidades y medios, para nuestro desarrollo, cultural, social y económico.

15. Con la implementación de una red PLC a grandes niveles se persigue beneficios tales como reducir la brecha digital entre grupos de una misma sociedad, con el uso de la red eléctrica como medio de comunicación se llegara a dar servicios de necesidad primaria a comunidades marginadas y carentes de infraestructura de comunicaciones.
16. Las compañías eléctricas comparten una serie de características con los operadores de telecomunicaciones. Estas características comunes son las que permiten incluirlas en una categoría denominada "industrias de red". Y que le permiten canalizar sus servicios al máximo de capilaridad: estos poseen una conexión por usuario. ELEPCO S.A. ha constituido un monopolio natural dentro de su región de servicio; ya que es una industria madura que ha sufrido procesos de consolidación, expandiendo su cobertura.
17. El proceso liberalizador que se produce en el sector de las telecomunicaciones se ha visto como una oportunidad para que otras industrias de red se introdujeran en el sector. Desde un punto de vista técnico las compañías eléctricas están muy bien posicionadas, ya que su conexión metálica con cada usuario, diseñada para transportar energía eléctrica, puede convertirse en un mecanismo de transporte de información digital capaz de transportar servicios de banda ancha.
18. Las dificultades técnicas, mas las dificultades de entrar en competencia con servicios ya arraigados en el mercado hacen difícil pensar en una masificación fructífera de esta manera de brindar servicios de banda ancha. Por lo que se podría considerar el uso de PLC como opción de última milla para barrios privados o edificios que busquen alternativas a realizar cableados adicionales.
19. Internet abre un mundo de posibilidades para mujeres empresarias y más si a través de tecnologías como el PLC se logra realizar el teletrabajo, muy útil para mujeres con cargas familiares o en núcleos alejados donde se ubican sus oficinas. Internet por PLC optimiza estas posibilidades debido a que presenta ventajas tecnológicas llegando a sitios donde no llegan otras tecnologías dando así igualdad de

oportunidades a mujeres que viven en entornos alejados con limitadas posibilidades de trabajo.

20. Un estudio de mercado podría definir la comercialización, modelo de negocio y organización elegidos por ELEPCO S.A. para que la empresa defina como actuar ya sea: Operador Global de servicios de telecomunicaciones al cliente final, operador local, alquiler de acceso/cesión de derechos de uso a otros operadores, creación de sociedades mixtas con otros posibles operadores.
21. Es necesaria una regulación tecnológica que posibilite la creación de estándares, que permitan alcanzar un nivel de competitividad a las empresas que deseen ingresar a dar servicios de comunicaciones utilizando PLC.
22. La solución de Power Line Communications, es una alternativa tentativa para nuestro país, no solo se trata de ventajas económicas y técnicas, sino de una solución para llegar a donde el acceso difícil es un impedimento para garantizar las comunicaciones. En nuestro país la teledensidad es de un 10 % y PLC es una solución para aumentar este número.
23. Ecuador tiene en general un notable déficit en redes de acceso para los usuarios y las pocas que hay están monopolizadas. Un alto porcentaje del territorio nacional cuenta con una extensa infraestructura eléctrica por lo que se convierte en la red de mayor acceso en el país. La tecnología PLC traería grandes beneficios para el desarrollo tanto de la provincia considerada en el diseño como en otros sectores donde no se han difundido los servicios de datos.

5.2 RECOMENDACIONES

Se deben cumplir varios requisitos para considerar en óptimas condiciones la red eléctrica de ELEPCO S.A., y poder utilizarla como red de comunicaciones, utilizando la tecnología PLC. Entre las recomendaciones más sobresalientes para el diseño y posible implementación se tienen:

1. Se recomienda tomar en cuenta el estado de las líneas eléctricas tanto en la red de acceso como domiciliaria (corrosión, malos empalmes o extremado número de derivaciones) ya que esto genera reflexiones, y atenuaciones que disminuyen significativamente la calidad de la señal de datos transmitida.
2. Comprobar que la instalación eléctrica de la casa del cliente se encuentre en buen estado para distribuir el servicio de Internet. Antes de instalar una conexión de Internet a través de PLC se deberá probar la polarización de los tomacorrientes, contar con cables aislados sin cortes ó rupturas.
3. El tramo que se dirige desde las Cámaras de Transformación hasta el Contador de energía de cada usuario, debe cumplir con las normas eléctricas vigente en el país, tomando en cuenta las consideraciones de organismos internos y externos de comunicaciones que consideren idóneo su uso como medio de comunicación.
4. Evitar en lo posible la utilización de elementos que al ser instalados, causen atenuación o interferencia a la comunicación por la red eléctrica, ya que se pueden formar “filtros limitadores pasa banda”, que causan degradaciones o limitaciones en el “ancho de banda” o “velocidad” de los datos.
5. Se recomienda medir los niveles de interferencia utilizando el método estipulado por la FCC el que consiste en colocar una antena tipo aro debajo del punto de inyección, moverla paulatinamente en forma paralela a los cables eléctricos hasta alcanzar una distancia de 30m para frecuencias menores de 30 MHz. El valor de la impedancia

característica debe rondar los 350 Ω - 420 Ω para frecuencias de 1 a 30 MHz.

6. Se recomienda verificar que la conexión a tierra del domicilio del usuario se encuentre alrededor de los 10 Ω , se debe medir esta cantidad antes de instalar una red PLC, ya que de no cumplirse traería consecuencias como sacar de operación al usuario conectado.
7. Existe menos ruido al medir la señal entre la Fases, debido a la falta de neutro como referencia, por lo tanto se debe conectar ó inyectar la señal de datos entre las dos fases para transmitir la señal con mayor calidad en distancias de acceso, para distancias domiciliarias se recomienda inyectar la señal de datos PLC entre fase y neutro.
8. Según datos teóricos se presenta que a frecuencias mayores de los 20 MHz se muestra menos interferencias y portadoras de ruido por lo que se recomienda, utilizar para el espectro PLC frecuencias superiores a los 20 MHz para garantizar mejor transmisión de datos.
9. Considerar la cantidad de acometidas antes de implementar la Red PLC, debido a que una sobrecarga de estas puede causar por consecuencia exceso de carga en el transformador, la señal de datos se atenuará y existirán pérdidas en la línea. Por lo tanto se debe verificar la capacidad del transformador y no sobrepasar este valor ya que si existieran muchas acometidas la señal perdería intensidad.
10. PLC es una alternativa de comunicación de gran ancho de banda y conforme esta tecnología avance en su estandarización así será su desarrollo y éxito a nivel mundial. Se recomienda en el caso de Ecuador que exista una regulación antes de implementar el servicio a través de PLC, para regular el uso de las frecuencias de modo que no interfieran con radioaficionados y servicios que utilizan radiofrecuencias.
11. Se recomienda adquirir equipos y software para realiza el monitoreo y administración de la Red PLC estos deben permitir mapear el estado de las redes eléctricas.
12. Para garantizar una buena implementación de la red PLC es necesario conocer de que manera los diferentes fabricantes de dispositivos PLC resuelven los temas relacionados con el desempeño de la capa MAC, los efectos de distorsión de la señal, los mecanismos de detección y

corrección de errores, la técnica de modulación y los mecanismos de QoS a nivel de la capa 2 del modelo ISO/OSI que son utilizados por los dispositivos existentes en el mercado.

13. Realizar un mapa de la red PLC, con todos los datos sobre la ubicación de las Unidades de Acondicionamiento, Unidades de Acoplamiento, Unidades Repetidoras y Unidades de Usuario que se van a instalar. Esto permitirá tener un conocimiento físico del sector al cual darán servicio y determinar posibles fallas o averías que se presenten en los mismos.
14. Las Unidades de Usuario deben conectarse directamente a una toma eléctrica, no enchufar el equipo a una toma de alimentación con protección de sobretensión, ni conectarlo a un UPS. Las UU disponen de su propio filtro de alimentación que lo protege de sobretensiones.
15. Se recomienda verificar el grado de cobertura de la señal de datos para comprobar la calidad de la transmisión en los diferentes puntos y la evaluación de la instalación de Unidades Repetidoras en la red PLC como la posible ubicación de los mismos.
16. Para la instalación de la Red PLC de Acceso y Domiciliaria se recomienda implementar el diseño con Equipos de Marca Corinex ya que presentan mejores características para ser instalados en la red de ELEPCO S.A.
17. Se recomienda instalar unidades repetidoras cada 150 m para evitar atenuaciones de la señal y que esta llegue en óptimas condiciones al usuario mas alejados de la red. La ubicación del equipo PLC es de vital importancia en la red.
18. Se recomienda utilizar el acoplamiento inductivo en las líneas eléctricas subterráneas. Este tipo de acoplamiento ofrece buen rendimiento independientemente del tipo de cable y de la configuración de la red, presenta bajo riesgo de accidentes al momento de su instalación.
19. La ubicación de los inyectores y repetidores en la red PLC es fundamental ya que de estos depende la distribución de la señal. Es necesario analizar la cantidad de usuarios por transformador, para de esta manera realizar un diseño de ubicación de equipo para garantizar calidad de servicio a los clientes.

20. Se recomienda definir una estrategia de desarrollo comercial que permita una evolución exitosa de la tecnología, buscando la viabilidad técnica y la rentabilidad económica para ELEPCO S.A. Por ejemplo se puede combinar PLC con otras tecnologías como WiMAX de manera que se pueda abaratar los costos y al mismo tiempo, crear un modelo combinado que permita competir contra tecnologías maduras y estandarizadas como el ADSL y el Cable MODEM.
21. Se recomienda que ELEPCO S.A. como empresa interesada en la implementación de esta tecnología incentive al Estado Ecuatoriano en explotar esta tecnología con el fin de generar el desarrollo tecnológico de la provincia.
22. Se recomienda valorar el impacto producido por la posible implantación en la ciudad de Latacunga. Realizando estudios que permitan confirmar la tecnología como una alternativa válida y/o compatible con otras soluciones. Además de la evaluación de los costes asociados al despliegue y operación de la tecnología PLC.
23. Se debe anotar que la necesidad de implementar e invertir en una red PLC, depende de manera directa de la forma en que la empresa eléctrica quiera ingresar en el mercado de las comunicaciones. Ello significa que es posible abaratar los costos, por medio de modelos de negocio que involucren la creación de sociedades compartidas.
24. Se requiere que la tecnología PLC sea tratada de forma equitativa a otras tecnologías de banda ancha y que marque una regulación favorable que apoyen fuertemente el desarrollo comercial de la misma.
25. Realizar estudios prácticos que traten de reducir las múltiples fuentes de interferencia. Para solucionar los problemas que se pueden dar por efectos electromagnéticos con otros equipos.
26. Se recomienda el uso de filtros que eliminen ruidos parásitos por toda la red aislando así equipos problemáticos y protegiendo los servicios que puedan ser interferidos.
27. Se recomienda fomentar el desarrollo de las tecnologías de comunicaciones en áreas menos favorecidas, social y económicamente por parte de ELEPCO S.A. con una red PLC.

GLOSARIO

- **ACK:** Acknowledgement.
- **ADSL:** Asimmetric Digital Subscriber Line.
- **AMR:** Automatic Meter Reading.
- **ASK:** Amplitude Shifting Keying
- **AT:** Alta tensión.
- **BACKBONE:** Red de transporte de telecomunicaciones.
- **BER:** Bit Error Rate.
- **BT:** Baja Tensión.
- **CARRIERS:** Es una empresa autorizada y con infraestructura tecnológica necesaria para proveer servicio de transmisión de datos.
- **CDMA:** Multiplexación por División de Código.
- **CENELEC:** Comité Européen de Normalization Electrotechnique.
- **CNC:** Comisión Nacional de Conectividad.
- **CRM:** Capacidad y Relación con el Cliente.
- **CSMA:** Acceso Múltiple con Detección de Portadora.
- **CSMA/CA:** Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Anulación de Colisiones.
- **DES:** Data Encryption Standard.
- **DSSS:** Direct Sequence Spread Spectrum.
- **DS2:** Fabricante valenciano de chip de modem PLC.
- **DTH:** Televisión Restringida por Satélite.
- **EFM:** Ethernet en la Primera Milla.
- **EMC:** Compatibilidad Electromagnética.
- **EMI:** Electromagnetic Interference.
- **ETSI:** European Telecommunications Standards Institute.
- **FEC:** Forward Error Correction.
- **FDD:** Duplexación por División de Frecuencia.
- **FSK:** Frequency-Shift Keying.
- **FCC:** Federal Communications Commission.
- **FDM:** Multiplexación por División de Frecuencia.
- **FDMA:** Acceso Múltiple por División de Frecuencia.
- **FO:** Fibra Óptica.
- **FODETEL:** Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones.
- **FSK:** Frequency-Shift Keying.
- **FTTx:** Solución **FTTx** es una expresión genérica para asignar arquitecturas de redes de transmisión de alto desempeño, basada en tecnología óptica.
- **Gateway:** Pasarela, en redes de comunicaciones.
- **HAP:** Óptica por Aire.
- **HFC:** Redes Híbridas de Fibra y Cable Coaxial.
- **HiperLAN2:** High Performance Radio Local Area Network
- **ICMP:** Protocolo de Control de Mensajes de Internet.
- **LDMS:** Local Multipoint Distribution Services
- **IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- **IP:** Internet Protocol.
- **ISO:** Organización Internacional para la Estandarización.
- **ISP:** Internet Service Provider.

- **LAN:** Local Area Network - Red de área local.
- **LMDS:** Local Multipoint Distribution Service.
- **MAC:** Control de Acceso al Medio.
- **MHz:** MegaHertz.
- **MMDS:** Servicio de Distribución Multipunto.
- **MODEM:** Modulador-Demodulador.
- **MT:** Media Tensión.
- **MVDS:** Multipoint Video Distribution System.
- **NAP:** Network Access Point.
- **NACK:** Negative Acknowledgment.
- **NGN:** Next Generation Ned.
- **OFDM:** Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales.
- **OPERA:** Open PLC European Research Alliance.
- **OSI:** Interconexión de Servicios Abiertos.
- **PHY:** Capa Física.
- **PLC:** Power Line Communication.
- **PSK:** Modulación por desplazamiento de fase.
- **PSTN:** Public Switched Telephone Network.
- **QAM:** Modulación de Amplitud en Cuadratura.
- **QPSK:** Codificación por Desplazamiento en Cuadratura.
- **QPSK:** Quadrature Phase Shifting Keying.
- **QoS:** Quality of Service.
- **VLAN:** Virtual Local Area Network.
- **RDSI:** Red Digital de Servicios Integrados.
- **REJ:** Reject, rechazo.
- **RR:** Receiver Ready.
- **S.N.I :** Sistema Nacional Interconectado.
- **SNR:** Relación del Señal a Ruido.
- **SMTP:** Protocolo Simple de Transferencia de Correo.
- **SNMP :** Simple Network Management Protocol.
- **TCP:** Protocolo de Control de Transmisión.
- **TCP/IP:** Transmission Control Protocol/Internet Protocol.
- **TDD:** Duplexación por División deTiempo.
- **TIC:** Tecnologías de la Información y Comunicación.
- **UA:** Unidades de Acondionadoras.
- **UPA:** Universal Powerline Association.
- **USB:** Universal Serial Bus.
- **UU:** Unidades de Usuario.
- **UPA:** Universal Powerline Association.
- **UR:** Unidades Repetidoras.
- **UTP:** Par trenzado sin blindaje.
- **VoD:** Video on Demand.
- **VoIP:** Voice Over Internet Protocol.
- **VPN:** Virtual Private Network.
- **WAN:** Red de Área Amplia.
- **WLL:** Wireless Local Loop.
- **WLAN:** Wireless Local Area Network.
- **WIFI:** Wireless Fidelity .
- **WIMAX:** Worldwide Interoperability for Microwave Access.
- **UMTS-3G:** Comunicaciones móviles de tercera generación.
- **ZL:** Impedancia de Carga.
- **Zo:** Impedancia Característica.

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1

- [1] <http://www.rediris.es/rediris/boletin/68-69/enfoque4.pdf>
- [2] <http://www.coit.es/publicac/publbit/bit136/cafe.pdf>
- [3] http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-31232678_ITM
- [4] http://www.ure.es/plcure/plc/pdf/la_contaminacion_de_las_ondas.pdf
- [5] http://www.unesa.es/informes_actualidad/informe_sobre_PLC.pdf
- [6] <http://www.competenciayregulacion.cl/news.php?edicion=18&news=112>
- [7] http://www.tdx.cesca.es/TESIS_URL/AVAILABLE/TDX-1104104-101718//Tavb09de23.pdf
- [8] http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/Sectorial/ComBandaAnchaOrbitel.pdf
- [9] <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=392&rank=1>
- [10] http://www.face.coop/archivos/File/Ponencias/Energia/Mariano_Iglesias.pdf
- [11] http://es.encyclopedia.msn.com/encyclopedia_761566543_3/Electricidad.html
- [12] http://dgtve.sep.gob.mx/tve/serv_edusat/manuales/pdf/energia.pdf
- [13] <http://www.dspprojects.com/docs/ARATIRI.pdf>
- [14] www.conelec.gov.ec/.../REGULACION%20CONELEC%20-%20004-01%20CALIDAD%20SERVICIO%20ELECTRICO%20DISTRIBUCION
- [15] <http://www.gratisweb.com/ingelectricista/inde7.htm>
- [16] <http://www.revistamarina.cl/revistas/2001/5/Acevedo.pdf>
- [17] http://www.etsii.uvigo.es/od/programasMaterias_05_06/304110612.pdf
- [18] <http://www.ing.unlp.edu.ar/sispot/Libros%202007/libros/cursond/clase4>
- [19] http://www.procobreperu.org/pub_red_elec01_1.htm
- [20] <http://www.conelec.gov.ec/images/normativa/CalidadDeServicio.doc>
- [21] http://jaimenvp.tripod.com/Electricidad/armonico519_pag3.htm
- [22] <http://foro.uptodown.com/archive/index.php/t-23054.html>
- [23] <http://www.aie.eu/files/PDF%20HBES%20&%20SH%20TF/PEA%200026-%20AENOR-SPAIN.pdf>
- [24] <http://vazparfotos.tripod.com/electricidad.HTM graficos>
- [25] <http://www.personal.us.es/jluque/Libros%20y%20apuntes/1995%20Transmision%20cable.pdf>
- [26] <http://www.uhu.es/diego.lopez/redes0607/NT2-REDES-06.pdf>
- [27] [www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electrica_y_electronica/conductoreselectricos/ - 71k -](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_electrica_y_electronica/conductoreselectricos/)
- [28] http://www.atinachile.cl/content/view/22512/Cinco_tipos_de_energia_limpias_versus_Energia_Nuclear.html
- [29] www.secovi.com/dvarv.html
- [30] www.ininin.com.mx/mvrtv.html
- [31] [www.codeso.com \(Mapa Cotopaxi\)](http://www.codeso.com)
- [32] <http://elepcosa.com/conocer.htm>
- [33] http://es.encyclopedia.msn.com/encyclopedia_761566543_3/Electricidad.html
- [34] http://dgtve.sep.gob.mx/tve/serv_edusat/manuales/pdf/energia.pdf
- [35] http://www.procobreperu.org/pub_red_elec01_1.htm
- [36] <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mv?xid=392&rank=1>
- [37] http://www.ure.es/plcure/plc/pdf/la_contaminacion_de_las_ondas.pdf
- [38] <http://www.gratisweb.com/ingelectricista/inde4.htm>
- [39] www.conelec.gov.ec/.../REGULACION%20CONELEC%20-%20004-01%20CALIDAD%20SERVICIO%20ELECTRICO%20DISTRIBUCION.doc

- [40] http://www.schneiderelectric.com.ar/recursos/catalogos/ilevo_equipos_de_acoplamiento.pdf

CAPÍTULO 2

ARTÍCULOS DE REVISTAS:

- [1] ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto, Líneas de Transmisión y Redes de Distribución de Potencia Eléctrica Vo 1 y Vo 2 , Editorial LIMUSA S.A.
- [2] Henry, P . “ Interference Characteristics of Broadband Power Line Communication Systems Using Aerial Medium Voltage Wires”, IEEE Communications Magazine, USA, Vol 43 N°4, 2005.
- [3] Conde, L. “ Instalación de una red LAN con tecnología PLC en una escuela del sistema de educación cubano”, Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A, Cuba, N°2, 2006.
- [4] IEEE Std 802.1Q-1999 “IEEE Standards for Local and Metropolitan Area Networks: Virtual Bridged Local Area Networks,” Mar, 1999.
- [5] <http://www.idg.es/comunicaciones/articulo.asp?id=133134>.

LIBROS

- [6] Tanebaum, Andrew.:”Computer Network”, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1996. Page 102-169
- [7] Huidrobo José M y Davis Roldán.:”Serie Telecomunicaciones REDES Y SERVICIOS DE BANDA ANCHA, Tecnología y Aplicaciones, Primera Edición, Editorial McGraw-Hill, 2005, 133-134, 255-259.
- [8] Hrasnica, H.“Broadband Powerline Communications: Network Design”, John Wiley & Sons, USA, 2004.
- [9] Dostert, K.“Powerline Communications”, Prentice Hall, USA, 2001.
- [10] Digital Communications, John G. Proakis (Ed. McGraw-Hill)

TESIS

- [11] Barreto Alexis.:”ESTUDIO Y ANALISIS DE LAS DISTINTAS TECNOLOGIAS DE ACCESO QUE UN PROVEEDOR DE SERVICIOS DE INTERNET PUEDE IMPLEMENTAR EN ECUADOR”, Tomo II, 1999, 218, 233, 257, 306.
- [12] GARRIDO, Marcela, Determinación de la calidad del producto brindada por EMELNORTE a los alimentadores de la subestación “El Retorno” Director: Ing. Víctor Orejuela Octubre 2003.
- [13] CASTILLO Julio, MARCAYATA Wilson, Estudio de la calidad de la energía eléctrica a nivel de usuario en el primario “1” de la subestación San Rafael de Cotopaxi ELEPCO.
- [14] Páez, Elizabeth “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BPL USANDO LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LAS SUBESTACIONES SAN RAFAEL Y SANGOLQUI DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.”. Mayo 2006 Director. Patricio Ortega.
- [15] Bravo, Calle “DISEÑO DE UN ISP, BASADO EN LA TECNOLOGÍA BROADBAND POWER LINE COMMUNICATION, PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A.”. Julio 2006. Director. Msc. Alex Rodríguez.
- [16] Llumiquinga, Mullo “ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA REDUNDANTE DE FIBRA OPTICA QUITO-GUAYAQUIL PARA LA RED TELCONET S.A.” Febrero 2008.
- [17] Nolvos, Paucar “DISEÑO DEL ACCESO A INTERNET USANDO LA TECNOLOGÍA PLC PARA LOS TELECENTROS DE QUITO, PAPALLACTA Y ESMERALDAS”. Diciembre 2003.

- [18] Guillen, Wilson "DISEÑO DE UN ANILLO DE FIBRA ÓPTICA PARA LA CIUDAD DE MANTA". Enero 2003.

PÁGINAS WEB:

- [19] National Communications System "Technical Information Bulletin 07-1 Broadband over PowerLines, "http://www.ncs.gov/library/tech_bulletins/2007/tib_07-01.pdf
- [20] "Prestación del servicio de distribución y comercialización", <http://www.aresp.go.cr/menu.htm>
- [21] PLC Utilities Alliance , " White Paper on Power Line Communications (PLC) 2004",http://www.puapl.com/files/upload/041021__Whitepaper_PLC_2004.pdf
- [22] The National Association for Amateur Radio, "PLC Utilities Alliance , " Utility Encounters Mixed Success in Avoiding Amateur Spectrum with BPL" <http://www.arrl.org/news/stories/2004/04/08/3/?nc=1>
- [23] Mollenkopf, Jim. "Presentation to Cincinnati IEEE Meeting", http://ieee.cincinnati.fuse.net/BPL_slideshow.pdf
- [24] National Instruments, " OFDM and Multi-Channel Communication Systems" <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3740>
- [25] Méndez, Daniel "Tecnología Powerline" <http://isa.uniovi.es/~sirgo/doctorado/powerline.pdf>
- [26] Industry Canada "Consultation Paper on Broadband over Power Line (BPL) Communication Systems" <http://rac.ca/regulatory/BPL/bpl-e.pdf>
- [27] Main net Communications, " Products and Solutions" <http://www.mainnetplc.com/mainnet/home/page.aspx?id=9>
- [28] Ambient " Products" <http://www.ambientcorp.com/pages/products.htm>
- [29] Amperion , " Products and Solutions" <http://www.amperion.com/products.asp>
- [30] Corinex , "Products" <http://www.corinex.com/web/docx.nsf/w/eng-products>
- [31] NTIA Technical Report "Potential Interference From Broadband Over Power Line (BPL) Systems to Federal Government Radiocommunications at 1.7 80MHz)"http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/bpl/finalreportadobe/ntia_bpl_report_04-413_volume_i.pdf
- [32] PLC Ventures "PLC como tecnología de última milla" <http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/eventos/milla/exposiciones/PLC2.pdf>
- [33] Mezan, Jacques, "HF Receivers desensitisation from wideband noise spurious in HF bands (1.8 to 30 MHz)" http://www.ure.es/plcure/plc/ppt/estudio_ref.ppt
- [34] Comisión Tecnológica Federachi "Verificación del nivel de Interferencia de Tecnología PLC sobre bandas de HF del Servicio de Aficionados a las Radiocomunicaciones" http://www.ure.es/plcure/plc/pdf/informe_de_federachi_pruebas_realizadas_en_chile.pdf
- [35] Ibec Systems, "BPL Testing – Nelson County, VA" <http://p1k.arrl.org/~ehare/bpl/reports/individual/K4AZV-1-10-2005.pdf>
- [36] García, Fernando "Endesa cierra en Zaragoza el servicio piloto de acceso a Internet a través del enchufe" http://www.elpais.com/articulo/portada/Endesa/cierra/Zaragoza/servicio/piloto/acceso/Internet/traves/enchufe/elpcibpor/20060202elpcibpor_1/Tes
- [37] "PLC Iberdrola" <http://www.plciberdrola.com/>
- [38] Expansión, "Iberdrola y Endesa frenan el lanzamiento de la telefonía a través de la red eléctrica"<http://www.expansion.com/edicion/exp/empresas/telecomunicaciones/es/desarrollo/999533.html>
- [39] "Broadband Over Power Lines A White Paper" <http://www.state.nj.us/rpa/BPLwhitepaper.pdf>
- [40] <http://www.ofta.gov.hk/en/ad-comm/tsac/ts-paper/ts2003p10.pdf>

- [41] http://www.geocities.com/blanca_lino/densidad.html
- [42] <http://www.elmac.co.uk/pdfs/whyPLTisbadforemc.pdf>
- [43] <http://www.uv.es/hertz/hertz/Docencia/teoria/Trasmdigital.pdf>
- [44] <http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/research/topics/emc/ay4075final.pdf>
- [45] <http://www.acma.gov.au/webwr/radcomm/frequencyplanning/spps/0311spp.pdf>
- [46] <http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2006/T-55.pdf>
- [47] http://neutron.ing.ucv.ve/comunicaciones/Asignaturas/DifusionMultimedia/Tareas%202004-3/tecn_red_acceso_OFDM.doc
- [48] Intellon Power line Communications. "Powerline Communications", <http://www.intellon.com/technology/powerlinecommunications.php>.
- [49] Consumer Powerline Communications Network. "Digital Powerline Communications", <http://www.powerlinecommunications.net>
- [50] HowStuffWorks, Inc. "How Power-line Networking Works", <http://www.howstuffworks.com/power-network.htm>.
- [51] Power Line Communications de Costa Rica S.A. "Powerline Communications", <http://www.plcsistemas.com>.
- [52] "Powerline Networking", <http://plc.qcslink.com>.
- [53] "Power Line Network Primer", <http://www.lonestarbroadband.org>.
- [54] Stenger, J. "Broadband Power Line Tutorial", <http://www.wavereport.com/tutorials/bpl.htm>.
- [55] HomePlug Powerline Alliance. "Powerline Networking" , <http://www.homeplug.org>.
- [56] Junta Administrativa de Servicios eléctricos de Cartago. "PLC", <http://www.jasec.co.cr/plc/plc.html>.
- [57] D. Little, Arthur. "White Paper on Power Line Communications (PLC) 2004", <http://www.pua-plc.com>.
- [58] Intel Corporation. "Orthogonal Frequency Division Multiplexing", www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/index.htm.
- [59] <http://www.ofta.gov.hk/en/ad-comm/tsac/ts-paper/ts2003p10.pdf>
- [60] <http://www.elmac.co.uk/pdfs/whyPLTisbadforemc.pdf>
- [61] <http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/topics/research/topics/emc/ay4075final.pdf>
- [62] <http://www.acma.gov.au/webwr/radcomm/frequencyplanning/spps/0311spp.pdf>
- [63] <http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2006/T-55.pdf>
- [64] http://neutron.ing.ucv.ve/comunicaciones/Asignaturas/DifusionMultimedia/Tareas%202004-3/tecn_red_acceso_OFDM.doc
- [65] www.mitecnologico.com/Main/TopologiasDeRed
- [66] http://genesis.uag.mx/edmedia/material/comuelectro/uni1_2_7.cfm topologia logica
- [67] www.daniellerch.com
- [68] <http://www.miguelangelmata.com/wp-content/uploads/2007/03/internet-a-traves-de-la-red-electrica-power-line-communications.pdf>
- [69] <http://electronica.tecnobita.com/2007/07/internet-por-la-red-de-220v/>
- [70] <http://www.redusers.com/noticias/el-acceso-a-internet-por-la-red-electrica-llegara-a-la-argentina-el-ano-proximo>
- [71] http://www.unesa.es/informes_actualidad/informe_sobre_PLC.pdf
- [72] http://www.plc4ever.com/media/seccions/soft/Internet_y_mucho_mas_por_el_cable_electrico.pdf
- [73] Stenger, J. "Broadband Power Line Tutorial", <http://www.wavereport.com/tutorials/bpl.htm>.
- [74] <http://www.wavereport.com/tutorials/bpl.htm>.
- [75] "Powerline Networking", <http://plc.qcslink.com>.
- [76] Power Line Communications de Costa Rica S.A. "Powerline Communications"
- [77] <http://www.plcsistemas.com>.
- [78] Intellon Power line Communications. "Powerline Communications"

- [79] <http://www.intellon.com/technology/powerlinecommunications.php>.
- [80] Intel Corporation. "Orthogonal Frequency Division Multiplexing"
- [81] www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/index.htm.
- [82] <http://www.pua-plc.com>.
- [83] <http://www.jasec.co.cr/plc/plc.html>.
- [84] http://www.fcc.gov/cgb/consumerfacts/spanish/sp_interference.html
- [85] <https://www.arrl.org/forms/development/donations/bpl/>
- [86] TecnoCom. "Power Line Communications", www.tecnocom.biz.
- [87] http://www.tdx.cesca.es/TESIS_URL/AVAILABLE/TDX-1104104-101718//Tavb09de23.pdf
- [88] Consumer Powerline Communications Network. "Digital Powerline
- [89] Communications", <http://www.powerlinecommunications.net> .
- [90] Las Telecomunicaciones en el Ecuador: Situación Actual y Perspectivas
- [91] Ing. Bernardo Morales bmorales@conatel.gov.ec
- [92] <http://www.iberdrola.es/ovc/html/micrositePLC/index.html>
- [93] http://www.ist-opera.org/drupal2/files/OP2_WP2_D15_1.pdf
- [94] www.pua-plc.com
- [95] www.upapl.org
- [96] www.homeplug.com
- [97] http://www.fcc.gov/oet/tac/TAC_III_04_17_03/Power_Line_Communications.ppt
- [98] <http://www.ekopl.net/en/downloads/FAQS.pdf>
- [99] <http://www.ist-opera.org/>
- [100] <http://www.etsi.org>.
- [101] <http://www.ipcf.org/>
- [102] <http://www.schneider-electric.com.ar/recursos/revistaconecta/03/13.htm>
- [103] http://www.fcc.gov/oet/tac/TAC_III_04_17_03/Power_Line_Communications.ppt
- [104] www.idg.es/comunicaciones/mainart.asp?artid=121622
- [105] ENDESA: www.plcendesa.es
- [106] PLCFORUM: www.plcforum.org www.ascom.com
- [107] MAIN.NET www.mainnet.co.il
- [108] NAMS: www.nisko-metering.com
- [109] UNION FENOSA: www.unionfenosa.es
- [110] RWE: www.rwe-powerline.de/en/we/index.htm
- [111] Ilevo: <http://www.ilevo.com/>
- [112] Itrancomm <http://www.itrancomm.com/>
- [113] <http://www.powerline.com/>
- [114] <http://www.enersisplc.cl/>
- [115] <http://www.enersisplc.cl/>
- [116] www.ntia.doc.gov.
- [117] ETSI PLT es: <http://portal.etsi.org/plt/Summary.asp>
- [118] <http://www.cenelec.org>
- [119] <http://www.upapl.org>
- [120] http://www.idg.es/pcworld/index.asp?link=estructura/i_articulo_centroArticulo.asp&IdArticulo=135004
- [121] <http://www.idg.es/comunicaciones/articulo.asp?seccion=acceso&id=133133>
- [122] http://ejecutivosdefinanzas.org.mx/articulos.php?id_sec=30&id_art=406&num_page=1229
- [123] <http://www.supertel.gov.ec/telecomunicaciones/poblacion.htm>

CAPÍTULO 3

- [1] <http://www.coit.es/publicac/publbit/bit140/36-38.pdf>
- [2] http://www.corp.att.com/latin_america_es/docs/20061106-2-es.pdf
- [3] http://www.iworld.com.mx/iw_Opinions_read.asp?IWID=45

- [4] <http://www.coetc.org/diversos/publicacions/telecos/16/revolucion.htm>
- [5] <http://edukaposmo.blogspot.com/2005/08/tiene-un-mensaje-nuevo.html>
- [6] <http://eprints.rclis.org/archive/00000521/01/06PedroLC3%B3pezSynergias.pdf>
- [7] <http://www.redestelecom.es/Reportajes/200711080033/La-convergencia-redefine-las-telcos.aspx>
- [8] http://www.ucv.ve/cifi/Paginas/Cifi_Indice/Revista9n1/Articulo/art4.htm
- [9] Sociedad ecuatoriana y CONATEL, “Libro Blanco de la sociedad de la Información”.
- [10] http://www.conatel.gov.ec/website/conectividad/sociedad.php?cod_cont=280
- [11] http://www.mincomunicaciones.gov.co/mincom/src/user_docs/Archivos/Sectorial/ComBandaAnchaOrbitel.pdf
- [12] <http://bandaancha.eu/articulo/6175/ibm-sigue-confiando-plc-dar-banda-ancha-entorno-rural>
- [13] <http://bandaancha.eu/articulo/6175/ibm-sigue-confiando-plc-dar-banda-ancha-entorno-rural>
- [14] <http://www.competenciayregulacion.cl/news.php?edicion=18&news=112>
- [15] <http://www.conatel.gov.ec/website/baselegal/baselegal.php>

CAPÍTULO 4

- [1] HowStuffWorks, Inc. “How Power-line Networking Works”,
<http://www.tecnocom.biz/docs/plctecnocom.pdf>
- [2] <http://www.enersearch.com/knowledgebase/publications/theses/PowerlineCom.pdf>
- [3] <http://www.powerlinecommunications.net/powerlineglossary.htm>
- [4] <http://www.howstuffworks.com/power-network.htm>.
- [5] [http://www.amazon.com/s/002-2486813-9136037?ie=UTF8&search
alias=electronics-aps&field](http://www.amazon.com/s/002-2486813-9136037?ie=UTF8&search_alias=electronics-aps&field)
- [6] <http://www.corinex.com/>
- [7] http://www.conatel.gov.ec/website/noticias/destacados/BOLETIN_INAUGURACION_TELECENTRO.pdf
- [8] http://www.telnetri.es/fileadmin/user_upload/hojas_producto/COP/23_SWITH_OPT%20Rev%2012-03.pdf
- [9] [http://www.comprandodirecto.com/cdir/cdir.pl?dist=ELYTE&edist=mail.com&act
ion=view_category&database=Redes&category=7](http://www.comprandodirecto.com/cdir/cdir.pl?dist=ELYTE&edist=mail.com&action=view_category&database=Redes&category=7)
- [10] <http://www.telnet-ri.es/download/preventa/FO-COPFTTH/CursoFOv1/CursoFO-2-Cables.pdf>
- [11] <http://www.vertex.com.ar/3com.html>
- [12] <http://www.ufps.edu.co/cisco/docs/8/hojapresentacioncatalyst1900.pdf>
- [13] http://www.lan-products.com/media_converters_multi_es.htm
- [14] <http://www.apcnet.com.mx/3com/superstack.htm>
- [15] [http://www1.la.dell.com/content/products/compare.aspx/sanet_switch?c=cl&cs=
clbiz1&l=es&s=biz](http://www1.la.dell.com/content/products/compare.aspx/sanet_switch?c=cl&cs=clbiz1&l=es&s=biz)
- [16] <http://braincorp.hostingven.com/Tienda/cisco-m-94.html>
- [17] <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/1013/3/T10802CAP5.pdf>
- [18] [http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/comercial/products/routers_switches/
index.html](http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/comercial/products/routers_switches/index.html)
- [19] http://www.ciao.es/3Com_Switch_4210_PWR_24__1137351
- [20] <http://www.arqhys.com/construccion/instalacion-fibraoptica.html>
- [21] [http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1052/2/T10859CAP
4.pdf](http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1052/2/T10859CAP4.pdf)
- [22] http://www.construmatica.com/bedec/f/14554/8/KP4A_01
- [23] [http://www.transitionspanish.com/TransitionNetworks/Learning/Whitepaper/Savi
ng.aspx](http://www.transitionspanish.com/TransitionNetworks/Learning/Whitepaper/Saving.aspx)
- [24] <http://www.configurarequipos.com/doc1031.html>

- [25] <http://www.ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Fibra%20optica/mpr-0351.pdf>
- [26] http://www.nexoscom.com/vpnfirewalls_3_1_e.htm?sessionid=88119273201
- [27] <http://www.nexoscom.com/patchpanel552e.htm?sessionid=22948328184429291>
- [28] http://www.blackbox.es/products/browse_products/browse_products.jsp?FOLDER%3C%3Efolder_id=2534374302032020&PRODUCT%3C%3Eprd_id=845524441766324&bmUID=1236561961220&bmLocale=es_ES
- [29] http://www.corinex.com/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&categoryid=4&keywordmanufacturer_id=0&Itemid=87&orderby=product_sku
- [30] <http://www.corinex.com/product/5.html>
- [31] <http://www.miscascos.com/tienda-l/070300/EQUIPOS-PLC-DE-ALTA-VELOCIDAD.html>
- [32] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_PLC_manufacturers
- [33] http://www.amazon.com/s/qid=1231731380/ref=sr_pg_5?ie=UTF8&rs=172282&keywords=powerline&rh=n%3A172282%2Ck%3Apowerline&page=5
- [34] http://plugtek.com/manufacturers/powerline_products_manufacturers.shtml
- [35] http://www.conatel.gov.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=152&Itemid=164 Plan Nacional de Frecuencias

EMPRESA	DIRECCIONES
1. Ambient Corp	http://www.ambientcorp.com/plc.html
2. Adaptive Networks	http://www.adaptivenetworks.com
3. Amperion Inc.	http://www.amperion.com
4. Ascom Powerline Communications	http://www.ascom.com
5. Asoka USA Corporation	http://www.asokausa.com
6. Aztech Systems Ltd	http://www.aztk.com/employment.html
7. Belkin Corporation	http://www.belkin.com/uk/
8. Corinex Communications	http://www.corinex.com
9. Current Technologies, LLC	http://www.currenttechnologies.com
10. Devolo AG	http://www.devolo.co.uk
11. Design of Systems on Silicon	http://www.ds2.es
12. Dese	http://www.dese.ar
13. EBA	http://www.ebapl.com
14. Enikia	http://enikia.com
15. Intellon Corporation	http://www.intellon.com
16. Main net Communications	http://www.mainnet-plc.com
17. Matsushita Electric Industrial	http://www.plctalk.com
18. Mitsubishi Electric Corporation	http://www.mitsubishi_plc.com
19. Multi Source	http://www.multi-source.ca
20. Netgear Inc.	http://www.netgearplc.com
21. Packard Bell	http://www.packardbell_plc.com
22. PowerWAN Inc.	http://www.powerwan-plc.com
23. Sagem S.A.	http://www.sagem.com
24. Schneider Electric Powerline	http://www.schneiderpowerline.com
25. Spidcom Technologies S.A.	http://www.spidcomtechplc.com
26. Sumitomo Electric Industries, Ltd	http://www.sumitomoei.com
27. ST&T	http://www.stt.com
28. Tecnom	http://www.tecnocom.com
29. Telkonet Inc.	http://www.telkonetplc.com
30. Ytran	http://www.ytranplc.com
31. Xeline	http://www.xeline.com

ANEXOS