



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA.
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA.

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE TELEMEDICIÓN
UTILIZANDO TECNOLOGIA BPL, PARA LA EMPRESA
ELECTRICA RIOBAMBA S.A., SUBESTACIÓN N° 4,
ALIMENTADOR N° 3.”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del título de

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

Presentado por:

VERÓNICA ELIZABETH YANQUI USHIÑA

RIOBAMBA - ECUADOR

2010

AGRADECIMIENTOS

A todos mis profesores por haberme brindado el conocimiento y enseñanzas a lo largo de mi formación profesional y personal.

A mi director de tesis Ing. Renato Barragán por haberme brindado su tiempo y sus conocimientos para realizar este proyecto, así como su amistad.

Verónica

DEDICATORIA

A Dios por permitirme existir, por no dejarme caer, por darme fe y esperanza de un mejor mañana. Por que sin él no sería nada.

A la memoria de mi Padre por haberme brindado su infinito amor, y con su ejemplo de tenacidad y valor me ha permitido lograr mis objetivos.

A mi Madre, abuelita y hermanos por su amor, apoyo incondicional y por compartir conmigo sueños e ilusiones.

Verónica

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Romero Rodríguez	-----	-----
DECANO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA		
Ing. Paúl Romero.	-----	-----
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA		
Ing. Renato Barragán.	-----	-----
DIRECTOR DE TESIS		
Ing. Paúl Romero.	-----	-----
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		
Lic. Carlos Rodríguez.	-----	-----
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DOCUMENTACION		
NOTA DE LA TESIS	-----	

“Yo, VERÓNICA ELIZABETH YANQUI USHIÑA, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y, el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.”

Verónica Elizabeth Yanqui Ushiña.

AUTOR.

ÍNDICE

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL.

1.1.	ANTECEDENTES.	17
1.2.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	19
1.3.	OBJETIVOS.	20
1.3.1.	Objetivos Generales.	20
1.3.2.	Objetivos Específicos.	20
1.4.	HIPÓTESIS.	21

CAPÍTULO II

SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

2.1.	INTRODUCCIÓN.	22
2.2.	ETAPAS Y ELEMENTOS.	23
2.2.1.	Etapa de Generación.	24

2.2.1.1	Elementos	24
2.2.2.	Etapa de Transmisión.....	25
2.2.2.1.	Elementos.....	25
2.2.2.2.	Clasificación de las líneas de transporte.....	26
2.2.3.	Etapa de Distribución.....	27
2.2.3.1.	Elementos.....	28
2.2.4.	Etapa de Consumo	28
2.3.	ESTRUCTURA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO	29
2.3.1.	Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).....	29
2.3.2.	Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)	29
2.3.3.	Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC).....	29
2.3.4.	Corporación Nacional de Electricidad (CNEL).....	30
2.4.	DESCRIPCIÓN EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.	31
2.4.1.	Antecedentes.....	31
2.4.2.	Reseña histórica.	31
2.4.3.	Accionistas.....	32
2.4.4.	Organigrama estructural.	33
2.4.5.	Área de servicio.	33
2.4.6.	Características Técnicas.....	34
2.4.6.1.	Generación	34
2.4.6.2.	Red de Transmisión	35
2.4.6.3.	Red de Subtransmisión	36
2.4.6.4.	Subestaciones.....	37
2.4.6.5.	Red de Distribución	38
2.5.	SUBESTACIÓN N°4 (TAPI).....	39
2.5.1.	Descripción	39

2.5.2.	Ubicación	39
2.5.3.	Capacidad y Componentes.....	40
2.5.4.	Descripción del Alimentador A 3/4	40
2.5.5.	Diagrama unifilar de la Subestación N° 4	41
2.6.	TRANSMISIÓN DE DATOS SOBRE LINEAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	41
2.6.1.	Parámetros Eléctricos	42
2.6.2.	Constante de Propagación.....	44

CAPITULO III

ESTUDIO DE LA TECNOLOGIA BROADBAND OVER POWER LINE (BPL)

3.1.	INTRODUCCIÓN.....	45
3.2.	EVOLUCIÓN	46
3.3.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA BROADBAND OVER POWER LINE	48
3.3.1.	Definición	48
3.3.2.	Frecuencia utilizada por BPL	49
3.3.3.	Velocidad de transmisión.....	49
3.3.4.	Funcionamiento.	50
3.3.5.	Ventajas	51
3.3.6.	Desventajas	53
3.4.	COMPONENTES DE LA RED BPL.....	55
3.4.1.	Componentes Activos	55
3.4.1.1.	Nodo cabecera o HE (Head End).....	55
3.4.1.2.	Nodo Repetidor o IR (Intermediate Repeater).....	56
3.4.1.3.	Nodo Usuario o C P E (Customer Premises Equipment)	57
3.4.2.	Componentes Pasivos	58
3.4.2.1.	Acopladores para líneas eléctricas	58
3.5.	DESPLIEGUE DEL SISTEMA BPL EN LA RED ELÉCTRICA	60

3.5.1.	Sistema Outdoor	60
3.5.2.	Sistema Indoor	61
3.6.	CAPA FISICA	63
3.6.1.	Capa Física en el Modelo OSI	63
3.6.2.	Canal de comunicaciones.....	63
3.6.2.1.	Capacidad del Canal	64
3.6.2.2.	Tipos de ruido del canal.....	66
3.6.3.	Transmisión de la señal.....	67
3.6.3.1.	Unidad de Acondicionamiento HFPCN (High Frequency Conditioned Power Network)	68
3.6.4.	Modulaciones empleadas	69
3.6.4.1.	GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)	70
3.6.4.2.	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	70
3.6.4.3.	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	71
3.6.4.3.1.	Funcionamiento de OFDM	73
3.6.4.3.2.	Ortogonalidad	74
3.6.4.3.3.	Ventajas de OFDM	75
3.7.	CAPA ENLACE DE DATOS.	77
3.7.1.	Formato de trama BPL.....	78
3.8.	EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS	80
3.8.1.	Compatibilidad Electromagnética (EMC)	80
3.9.	ESFUERZOS DE ESTANDARIZACIÓN	81
CAPÍTULO IV		
DISEÑO DE LA RED DE TELEMEDICIÓN PARA LA EMPRESA ELECTRICA RIOBAMBA S.A., SUBESTACION N° 4, ALIMENTADOR N° 3		
4.1.	CONSIDERACIONES DE EVALUACIÓN.....	85

4.1.1.	Aspectos Técnicos	86
4.1.2.	Aspectos Financieros	86
4.1.3.	Sostenibilidad.....	87
4.2.	ANÁLISIS DE EQUIPOS	88
4.2.1.	Principales Proveedores de Equipos BPL.....	88
4.2.2.	Evaluación de Alternativas	89
4.2.3.	Definición del Proveedor de Equipos BPL.....	90
4.3.	DESCRIPCIÓN DE LA CONFORMACIÓN DE LA RED TELEMEDICIÓN. 90	
4.3.1.	Análisis de la Infraestructura de la Red Eléctrica.....	90
4.3.2.	Elementos del Sistema de telemedición.....	92
4.3.2.1.	Head End (HE) o Nodo Cabecera.....	92
4.3.2.2.	Home Gateways o Repetidor	94
4.3.2.3.	Customer Premise Equipment (CPE) o Equipo cliente	95
4.3.2.4.	Descripción de las características técnicas de los equipos BPL	96
4.3.3.	Análisis de transformadores.....	99
4.4.	TOPOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA RED DE TELEMEDICIÓN.	99
4.4.1.	Modos de transmisión de datos de la red	101
4.5.	Diseño de la Red de Telemedición	11203
4.5.1.	Descripcion del sector.....	103
4.5.2.	Diseño del Backbone para la red de telemedición.....	104
4.5.2.1.	Estimación de la distancia.....	105
4.5.2.2.	Conexión de acopladores.....	1088
4.5.2.3.	Conexión Gateway de Medio Voltaje a la Red Primaria.....	110
4.5.3.	Red de Distribución y Acceso	112
4.5.3.1.	Especificación del Sector.....	112
4.5.3.2.	Red de Distribución	112

4.5.3.3. Red de Acceso 1124

CAPÍTULO V

PRESUPUESTO

5.1. INTRODUCCIÓN..... **¡Error! Marcador no definido.**16

5.2. Modelos de Servicio. **¡Error! Marcador no definido.**17

5.2.1. Operador Global. **¡Error! Marcador no definido.**17

5.2.2. Sociedad de Servicios Compartidos. **¡Error! Marcador no definido.**17

5.2.3. Portador Independiente **¡Error! Marcador no definido.**18

5.3. PRESUPUESTO 1128

5.3.1. Estimación de costo de Equipos. 1168

5.3.2. Estimación de Costos de la Mano de Obra 12020

5.3.3. Sistema de Gestión..... 12121

5.3.4. Costo Total para el Diseño de la Red de Telemedición..... 12121

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMMARY

GLOSARIO

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1.	Etapas del Sistema de Suministro Eléctrico.	23
Figura II.2.	Diagrama esquematizado del sistema de suministro eléctrico.	24
Figura II.3.	Transporte de energía eléctrica a muy alta tensión.....	26
Figura II.4.	Organigrama Estructural de la EERSA.	33
Figura II.5.	Cobertura Eléctrica Nacional.....	34
Figura II.6.	Centrales de generación, S/E y líneas de subtransmisión de la EERSA. 36	
Figura II.7.	Estructura de la red eléctrica Subestación N° 4.	39
Figura II.8.	Diagrama unifilar Subestación N° 4	41
Figura II.9.	Parámetros distribuidos de una línea eléctrica.....	42
Figura III.10.	Sistema Broadband over Power Line	48
Figura III.11.	Rango de Frecuencia utilizada por BPL.....	49
Figura III.12.	Estructura de funcionamiento BPL.	51
Figura III.13.	Componentes BPL.....	55
Figura III.14.	Equipo Nodo Cabecera.....	55
Figura III.15.	Equipo Nodo Repetidor.....	56
Figura III.16.	Equipo Nodo Usuario	57
Figura III.17.	Acoplador capacitivo.....	59
Figura III.18.	Acoplador inductivo	59
Figura III.19.	Arquitectura del sistema BPL.....	60
Figura III.20.	Sistema Outdoor.....	61
Figura III.21.	Sistema Indoor.....	62
Figura III.22.	Conexión del CPE.	62
Figura III.23.	Tipos de ruido en el canal BPL.	66
Figura III.24.	Unidad de acondicionamiento HFCPN.....	66

Figura III.25. Evolución de las modulaciones empleadas.	69
Figura III.26. Señal con Modulación Adaptativa.	72
Figura III.27. OFDM frente a la modulación multi-carrier convencional	73
Figura III.28. OFDM como ahorrador de Ancho de banda.	75
Figura III.29. Trama utilizada en BPL.....	79
Figura IV.30. Infraestructura de la red eléctrica.	91
Figura IV.31 (a). Red eléctrica inteligente	93
Figura IV.31 (b). Acceso de banda ancha.....	93
Figura IV.32. Gateway bajo voltaje.....	94
Figura IV.33. Adaptador - CPE	95
Figura IV.34. Topología de una red BPL.	100
Figura IV.35 . Especificación del Sector	104
Figura IV.36. Backbone para la red de Telemedición.	105
Figura IV.37. Velocidad de transmisión en función de la distancia para el Modo1	106
Figura IV.38. Velocidad de transmisión en función de la distancia para el Modo2	107
Figura IV.39. Velocidad de transmisión en función de la distancia para el Modo3.	107
Figura IV.40. Distancias y Modos entre Gateways de Medio Voltaje.	108
Figura IV.41 (a). Conexión de acopladores capacitivos.....	109
Figura IV.41 (b). Conexión de acopladores capacitivos.....	110
Figura IV.42. Conectores Gateway Medio Voltaje.	111
Figura IV.43. Instalación Gateway medio voltaje a la red primaria.....	111
Figura IV.44. Sector de estudio.	112
Figura IV.45. Conexión del Gateway MV a la red secundaria.....	113
Figura IV.46. Conexión del Gateway de bajo voltaje.....	114
Figura IV.47. Conexión del medidor de energía eléctrica.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1.	Accionistas de la EERSA.....	32
Tabla II.2.	Centrales de generación instaladas en la EERSA.	35
Tabla II.3.	Subestaciones de distribución de la EERSA.....	37
Tabla II.4.	Alimentadores Primarios de la EERSA.	38
Tabla II.5.	Alimentadores Secundarios de la EERSA.	38
Tabla III.6.	Estimación de la capacidad de canal BPL en la red de Acceso.....	66
Tabla IV.7.	Modos de transmisión.....	105
Tabla IV.8.	Velocidad de transmisión considerando el ruido.....	108
Tabla V.9.	Costos de Equipos para el backbone de la red.....	116
Tabla V.10.	Costos de Equipos para la red de distribución.....	116
Tabla V.11.	Costos de Equipos para la red de acceso.	117
Tabla V.12.	Costo total de Equipos.	117
Tabla V.13.	Costo de mano de obra.....	118
Tabla V.14.	Costo de mano de obra.....	119
Tabla V.15.	Costo Total por la EERSA.....	120
Tabla V.16.	Costo del Usuario.....	120

INTRODUCCIÓN

La red eléctrica es la más extensa del mundo, está formada por miles de kilómetros de cable, llega a más de 3.000 millones de personas y ofrece servicios incluso a aquellos lugares donde no hay teléfono. Utilizar esa extensa red para la transmisión de voz y datos. Conectarse a Internet a gran velocidad y usar la línea telefónica en cualquier enchufe es una realidad tangible por medio de la tecnología Broadband over Power Line (BPL).

En la actualidad, esta tecnología nos ofrece una alternativa a la banda ancha, BPL utilizan una infraestructura ya desplegada, como son los cables eléctricos. Basta un simple enchufe para estar conectado. Además, ofrece una alta velocidad, suministra servicios múltiples con la misma plataforma y permite disponer de conexión permanente.

A primera vista, la tecnología BPL parece ofrecer ventajas con respecto a las conexiones regulares de banda ancha basadas en cable coaxial o en DSL: la amplia infraestructura disponible permitiría que las empresas eléctricas ingresen fuertemente en el campo de las telecomunicaciones.

Con el fin de conocer las ventajas y desventajas que involucraría la posible implementación de un sistema de telemedición mediante el uso de la tecnología “Broadband over Power Line”, la que es nueva para nuestro medio, se plantea la necesidad de desarrollar el presente estudio de factibilidad, el cual involucra ámbitos técnicos, regulatorios y económicos.

El presente trabajo de investigación se encuentra dividido en cinco capítulos los que se detallan a continuación:

El **CAPÍTULO I** se especifica los antecedentes, la debida justificación y los objetivos de la realización de la tesis.

El **CAPÍTULO II** hace referencia a otro elemento importante del proyecto, como lo es el análisis de la infraestructura eléctrica involucrada en el diseño de sistemas BPL. Para lo cual, inicialmente se describen las etapas y elementos de un sistema general de suministro eléctrico y luego se definen las principales características de las líneas eléctricas operando a altas frecuencias.

El **CAPÍTULO III** describe las principales características de la tecnología BPL, sus ventajas, desventajas, aplicaciones, ámbitos de servicio y las topologías de red usadas para su análisis y diseño.

En el **CAPÍTULO IV** se hará un estudio de la zona donde se realizara el diseño de la red de telemedición, como también el análisis del equipamiento de la red BPL los mismos que permitirán convertir los datos en una forma adecuada para su transmisión a través de la red BPL.

El **CAPÍTULO V** se presenta un presupuesto estimativo de los costos totales para la implementación del proyecto a futuro, incluyendo precios de los equipos a utilizarse y costos de instalación del sistema.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL.

1.1. ANTECEDENTES.

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A., consciente de los requerimientos de sus usuarios por brindarle una mejor calidad de servicio eléctrico y acorde con los últimos avances tecnológicos, ha emprendido en el estudio de una nueva tecnología que permita la transmisión de datos y que además utilice los propios recursos de la empresa eléctrica para realizar la transmisión en tiempo real.

Los sistemas de comunicaciones por onda portadora sobre cables de transmisión de energía eléctrica han sido utilizados por las empresas eléctricas desde hace más de 50 años. Originalmente fueron empleados por las mismas empresas para la transmisión de señales de comunicaciones relacionadas con sus propias necesidades, especialmente en la protección de líneas de transmisión de alta tensión, sistemas simples de telemetría,

supervisión y control del sistema; y canales especiales de voz relacionados con la operación del mismo. Las capacidades y velocidades de transmisión eran comparativamente bajas y las frecuencias de portadora generalmente se ubican alrededor de 2 MHz a 3 MHz.

Recientemente, con el desarrollo de modernas técnicas de modulación, codificación y corrección de errores extremadamente robustas se ha logrado superar sustancialmente las limitaciones del medio de transmisión lográndose velocidades de transmisión en el orden de 200 Mbps en condiciones normales, con expectativas aun mayores.

Los sistemas BPL (Broadband over Power Line) constituyen actualmente uno de los medios de transmisión de comunicaciones de alta capacidad más promisorios, debido a la alta penetración de los servicios eléctricos con respecto a los servicios de comunicación en todo tipo de áreas y comunidades de interés.

Entonces la tecnología BPL se presenta como una solución para la transmisión de datos y que además, utiliza los propios recursos de la empresa eléctrica para realizar la transmisión en tiempo real, cuya red de suministro eléctrico se caracteriza por su ubicuidad.

En la actualidad existen, o se proyectan en muchos países sistemas BPL con diferentes niveles de complejidad que se utilizan para la gestión y operación de sistemas eléctricos.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

El uso de la red eléctrica para la transmisión de datos permitirá a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., obtener datos de consumo eléctrico en tiempo real de sus clientes específicamente a los usuarios del sector “Los Álamos” los mismos que pertenecen a la Subestación N° 4, a través del Alimentador N° 3.

En estas condiciones, se plantea la necesidad de analizar una tecnología alternativa y nueva para nuestro medio, como lo es “Broadband over Power Line” (BPL), la cual se fundamenta en la prestación de servicios de banda ancha sobre una infraestructura ya desplegada, la red eléctrica de distribución de media y baja tensión.

Al ser BPL una tecnología que ofrece múltiples beneficios, las empresas eléctricas podrán ingresar fuertemente al campo de las telecomunicaciones y, lo que es mejor, sin incrementar sus costos, ya que las redes eléctricas se encuentran en funcionamiento. Y ésta tecnología se traduce en un salto cuantitativo para el desarrollo de las comunicaciones en países del tercer mundo, ya que la inversión es mínima, debido a que el tendido eléctrico existe y está en funcionamiento en todos los países de nuestro continente.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivos Generales.

- Estudiar y Diseñar una Red de Telemedición utilizando tecnología BPL para la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., Subestación N°4, Alimentador N° 3.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Investigar las características fundamentales de la tecnología BPL sus topologías de red usadas, ámbitos de servicio, ventajas, desventajas y aplicaciones.
- Analizar la infraestructura eléctrica de la Subestación N°4, Alimentador N° 3, para establecer cada uno de los requerimientos de la tecnología BPL.
- Determinar la ubicación correcta de cada uno de los elementos (Modem de Cabecera, Repetidor y Modem de Usuario) que emplea esta tecnología BPL, para el diseño de la red de telemedición.
- Realizar un presupuesto estimativo de los costos totales para la implementación del proyecto a futuro, incluyendo precios de los equipos a utilizarse y costos de instalación del sistema.

1.4. HIPÓTESIS.

A través del Estudio y Diseño de una red de Telemedición utilizando tecnología BPL para la Empresa Eléctrica Riobamba S.A, Subestación N°4, Alimentador N° 3; se pretende realizar la transmisión de datos de los medidores de energía eléctrica, mediante un estudio de la tecnología BPL y análisis de las líneas eléctricas, para determinar la factibilidad tecnológica que permitan implementar el proyecto a futuro.

CAPÍTULO II

SISTEMA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.

2.1. INTRODUCCIÓN.

Para entender el sistema BPL, es necesario conocer sobre los conceptos básicos de cómo se genera la energía y cómo funciona un sistema eléctrico, ya que este último será el principal medio de transporte para las comunicaciones.

La industria eléctrica es una industria en crecimiento continuo, debido a que la demanda de electricidad crece en forma sostenida. Esto obliga obviamente a aumentar también la generación de energía eléctrica en forma permanente. El crecimiento del sistema implica la instalación de nuevas plantas generadoras, la ampliación de las redes de transporte y distribución de energía en forma más o menos continua en el tiempo. Siendo cada uno de estas etapas gestionadas por los correspondientes organismos pertenecientes al SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO.

2.2. ETAPAS Y ELEMENTOS.

El sistema que se utiliza para proveer electricidad a todos los usuarios consta de varios subsistemas o etapas; cada una de estas etapas del sistema eléctrico hace referencia a todos los elementos, líneas e instalaciones, que comprende desde las centrales productoras hasta los propios abonados. En la Figura II.1 se puede observar un diagrama que incluye las distintas etapas del sistema de suministro eléctrico.

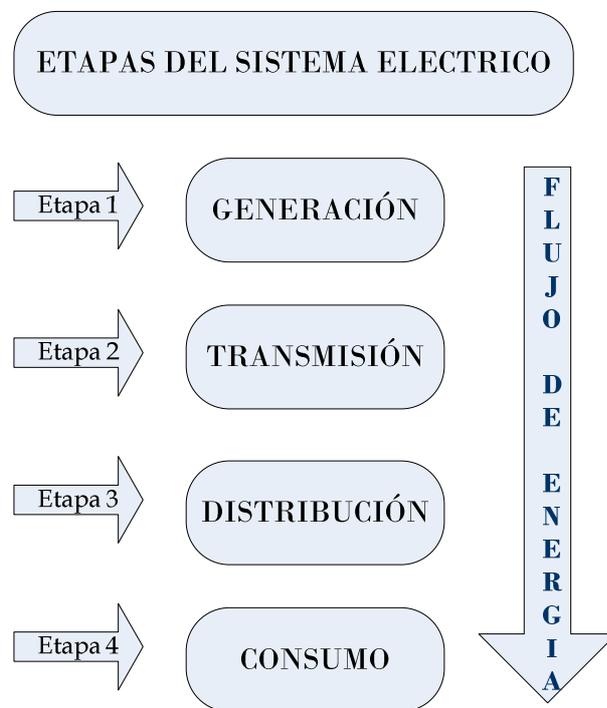


Figura II.1. Etapas del Sistema de Suministro Eléctrico.

Entonces un sistema eléctrico incluye un sistema de generación, con sus plantas generadoras y transformadores elevadores, un sistema de transmisión con sus líneas de transporte y transformadores, y un sistema de distribución, también con sus líneas y transformadores, como se indica en la Figura II.2.

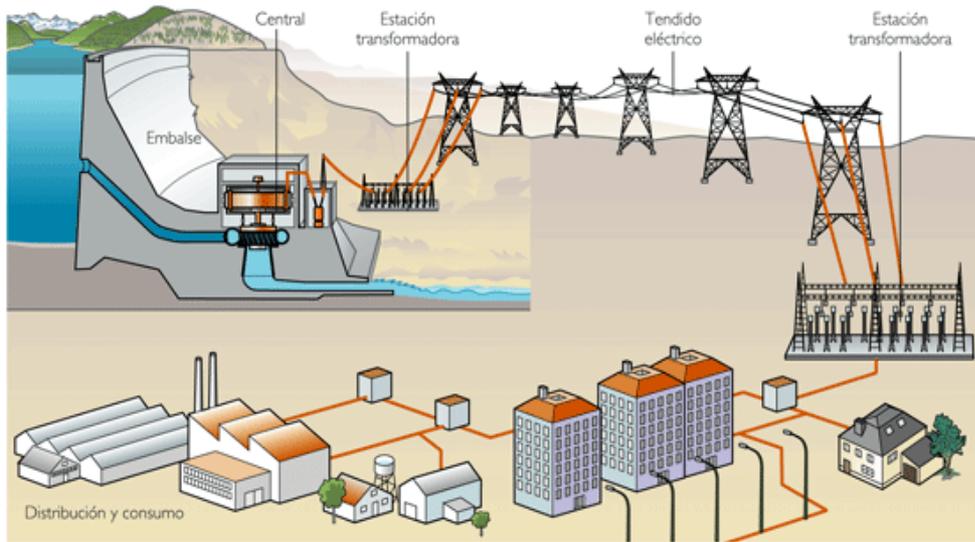


Figura II.2. Diagrama esquematizado del sistema de suministro eléctrico.

2.2.1. Etapa de Generación.

La generación consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, sea esta química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

2.2.1.1 Elementos.

Central Eléctrica. Una central eléctrica es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para hacer girar una turbina que, a su vez, hace girar un alternador, que produce energía en corriente alterna sinusoidal.

La *turbina* es una máquina rotativa que convierte la energía primaria obtenida de la naturaleza en energía mecánica cinética.

El *alternador* es el elemento en el que, gracias al principio de inducción electromagnética, se transforma la energía mecánica cinética que recibe del eje de la turbina en energía eléctrica.

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

2.2.2. Etapa de Transmisión.

Una vez producida la energía eléctrica, se hace necesario adecuarla para el transporte a largas distancias permitiéndonos así unir eléctricamente las centrales generadoras con las instalaciones de abonado.

2.2.2.1. Elementos.

Estaciones Elevadoras. Las Estaciones Elevadoras permiten aumentar la tensión procedente de las centrales generadoras, hasta valores de muy alta tensión.

Líneas de transporte. Una línea de transporte de energía eléctrica es el medio físico mediante el que se realiza la transmisión de la energía a grandes distancias; con estructura de forma mallada que permite transportar electricidad entre puntos muy alejados, en cualquier sentido y con las menores pérdidas posibles.

El transporte de corriente eléctrica alterna es más económico a muy alta tensión, las razones para esta elevación de la tensión se encuentran en la relación entre la potencia, la tensión y la intensidad de corriente. Un aumento de potencia significa un aumento de la intensidad que circula por la línea, y por tanto, aumentan las pérdidas por

calentamiento de los conductores y por efectos electromagnéticos. Además, una mayor intensidad de corriente requiere de conductores de mayor sección, y en consecuencia, con un mayor peso por unidad de longitud. Por este motivo, para mantener la potencia de la línea y minimizar la intensidad de corriente se aumenta la tensión.

2.2.2.2. Clasificación de las líneas de transporte.

Transmisión Aérea. Es el esquema más utilizado por su menor costo y construcción menos complicada. Una línea de transmisión aérea está constituida por los conductores, las estructuras de soporte, los aisladores y accesorios para sujetar los conductores a las estructuras de soporte como se muestra en la Figura II.3. Adicionalmente las líneas de alta tensión requieren cables de guarda para proteger la línea de las descargas directas de los rayos.



Figura II.3. Transporte de energía eléctrica a muy alta tensión.

La altura mínima a la que deben estar colocadas las líneas aéreas de transmisión debe ser mayor que 12 metros, con el propósito de evitar cortocircuitos y accidentes que afecten a los habitantes de las zonas cercanas.

Transmisión subterránea. Es el esquema empleado en grandes ciudades, donde las líneas aéreas constituyen un peligro por encontrarse junto a los conductores de alumbrado y teléfono. El transporte de la energía se realiza a través de tubos o ductos empotrados a más de un metro de profundidad bajo el nivel de piso.

2.2.3. Etapa de Distribución.

En esta fase tiene lugar la reducción de muy alta tensión a alta y media tensión. En este nivel de tensión tiene lugar la distribución de la energía eléctrica entre todos los centros de transformación, que sirven de enlace con los usuarios finales. En esta etapa se pueden diferenciar dos redes diferentes:

Red de reparto. Es el tramo que partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía mediante una topología de anillo que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las subestaciones transformadoras de distribución. El nivel de voltaje de esta línea es 69 kV, por lo que corresponden a media tensión.

Red de distribución. Define una red de topología tipo radial que cubre la superficie de los centros de consumo, permite enlazar las subestaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación. Las línea de distribución empleada en este tramo maneja un voltaje de 13.8 kV y corresponden a la última etapa del suministro en media tensión.

2.2.3.1. Elementos.

Subestaciones transformadoras. Son idénticas constructivamente hablando a las estaciones elevadoras pero hacen el proceso inverso, realizan una primera reducción de la tensión.

Líneas de reparto. Transportan la energía eléctrica desde las Subestaciones de transmisión hasta las estaciones de distribución. Trabajan siempre en alta tensión.

Estaciones de distribución. Son instalaciones conformadas por transformadores y circuitos de transmisión que realizan una reducción de la tensión.

Líneas de distribución en media tensión. Transportan la energía desde las estaciones de distribución hasta los centros de transformación.

Centros de transformación. Se encargan de reducir la media tensión en baja tensión, para que puedan ser usadas por los usuarios finales.

2.2.4. Etapa de Consumo

Acometida

Es la parte de la instalación del suministro eléctrico comprendida entre la red de distribución pública en baja tensión y el cuadro general de protección del abonado.

2.3. ESTRUCTURA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO

2.3.1. Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)

El CONELEC tiene como funciones principales la planificación para el desarrollo del sector eléctrico, así como también proveer información y ejercer todas las actividades de regulación y control definidas por la Ley de Régimen del Sector Eléctrico.

2.3.2. Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)

El CENACE tiene la responsabilidad de realizar la administración técnica y financiera de la importación y exportación de electricidad que se realice en el Mercado Eléctrico Mayorista.

2.3.3. Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC)

La CELEC asumió, a partir del mes de marzo del 2009, los plenos derechos y obligaciones para operar en el Sector Eléctrico Nacional como empresa generadora de electricidad, luego de suscribir un contrato de licencia con el CONELEC. Uno de los objetivos fundamentales de la CELEC es concretar los proyectos de expansión y enfrentar el desafío de ejecutar la construcción de los nuevos proyectos de generación hidroeléctrica.

La CELEC está integrada por seis empresas estatales, cinco de generación (Hidropaute, Hidroagoyán, Electroguayas, Termoesmeraldas y Termopichincha. Ver Anexo 1), más la empresa transmisora de electricidad Transelectric S.A. Las seis empresas pasan a convertirse en Unidades de Negocio, cuya misión es, generar y transmitir energía eléctrica al menor costo, garantizando un suministro de calidad.

CELEC-Transelectric S.A.

Para cumplir con algunas de las disposiciones de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico Ecuatoriano, se creó la empresa transmisora Transelectric S.A., la cual se encarga de planificar, operar y mantener el Sistema Nacional de Transmisión S.N.T.; por consiguiente, su actividad principal es la transmisión de energía desde las fuentes de producción hasta los centros de consumo dentro del territorio ecuatoriano.

En el año pasado, Transelectric S.A. se integró a la nueva estructura empresarial de la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) y pasa a convertirse en Unidad de Negocio (CELEC Transelectric), con la misión fundamental de transmitir energía eléctrica a menor costo con suministro de calidad.

Las líneas de transmisión de CELEC-Transelectric, están dispuestas en un anillo troncal de 230 kV cuyo recorrido cierra el circuito Molino (Paute) – Milagro - Pascuales (Guayaquil) – Quevedo - Sto. Domingo - Santa Rosa (Quito) - Totoras (Ambato) - Riobamba - Molino (Paute); de dichas subestaciones se derivan líneas radiales a 230 y 138 kV para unir el resto de subestaciones que también cumplen la función de receptor y entregar la energía generada y a consumirse respectivamente; con esto se completa el sistema nacional de transmisión (Ver Anexo 2).

2.3.4. Corporación Nacional de Electricidad (CNEL).

La CNEL asumió, a partir del mes de marzo del año 2009, los plenos derechos y obligaciones para operar en el sector eléctrico nacional como empresa distribuidora de electricidad, luego de suscribir un contrato de licencia con el CONELEC.

Las distribuidoras, tienen como función principal suministrar energía a los clientes dentro de su área de concesión, para la cual deben proveerse de la energía ya sea por medio de la compra en el Mercado Eléctrico Mayorista (utilizando las subestaciones y líneas de transmisión y subtransmisión de CELEC-Transelectric), o por aprovisionamiento con generación propia (en especial en los sistemas de distribución que no están conectados al S.N.I.).

2.4. DESCRIPCIÓN EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.

2.4.1. Antecedentes.

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A. es una empresa ecuatoriana de servicio cuya misión es generar, distribuir y comercializar energía eléctrica, mediante una gestión transparente y de calidad, para satisfacer y superar las demandas de sus clientes, promoviendo la protección del medio ambiente, contribuyendo al desarrollo socio-económico de la Provincia del Chimborazo.

2.4.2. Reseña histórica.

El crecimiento de la ciudad y de las necesidades de servicio eléctrico, promovió la evolución de la empresa, la que modificó varias veces su denominación y propietarios a lo largo de los años. Así en año de 1903 se funda la primera Sociedad "Alberto Rhor y Cía." que se encargaría de comercializar energía eléctrica, la cual quiebra en 1907. Para el año 1911 se funda la sociedad Anónima Riobamba Electric Ligth and Power. En 1924 se crea "La Hidroeléctrica" siendo uno de los socios Hirman Foley, apoderado

de la Empresa Eléctrica del Ecuador Inc., empresa que se encargó algunos años de la distribución de energía eléctrica. En 1953 se conforma la Empresa de Electrificación Chimborazo S.A., hasta que el 3 de abril de 1963, nace la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., quien compra todos los derechos a la Empresa de Electrificación Chimborazo S.A. logrando estructurarse como una empresa sólida.

2.4.3. Accionistas.

En la Tabla II.1, se detalla los accionistas y su porcentaje de participación en la EERSA.

Tabla II.1. Accionistas de la EERSA.¹

Accionista	Porcentaje
I. Municipio de Riobamba	11.39%
H. Consejo Provincial	22.98%
I. Municipio de Guano	3.88%
I. Municipio de Colta	2.23%
I. Municipio de Guamote	5.25%
I. Municipio de Alausi	2.07%
I. Municipio de Chunchi	2.16%
I. Municipio de Penipe	2.20%
I. Municipio de Pallatanga	1.96%
I. Municipio de Chambo	1.30%
Fondo de Solidaridad	44.58%

¹ Fuente: Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

2.4.4. Organigrama estructural.

La organización y administración interna de la empresa se desarrolla de acuerdo al siguiente diagrama estructural indicado en la Figura II.4.

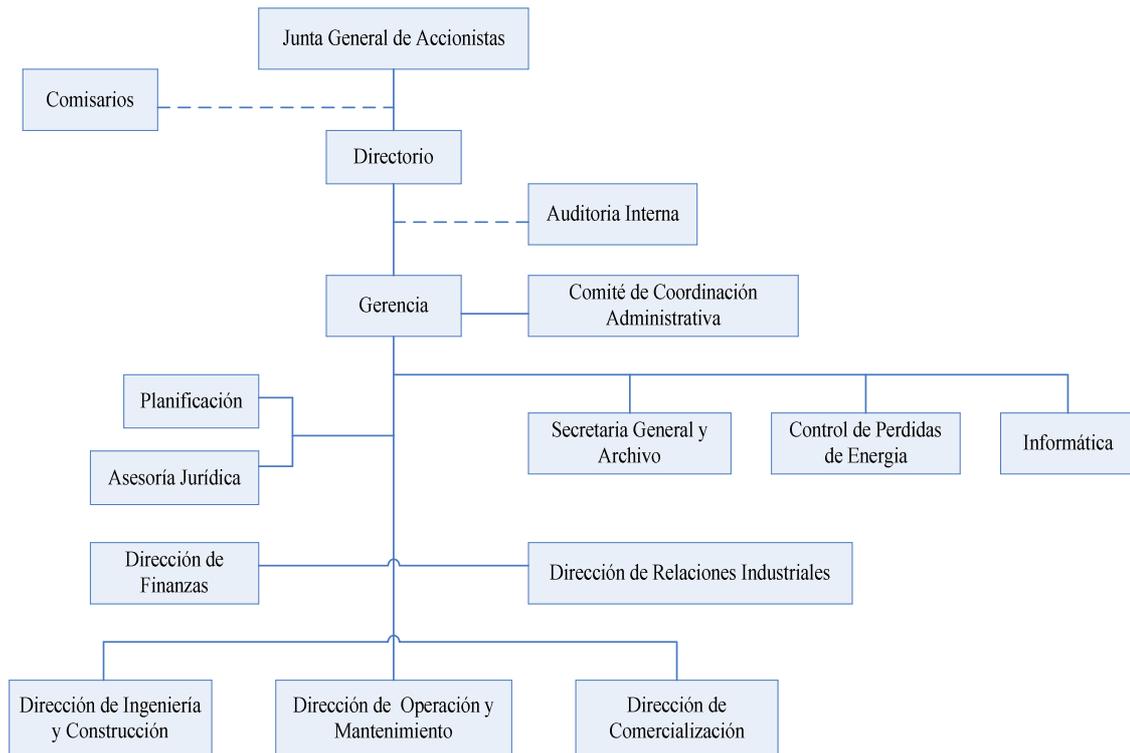


Figura II.4. Organigrama Estructural de la EERSA.

2.4.5. Área de servicio.

El área de servicio de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., que corresponde a toda la provincia de Chimborazo es del 97% es decir cubre 5.940 km², lo cual pertenece al 2,3% del territorio ecuatoriano, como indica en la siguiente Figura II.5.



Figura II.5. Cobertura Eléctrica Nacional

2.4.6. Características Técnicas

2.4.6.1. Generación

La EERSA cuenta con un parque generador propio de origen hidroeléctrico y térmico con una potencia nominal total de 16,337 MW; las mismas que se encuentran conectadas al sistema de Subtransmisión y Distribución. Las Centrales con sus características se describen en la Tabla II.2.

Tabla II.2. Centrales de generación instaladas en la EERSA.²

Central	Tipo Central	Unidad	Voltaje (kV)		Potencia (kW)	
			Nominal	Interconexión	Nominal	Efectiva
Alao	Hidráulica	Grupo 1	2,4	44	2600	2500
Alao	Hidráulica	Grupo 2	2,4	44	2600	2500
Alao	Hidráulica	Grupo 3	2,4	69	2600	2500
Alao	Hidráulica	Grupo 4	2,4	69	2600	2500
Rio Blanco	Hidráulica		6	13,8	3125	3000
Nizag	Hidráulica		0,48	13,8	312	300
Riobamba	Térmica MCI		4,16	13,8	2500	2000

Las centrales Alao, Rio Blanco, Riobamba están conectadas al Sistema Nacional Interconectado y su producción es entregada al Mercado Ocasional, mientras que la generación de la central Nizag que está aislada del Sistema Nacional Interconectado se vende directamente a sus clientes.

2.4.6.2. Red de Transmisión

La empresa de Transmisión Eléctrica del Ecuador Transelectric S.A., tiene bajo su administración la subestación Riobamba de tipo reductor de voltaje que constituye el punto de entrega en bloque del Sistema Nacional Interconectado con una línea de 230Kv, Ver Anexo 2.

² Fuente: Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

2.4.6.3. Red de Subtransmisión

El Sistema Eléctrico de la Empresa Eléctrica Riobamba, se encuentra formado por el sistema de Subtransmisión a 69kV tiene una longitud aproximada de 134 Km, el cual está conectado al Sistema Nacional Interconectado, a través de la Subestación Riobamba perteneciente a Transelectric.

La línea de 69kV interconecta las subestaciones de distribución, los puntos de alimentación desde las centrales de generación y la Subestación Riobamba junto con las subestaciones N°1 (Chibunga), N°2 (Maldonado), N°3 (Parque Industrial), N°4 (Tapi), que conforman un anillo que encierra básicamente toda la zona urbana de la ciudad de Riobamba como se indica en la Figura II.6.

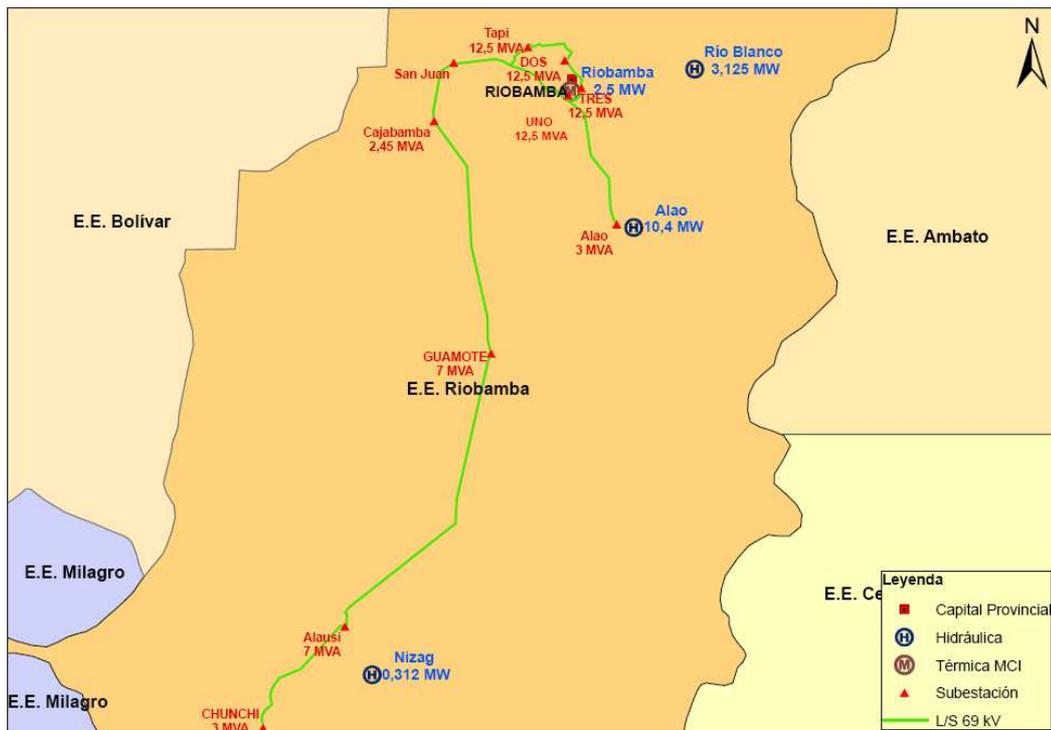


Figura II.6. Centrales de generación, S/E y líneas de subtransmisión de la EERSA.

El resto del sistema de subtransmisión presenta una configuración radial, siendo lo más destacado en este aspecto, la interconexión de la central Alao y la S/E N°1 con una línea de 17 Km. Así mismo, se alcanza radialmente el sur de la provincia a través de las Subestaciones N° 6 (San Juan Chico), N° 7 (Cajabamba), N° 8 (Guamote), N° 9 (Alausi), N° 10 (Chunchi). (Ver anexo 4)

2.4.6.4. Subestaciones

El sistema de Subtransmisión consta de 10 subestaciones de distribución como indica la Tabla II.3.

Tabla II.3. Subestaciones de distribución de la EERSA.³

Nombre Subestación	Ubicación		Tipo	Voltaje (kV)	
	Cantón	Parroquia		Entrada	Salida
S/E 1 Chibunga	Riobamba	Veloz	R	69,00	13,80
S/E 2 Maldonado		J. de Velazco	R	69,00	13,80
S/E 3 Parque Industrial		Maldonado	R	69,00	13,80
S/E 4 Tapi		Lizarzaburo	R	69,00	13,80
S/E 6 San Juan Chico		San Juan	S	69,00	69,00
S/E 7 Cajabamba	Cajabamba	Cajabamba	R	69,00	13,80
S/E 8 Guamote	Guamote	Guamote	R	69,00	13,80
S/E 9 Alausi	Alausi	Alausi	R	69,00	13,80
S/E 10 Chunchi	Chunchi	Chunchi	R	69,00	13,80
S/E 13 Alao	Riobamba	Licto	R	69,00	13,80
<i>Tipo: E=Elevación, S=Seccionamiento, R=Reducción.</i>					

³ Fuente: Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

2.4.6.5. Red de Distribución

Alimentarios Primarios de Distribución. Son los encargados de llevar la energía eléctrica desde las subestaciones de distribución hasta los transformadores.

El sistema de Distribución, a través de las 10 Subestaciones de distribución se extiende 31 alimentadores primarios a un voltaje de 13,8kV y 4,16kV con una longitud total de 3107,01Km, como se detalla Tabla II.4.

Tabla II.4. Alimentadores Primarios de la EERSA.⁴

Nivel de Voltaje (kV)	Monofásico (km)	Bifásico (km)	Trifásico (km)	Longitud Total (Km)
13,8	2.466,97	97,96	528,31	3.093,23
4,16	2,61	0,1	11,08	13,79
Total general	2.469,58	98,06	539,38	3.107,01

Alimentadores Secundarios de Distribución. Los alimentadores secundarios distribuyen la energía desde los transformadores hasta las acometidas de los usuarios.

Tabla II.5. Alimentadores Secundarios de la EERSA.⁵

Tipo de Instalación	Cantidad	Monofásico (Km)	Bifásico (Km)	Trifásico (Km)	Longitud Total (Km)
Aérea	6511	3950,26	1073,25	52,12	5075,63
Subterránea	13	2,24	2,11	0,7	5,05
Total	6524	3952,5	1075,36	52,82	5080,68

⁴ Fuente: Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

⁵ Fuente: Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

2.5. SUBESTACIÓN N°4 (TAPI)

2.5.1. Descripción

De acuerdo a su función es una subestación de Reducción pues está encargada de reducir el nivel de voltaje de 69kV a 13.8kV para su transmisión y posterior consumo, como se muestra en la Figura II.7.

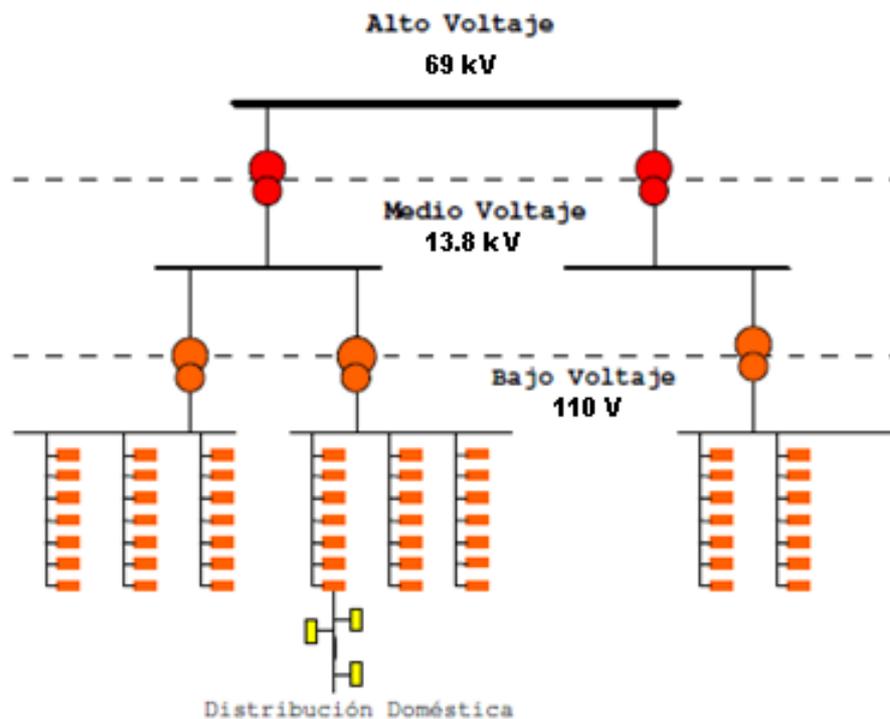


Figura II.7. Estructura de la red eléctrica Subestación N° 4.

2.5.2. Ubicación

Está ubicada en la parroquia Lizarzaburo, entre la calle Los Ríos y Bolívar. Se incorpora en el sistema de distribución por medio de la alimentación a través de líneas de subtransmisión a la tensión de 69kV y un conductor 3 x 336 ACSR.

2.5.3. Capacidad y Componentes

- Capacidad de transformación 69kV a 13.8 kV: Transformador de potencia 10MVA.
- Líneas de subtransmisión a 69 kV:
 - Sistema Nacional Interconectado
 - Subestación N°2
- Alimentadores a 13.8 kV:
 - Alimentador A 1/4 (San Juan).
 - Alimentador A 2/4 (San Andrés).
 - Alimentador A 3/4 (Álamos).

2.5.4. Descripción del Alimentador A 3/4

Las líneas trifásicas del Alimentador N° 3 permiten una amplia cobertura para los sectores que comprende las ciudadelas: La Cerámica, Riobamba Norte, Los Álamos y Terminal Terrestre debido a la utilización de las tres fases de la línea.

2.5.5. Diagrama unifilar de la Subestación N° 4

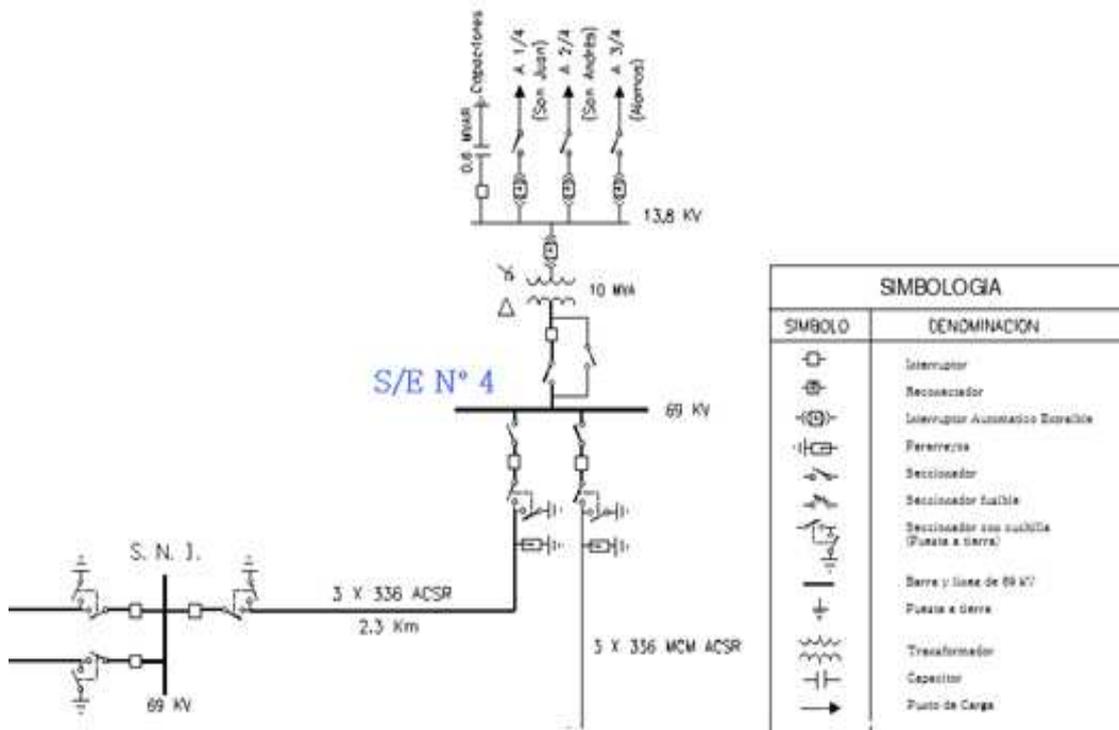


Figura II.8. Diagrama unifilar Subestación N° 4

2.6. 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.

2.6.1. 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.

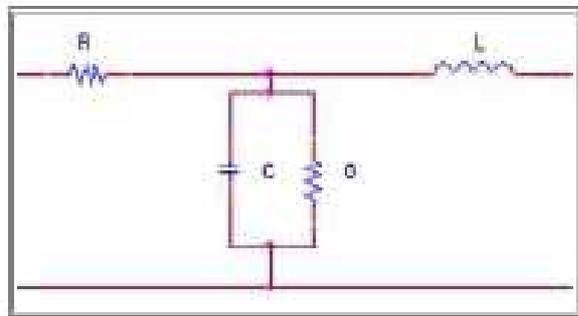


Figura II.9. Parámetros distribuidos de una línea eléctrica

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:

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

Ecuación 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)

$\omega = 2 \Pi f$

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

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_o , esto evita que se produzcan reflexiones de onda en el punto dónde se conectan la línea y el equipo.

2.6.2. Constante de Propagación.

Se utiliza para expresar la atenuación (perdida 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:

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

Ecuación 2.

Donde:

γ = Constante de Propagación km⁻¹

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

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

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA BROADBAND OVER POWER LINE (BPL)

3.1. INTRODUCCION.

Las telecomunicaciones se han abierto a la existencia de múltiples tecnologías como son las comunicaciones por cable eléctrico, o BPL. Como la red eléctrica extiende su cobertura hasta los rincones más alejados a diferencia de las redes de telecomunicaciones cableadas, las oportunidades de enlazar personas y comunidades antes incomunicadas permitirán lograr saltos insospechados en la interconectividad. Con ello, las tecnologías de transmisión eléctrica podrían empezar a ofrecer más

servicios electrónicos como la transmisión de voz y datos, y no sólo el fluido eléctrico tradicional.

El canal de BPL es un ambiente muy hostil es decir tienden a variar en tiempo, situación y con los cambios de carga. Una posible solución para superar los problemas en un canal de comunicaciones de este tipo, es usar un método de modulación robusta. OFDM es una técnica de modulación que permite maximizar la fiabilidad de la transmisión de los datos creando un sistema altamente tolerable al ruido al mismo tiempo es muy eficiente en el uso de banda y por lo tanto permite una amplia cobertura de área punto a punto y multipunto. OFDM además permite manejar los cambios de impedancia y las reflexiones producidas por los múltiples caminos que recorre la señal.

El mayor aspecto técnico no resuelto hasta el momento es la falta de un conjunto completo de estándares internacionales, regionales y locales que regulen los aspectos relacionados con emisiones electromagnéticas radiadas y conducidas para sistemas BPL. Actualmente, existen varios esfuerzos de estandarización para sistemas BPL entre los cuales destacan organismos como ETSI, FCC y el IEEE, entre otros.

3.2. EVOLUCION

Las comunicaciones sobre redes eléctricas han estado presentes desde 1930 pero nunca se han tenido seriamente en cuenta como un medio de comunicación debido a su baja velocidad, poca funcionalidad y elevado costo. El primer intento para transportar datos a través del tendido eléctrico se realizó a inicios de los años 50 se había creado un sistema que permitía a las empresas de energía controlar el consumo, el encendido del

alumbrado público y el valor de las tarifas eléctricas por medio de una señal de baja frecuencia (100 Hz) que viajaba a través de los cables de la red en un solo sentido.

A mediados de los 80's se empezaron otras investigaciones con el fin de analizar características y propiedades de la red eléctrica como medio de transmisión de datos y a fines de esa década ya se conseguía transmitir información en ambas direcciones a través del uso de frecuencias mucho más altas, lo cual permitió poseer una mejor idea para lograr una transmisión efectiva mediante las líneas de energía eléctrica.

En el año 2000, la compañía "*Nisko Advanced Metering Solutions*" (**NAMS**) crea el protocolo NISCOM, el primero que permitía la transmisión de datos bidireccional en las líneas de distribución eléctrica a velocidades de 1 a 10 Mbps. Esta tecnología fue conocida como "*Power Line Communications*" (**PLC**). Importantes compañías a nivel mundial (ASCOM, NAMS, DS2, AMPERION) emprendieron proyectos de investigación y pruebas piloto para trabajar con PLC, inicialmente, las pruebas de campo se realizaron con pequeños grupos de usuarios para luego comunicar ciudades enteras. Los proyectos piloto desarrollados a nivel mundial fueron varios, no todos concluyeron con éxito, pero fueron una importante contribución para conocer las posibilidades de PLC.

La tecnología "*Power Line Communications*" pasó a ser considerada como una tecnología de banda ancha cuando ofrecía una velocidad igual o superior a 2 Mbps. En el año 2004, la "*Federal Communications Commission*" (**FCC**) inicia el proceso de estandarización de esta nueva generación de la tecnología PLC a la cual denomina: "*Broadband over Power Line*" (**BPL**).

3.3. DESCRIPCION DEL SISTEMA BROADBAND OVER POWER LINE

3.3.1. Definición

BPL Broadband over Power Line, es una tecnología que permite la utilización de la infraestructura de energía eléctrica tanto de (BT) baja tensión como de (MT) media tensión permitiendo ofrecer servicios de telecomunicaciones de banda ancha de gran calidad. Esto implica que en cada enchufe eléctrico el usuario, además de disponer del suministro de energía eléctrica, tendría acceso a servicios de telecomunicaciones como voz, vídeo y datos como se indica en la Figura III.10.



Figura III.10. Sistema Broadband over Power Line

La transmisión de la energía eléctrica y la transmisión de datos sobre el mismo conductor eléctrico son posibles ya que ambas señales operan en rangos de frecuencia muy separados entre sí.

3.3.2. Frecuencia utilizada por BPL.

El hecho de que ambos servicios, los de energía eléctrica y los de transmisión de datos, operen en frecuencias muy distintas y distantes, permite que estos puedan compartir el medio de transmisión sin que uno interfiera sobre el otro.



Figura III.11. Rango de Frecuencia utilizada por BPL.

El equipo cabecera (equipo emisor) emite señales de baja potencia (50mW) en un rango de frecuencias aproximado que van desde 2 Mhz hasta los 34 Mhz como se indica en la Figura III.11, es decir en una frecuencia varios miles de veces superior a los 60 Hz en donde opera la energía eléctrica. Al otro extremo del medio de transmisión (el cable eléctrico) existe un receptor (equipo terminal) que es capaz de identificar y separar la información que ha sido transmitida en el rango de frecuencia indicado.

3.3.3. Velocidad de transmisión.

La velocidad de los sistemas BPL depende de los equipos e infraestructura empleada. Cada punto de inyección de la señal BPL permite entre 24 y 200 Mbps en el tramo de media tensión y 205 Mbps en el de baja tensión.

En una primera versión, denominado PLC de primera generación, se lograron velocidades de 1 a 4 Mbps, lo cual satisfacía los requerimientos de transmisión de información de control de la planta eléctrica de una empresa determinada.

Posteriormente se requirió mayor velocidad en las redes de datos de control, y en una segunda generación, se alcanzaron velocidades de 45 Mbps, distribuidos de la siguiente manera: 27 Mbps en el sentido red-usuario (Downstream) y 18 Mbps en el sentido usuario- red (Upstream).

El potencial de esta tecnología ha llevado a distintos proveedores a desarrollar una tercera generación en la cual se han diseñado circuitos integrados, alrededor de los cuales se construyen los equipos de comunicación que actualmente permiten obtener velocidades de 130 Mbps y algunos alcanzan los 200 Mbps, de ancho de banda y simétricos a repartir (subir contenidos a la misma velocidad de bajada), lo que permite a esta tecnología competir con ventaja con otros sistemas de comunicación de banda ancha, Ver Anexo 3. Sin embargo, esta velocidad es compartida por los usuarios que se encuentren conectados, por lo cual la velocidad de cada usuario es variable.

3.3.4. Funcionamiento.

La tecnología Broadband over Power Line basa su estructura de funcionamiento, en la utilización de los cables eléctricos. Así por ejemplo para entregar el servicio de transferencia de datos se utilizara la red de baja tensión como medio de transporte desde un Centro Transformador, hasta el cliente.

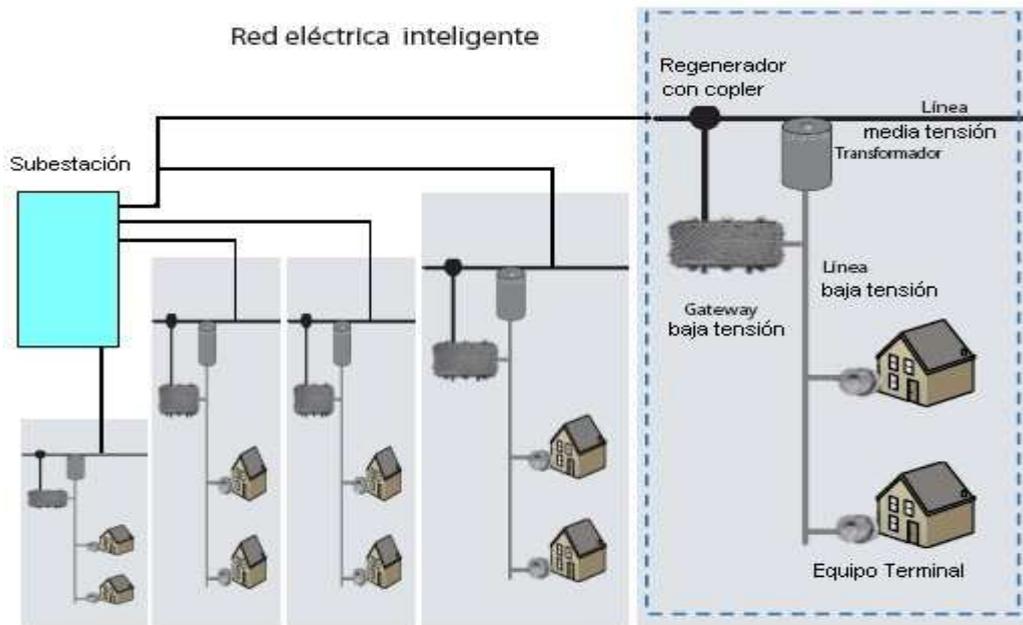


Figura III.12. Estructura de funcionamiento BPL.

En la Figura III.12, los cinco recuadros representan cinco circuitos. Donde dos circuitos están interconectados a la subestación. Y por ende éstos usan los mismos regeneradores y acopladores para comunicar al software dedicado con los medidores de usuario final. Los tres circuitos restantes requieren de su propia plataforma de regeneradores y acopladores para efectuar la comunicación antes dicha. El equipo terminal para medición del consumo siempre está en baja tensión y tiene la opción de abastecer a las casas de los usuarios finales de Triple Play.

3.3.5. Ventajas

Instalación rápida y sencilla. Debido a que esta tecnología emplea la red de distribución eléctrica, es decir una infraestructura existente, no requiere de obras de cableado adicionales.

Alta ubicuidad y capilaridad. La población mundial abastecida por el servicio de energía eléctrica es tres veces mayor a la alcanzada por la red telefónica. Ello implica no sólo la posibilidad de llevar nuevos servicios a los usuarios de los países desarrollados, sino la oportunidad de prestar servicios básicos como: telefonía y televisión en zonas alejadas con el fin de romper las brechas tecnológicas entre países y a favor del desarrollo de la población.

Variedad de servicios y aplicaciones. Permite el acceso a múltiples servicios, entre los más importantes:

Acceso de banda ancha a Internet.

- Telefonía IP, servicio de fax, vídeo bajo demanda (VOD)
- Control de aplicaciones en el hogar, tales como electrodomésticos, sistemas de seguridad y alarmas.
- Creación de entornos LAN y redes privadas virtuales (VPN)
- Sistemas de teletrabajo, teleconferencias y monitoreo remoto.

Facilidad de conexión del cliente. La instalación por parte del usuario es sencilla. Se requiere de un módem BPL de características similares a los convencionales y de una toma eléctrica, la cual servirá como alimentación y como conexión hacia el sistema de comunicación BPL.

Movilidad. El usuario puede realizar la conexión desde cualquier punto del hogar donde disponga de una toma eléctrica, lo cual permite dotar de movilidad al abonado.

Evolución de la tecnología y proliferación de productos. Actualmente, existen productos BPL que permiten mayores aplicaciones y servicios que versiones anteriores, las que incluyen: altas velocidades, compatibilidad con audio, vídeo, multimedia y aplicaciones inteligentes.

Servicios de gestión para la empresa de servicio eléctrico. Las compañías de electricidad también obtendrían beneficios operacionales y de costos. Por ejemplo, podrían ampliar y mejorar sus servicios tradicionales como lectura de contadores, detección de problemas de suministro, optimización de la curva de carga y automatización de la distribución, etc.

3.3.6. Desventajas

Estandarización Actualmente existen varios esfuerzos en estandarización para sistemas BPL entre los cuales destacan organismos como ETSI, FCC y el IEEE, entre otros, los mismos que intentan conseguir un sistema estándar que cubrirán aspectos más importantes de la tecnología BPL como son: seguridad, compatibilidad electromagnética, medios, coexistencia, interoperabilidad.

Infraestructura variable de la red eléctrica. Las instalaciones de las redes de distribución eléctrica tienen características que difieren de acuerdo a su topología, ubicación y tiempo de operación. La calidad y el buen funcionamiento de los sistemas BPL dependen directamente de las condiciones de la red eléctrica, si éstas se encuentran deterioradas o existen cables en mal estado será necesario un acondicionamiento y mejora de la red para hacer posible la implementación de sistemas con tecnología BPL.

Distancia. La transmisión óptima de datos se obtiene cuando la distancia entre el usuario y la subestación de distribución es corta. En el caso de distancias grandes o incluso edificios altos se requiere del uso de repetidores.

Número de hogares por transformador. Para el caso de sistemas BPL de baja tensión, la señal de datos ingresa a la red eléctrica a partir del transformador que une el tramo de media tensión y baja tensión. El cual debe estar provisto de estaciones base BPL, mientras menor sea el número de usuarios por cada transformador más se elevan las inversiones.

Seguridad. El cable eléctrico no es un medio diseñado para transmitir datos por lo que tiene múltiples pérdidas, una parte la absorbe y el resto la irradia en cuyo caso actúa como antena retransmitiendo los datos hacia el exterior, violando la privacidad y confidencialidad de la comunicación.

Con el objeto de superar este problema, algunos equipos BPL que se encuentran en el mercado disponen de circuitos integrados que permiten la encriptación de datos y manejan otros protocolos de seguridad.

Múltiples fuentes de interferencia. Existen muchas fuentes de interferencia electromagnética, tal es el caso de aparatos eléctricos conectados a la red, los que pueden afectar la transmisión.

Para solucionar este conveniente se emplean filtros, los que permiten aislar la señal de datos y la señal de energía eléctrica, pero que incrementan los costos de los equipos.

3.4. COMPONENTES DE LA RED BPL

La estructura de una red BPL utiliza el cableado de media a baja tensión de una determinada zona. El sistema BPL esta conformada por componentes activos y pasivos ubicados en diversos puntos de la red como se observa en la Figura III.13. Lo más importante a destacar es la sencillez de la instalación de todos los components.

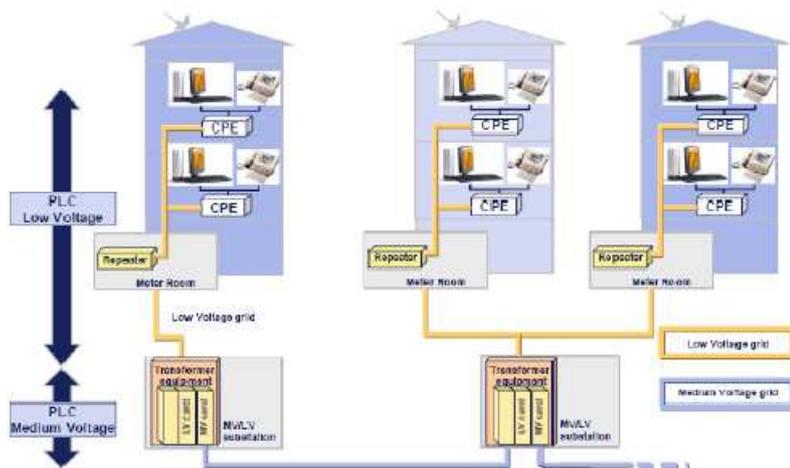


Figura III.13. Componentes BPL

3.4.1. Componentes Activos

3.4.1.1. Nodo cabecera o HE (Head End)

Conocido también como módem de cabecera, la Figura III.14 muestra el componente principal de una red BPL.

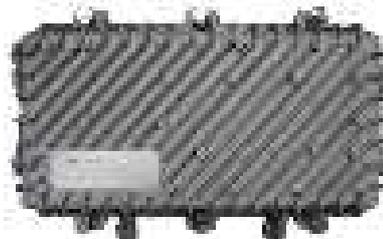


Figura III.14. Equipo Nodo Cabecera

Funciones

- Coordina la frecuencia y actividad del resto de equipos que conforman la red BPL, de forma que se mantenga constante en todo momento el flujo de datos a través de la red eléctrica.
- Permite conectar el sistema BPL con la red externa (WAN, Internet, PSTN, RDSI, etc.) por lo que es el interfaz adecuado entre la red de datos y la red eléctrica.

Lugar de instalación

La elección de su ubicación es un aspecto clave en la arquitectura de una red BPL, ya que es esencial que la inyección de datos se produzca de forma que permita proporcionar la máxima cobertura posible dentro de la red. Por lo general, se instala en las subestaciones de distribución o en el transformador de media a baja tensión, dependiendo de la configuración eléctrica más favorable y del ámbito del sistema BPL que se esté implementando.

3.4.1.2. Nodo Repetidor o IR (Intermediate Repeater)

Es el equipo que permite ampliar la cobertura y alcance de la señal BPL. Un equipo repetidor se indica en la Figura III.15.



Figura III.15. Equipo Nodo Repetidor

Funciones

- Permite la transferencia de los datos entre las líneas de medio voltaje y bajo voltaje.
- Regenera la señal degradada por la atenuación provocada por los cables eléctricos, asegurando la calidad en el enlace.
- Aumenta la cobertura del servicio ofrecido y consigue altas velocidad de transmisión en lugares alejados del módem de cabecera.

Lugar de instalación

Es instalado generalmente en el centro de distribución o cuarto de contadores de la empresa proveedora del suministro eléctrico. Provee servicio a un barrio, lote o sector específico. Este dispositivo se conecta con el módem del usuario.

3.4.1.3. Nodo Usuario o C P E (Customer Premises Equipment)

Conocido también como módem de usuario y es un módulo construido para proveer el interfaz hacia los servicios en el hogar, como se observa en la Figura III.16.

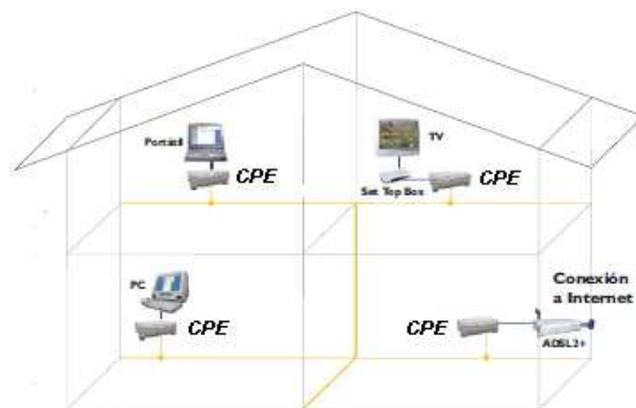


Figura III.16. Equipo Nodo Usuario

Funciones

- Proporciona la conexión al cliente final.
- Convierte cada toma eléctrica en un punto de red, al cual se puede conectar un equipo informático.
- Soportan capacidades como prioridad de tráfico, asignación de ancho de banda, calidad de servicio.

Lugar de instalación

Este dispositivo es instalado en el hogar del abonado, junto a los medidores de electricidad de cada usuario final para brindar conectividad a cada uno de los medidores con cierto software propietario.

3.4.2. Componentes Pasivos.

3.4.2.1. Acopladores para líneas eléctricas.

Son aquellos a través de los cuales permiten inyectar la señal de alta frecuencia en la red eléctrica de distribución.

Acopladores Capacitivos. Se acoplan por contacto directo en las líneas eléctricas aéreas, tienen menor pérdida que los inductivos.

La Figura III.17, muestra un tipo de acoplador, el cual puede trabajar a la intemperie, con un aislamiento en silicona y unidades de alimentación para los equipos de comunicaciones.



Figura III.17. Acoplador capacitivo

Acopladores Inductivo. Se efectúa el acoplamiento mediante la generación de un campo magnético alrededor del cable con el cual inyectan la señal.

Este tipo de acopladores como se indica en la Figura III.18, se instala en líneas eléctricas subterráneas, además tienen un nivel mayor de pérdida que los capacitivos.



Figura III.18. Acoplador inductivo

3.5. DESPLIEGUE DEL SISTEMA BPL EN LA RED ELECTRICA

La arquitectura de esta red consta de dos sistemas: Sistema Outdoor y Sistema Indoor; formados por tres elementos Nodo Cabecera, Repetidor, CPE. Como se indica en la Figura III.19.

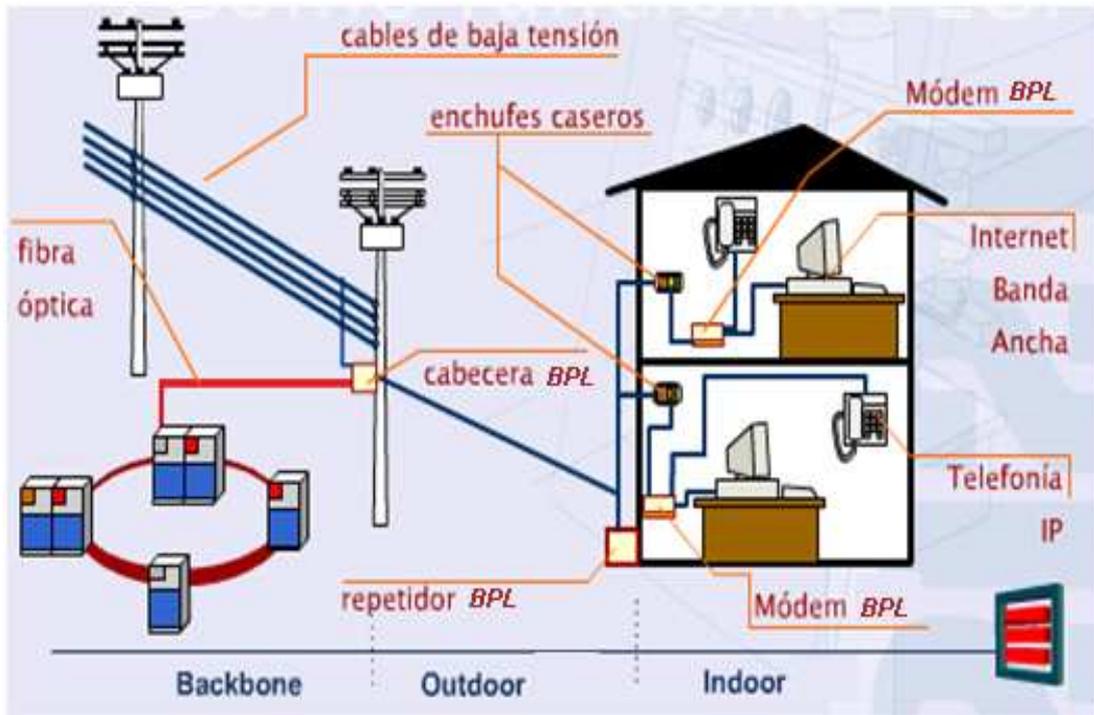


Figura III.19. Figura. Arquitectura del sistema BPL

3.5.1. Sistema Outdoor

El primer sistema denominado “de Outdoor o de Acceso”, cubre el tramo de lo que en telecomunicaciones se conoce “última milla”. La red eléctrica de distribución de media tensión, es el ámbito operativo de esta etapa. Se extiende desde el transformador de media a baja tensión hasta los medidores ubicados en residencias, oficinas entre otras.

Este primer sistema es administrado por un equipo cabecera que conecta a esta red con la red de transporte de telecomunicaciones o backbone.

De esta manera este equipo cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte como muestra la Figura III.20.

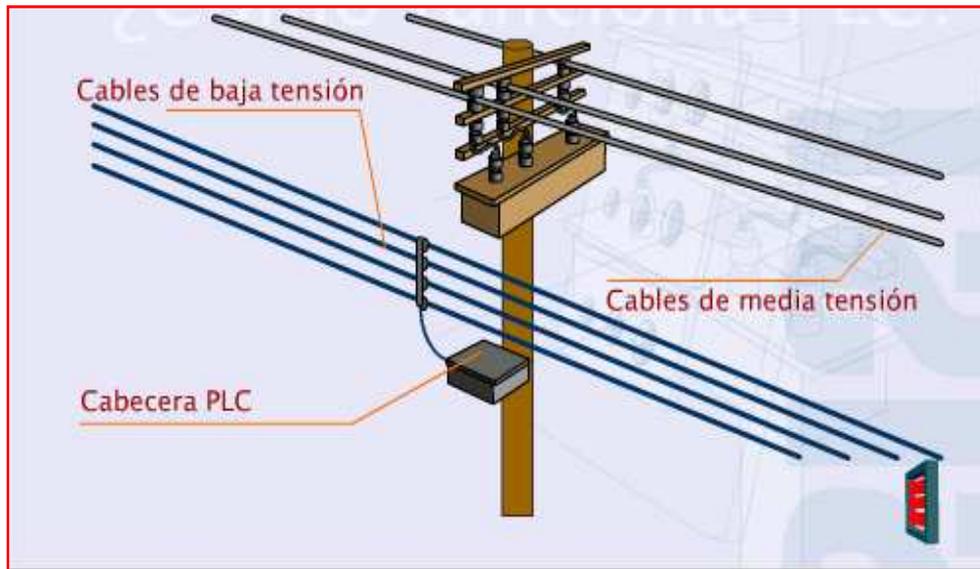
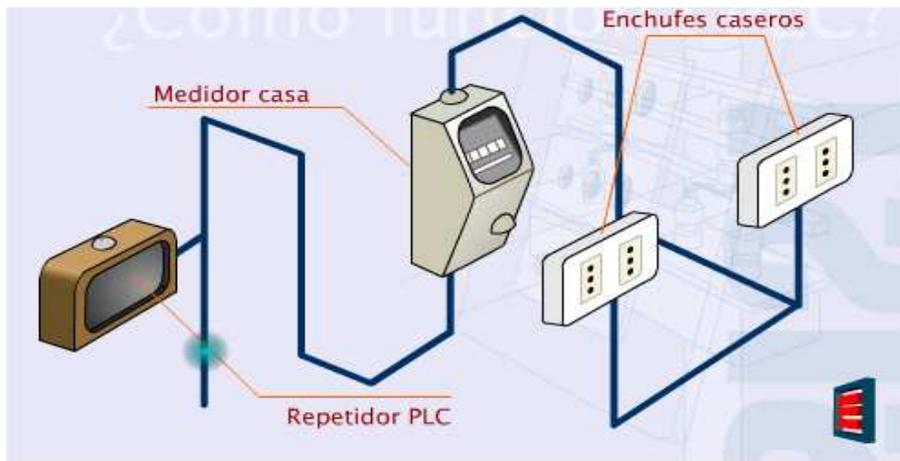


Figura III.20. Sistema Outdoor.

3.5.2. Sistema Indoor

El segundo sistema se denomina “de Indoor”, y cubre el tramo que va desde el medidor del usuario hasta todos los toma corrientes o enchufes ubicados al interior de los hogares como se muestra en la Figura III.21. Para ello, este sistema utiliza como medio de transmisión el cableado eléctrico interno.



Figura

III.21. Sistema Indoor.

Para comunicar estos dos sistemas, se utiliza un equipo repetidor, este equipo, que normalmente se instala en el entorno del medidor de energía eléctrica, esta compuesto de un modem terminal y equipo cabecera. El primer componente de este repetidor recoge la señal proveniente del equipo cabecera del sistema outdoor y el segundo componente se comunica con la parte terminal del repetidor e inyecta la señal en el tramo indoor.

El último elemento de la red BPL lo constituye el CPE, que recoge la señal directamente de la red eléctrica a través del enchufe como se observa en la Figura III.22.

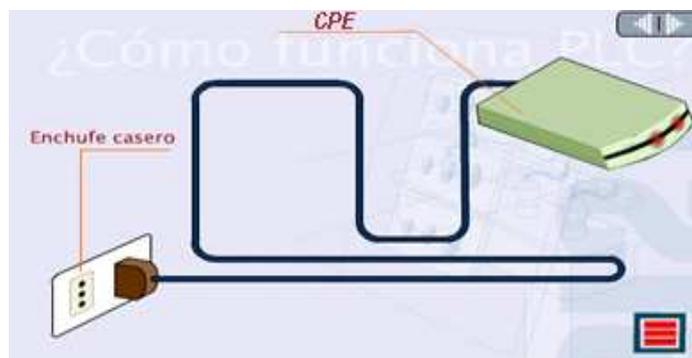


Figura III.22. Conexión del CPE.

De esta manera tanto la energía eléctrica como las señales de datos que permiten la transmisión de información, comparten el mismo medio de transmisión, es decir el conductor eléctrico. También a este modem se pueden conectar un computador, un teléfono IP u otro equipo de comunicaciones que posea una interfaz Ethernet o USB.

3.6. CAPA FÍSICA

3.6.1. Capa Física en el modelo OSI

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 BPL 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.

3.6.2. Canal de comunicaciones.

Al igual que la mayoría de canales de telecomunicaciones, el canal BPL introduce atenuación y cambio de fase de las señales, debido a que es un medio diseñado en

principio solamente para distribución de energía eléctrica. El canal BPL puede ser considerado como un canal de “múltiples rutas” debido a las reflexiones generadas por las discontinuidades de la impedancia ocasionada por fallas en los acoples, lo que genera desvanecimiento de la señal en frecuencia. El canal tolera la convivencia de la señal de energía con diferentes tipos de señales de ruido e interferencias ocasionadas por diversas fuentes, además las líneas no están sometidas a cargas constantes sino que por el contrario varían constantemente a causa de los dispositivos que se conectan y desconectan en cualquier momento y que ocasionan cambios en las características del medio y afectan su funcionamiento en el tiempo.

3.6.2.1. Capacidad del Canal

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.

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

Ecuación 3.

Donde:

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 BPL, 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:

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

Ecuación 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 200 Mbps, se puede alcanzar tasas de datos reales de 84 Mbps. Aún para canales clasificados como muy malos, con distancias de hasta 300 m, se pueden alcanzar tasas de 18 Mbps. La Tabla III.6., muestra las capacidades teóricas estimadas en el tramo de última milla para un canal BPL. 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.

Tabla III.6. Estimación de la capacidad de canal BPL en la red de Acceso.⁶

	TASA DE DATOS	
	Mejor caso	Peor Caso
Teórica	200 Mbps	84 Mbps
Realizable	51 Mbps	18 Mbps

3.6.2.2. Tipos de ruido del canal.

Los tipos de ruido presentes en un canal eléctrico se observan en la Figura III.23.

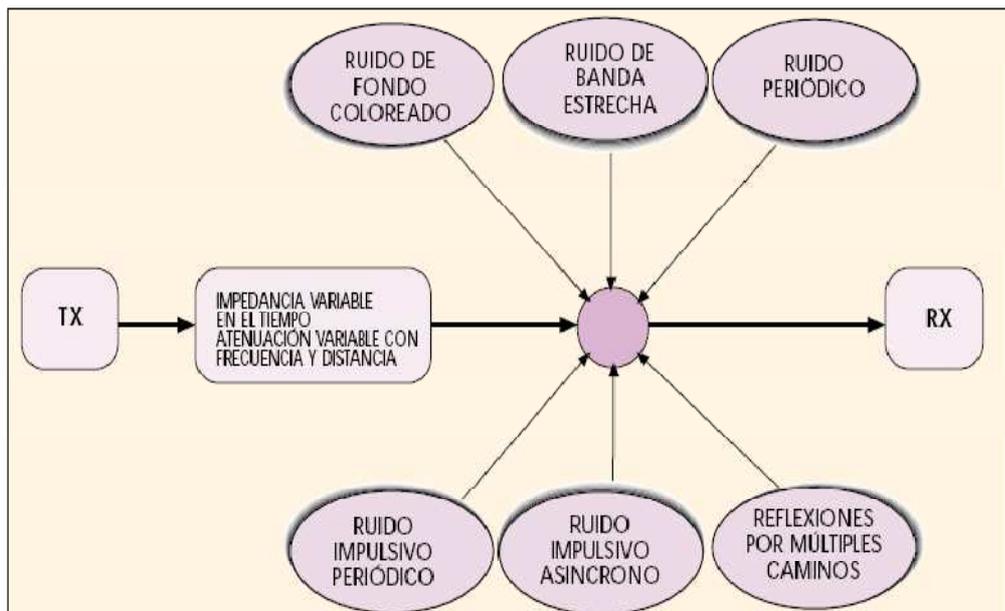


Figura III.23. Tipos de ruido en el canal BPL.

⁶ Fuente. http://en.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication

El ruido coloreado. Es causado por la suma de numerosas fuentes de ruido de baja intensidad, cuya variación es lenta en comparación con períodos largos de tiempo (en términos de minutos u horas). Su densidad de potencia espectral (PSD) disminuye con el aumento de la frecuencia.

El ruido banda angosta. Es causado por la penetración de las estaciones de radiodifusión de onda corta y varía dependiendo de las condiciones atmosféricas.

El ruido impulsivo periódico (síncrono y asíncrono con la frecuencia de la línea eléctrica). Es causado por el suministro conmutado de potencia; con duraciones que van de microsegundos a milisegundos.

El ruido impulsivo asíncrono. Es causado por los transcientes conmutados en las redes en especial originado por dispositivos y máquinas industriales.

3.6.3. Transmisión de la señal.

Para este sistema es necesario un "acondicionamiento" de la infraestructura existente en la red eléctrica. Las redes normalmente pueden transmitir señales regulares de baja frecuencia en 60 Hz y señales mucho más altas, sobre 1 MHz sin que ambas frecuencias se molesten entre si, ya que las de baja frecuencia llevan energía mientras que las de alta frecuencia llevan los datos. Se utiliza una unidad de acondicionamiento HFPCN (High Frequency Conditioned Power Network) para transmitir datos y señales eléctricas.

3.6.3.1. Unidad de Acondicionamiento HFCPN (High Frequency Conditioned Power Network)

Un HFCPN utiliza una serie de unidades de acondicionamiento (CU) para filtrar esas señales separadas. La unidad de acondicionamiento CU se pone cerca del metro eléctrico en cada uno de los consumos caseros que lo necesiten. Las aplicaciones del CU contienen los filtros de pase para segregar las señales de electricidad y de los datos, facilitando el acoplamiento entre los clientes y una subestación eléctrica.

El CU contiene tres puertos que se juntan. El dispositivo recibe la entrada agregada en su puerto de red (NP), esta entrada agregada pasa por un filtro pasa altos como se indica en la Figura III.24. Este filtrado de las señales de alta frecuencia permite derivarlos al puerto de comunicación CDP, y mediante un filtro pasa bajos se envía la electricidad al consumo.

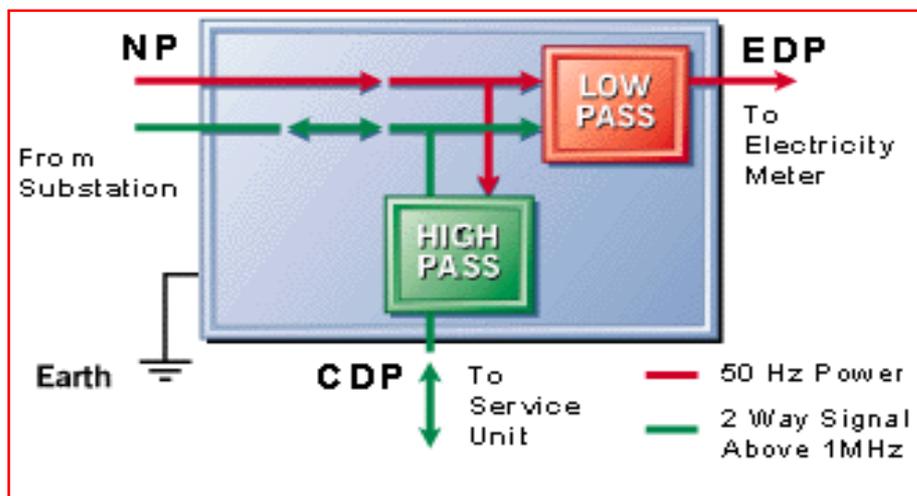


Figura III.24. Unidad de acondicionamiento HFCPN.

La señal de 50 Hz. fluye del filtro pasa bajos y también sirve para atenuar el ruido provocado por las aplicaciones eléctricas en casa del cliente, ya que el agregado de estos ruidos extraños provocaría distorsiones significativas en la red.

La señal de datos, sale del CU a las unidades de consumo y distribución de datos mediante el empleo de cables coaxiales estándar.

3.6.4. Modulaciones empleadas

Se puede mencionar que en una primera generación de esta tecnología se comenzó con la modulación GMSK y DSSS que ofertaba velocidades de entre 1 y 4MBps pero ya en la segunda generación se empezó a introducir la modulación OFDM que ofrecía velocidades de hasta 45 Mbps. En la actualidad ya existe, y se está comenzando a implementar la técnica “OFDM densa” que permite velocidades de hasta 200 Mbps, lo que la convierte en la candidata favorita de la tercera generación de modulaciones sobre BPL. La evolución de las modulaciones empleadas se indica en la Figura III.25.

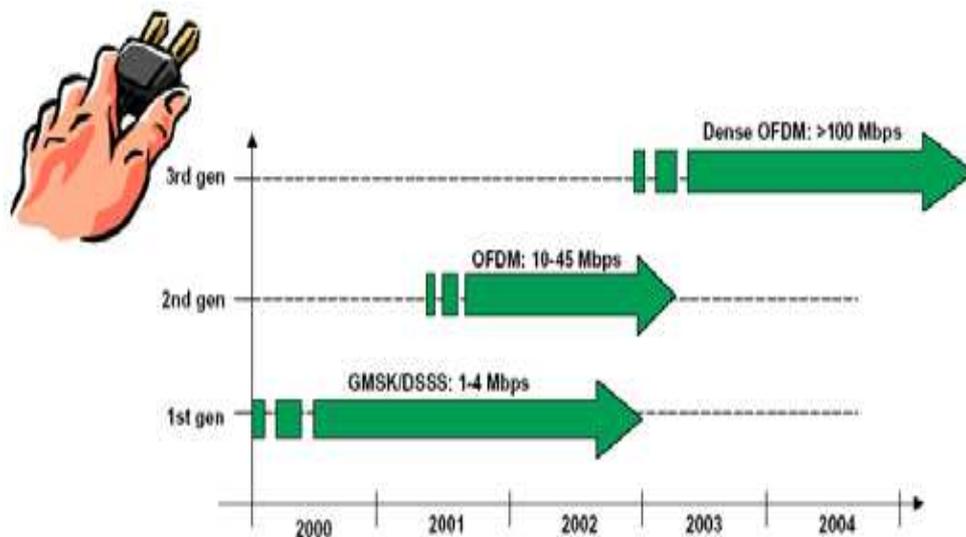


Figura III.25. Evolución de las modulaciones empleadas.

3.6.4.1. GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)

GMSK es un esquema de modulación continua en fase, una técnica que consigue suavizar las transiciones de fase entre estados de la señal, consiguiendo por tanto reducir los requisitos de ancho de banda.

Con GMSK, los bits de entrada representados de forma rectangular (+1, -1) son transformados a pulsos gaussianos (señales de forma acampanada) mediante un filtro gaussiano para posteriormente ser suavizados por un modulador de frecuencia. En la mayoría de los casos, la duración del pulso gaussiano supera a la de un bit, dando lugar como consecuencia a lo que se conoce como interferencia inter-simbólica (ISI).

La portadora resultante es una señal continua en fase lo cual es importante porque las señales con transiciones suaves entre fases requieren menor ancho de banda para ser transmitidas. Por otra parte, este suavizado de la señal hace que el receptor tenga que realizar un trabajo mayor en la demodulación de la señal ya que las transiciones entre bits no están bien definidas.

Además de la transmisión de datos por la red eléctrica, este tipo de modulación es muy utilizado también en redes GSM, y en comunicaciones aeroespaciales debido al poco ancho de banda necesario y a la robustez de la señal en medios hostiles.

3.6.4.2. DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

El espectro ensanchado (SS) es una técnica de transmisión en la cual un código pseudoaleatorio, independiente de los datos de información, es empleado como forma de onda modulante para “desparramar” la energía de la señal sobre un ancho de banda

mucho mayor que el ancho de banda de información de la señal original. Los sistemas de secuencia directa (DS) son sistemas de espectro ensanchado en los cuales la portadora está modulada por un código de dispersión de alta velocidad y una corriente de datos de información. La secuencia del código de alta velocidad es el causante directo del ensanchamiento de la señal transmitida.

Se caracteriza porque puede operar con baja densidad espectral de potencia, lo que resulta beneficioso respecto de la compatibilidad electromagnética, ya que tiene un nivel de radiación débil sobre todo el espectro utilizado. Además posee una gran inmunidad a interferencias, distorsiones y desvanecimientos del canal. Por otro lado, presenta el inconveniente de un escaso aprovechamiento de la capacidad del canal, lo cual hace que las tasas de transmisión de datos sean menores que las que se pueden lograr con otras técnicas de modulación. Además, el nivel de interferencia entre usuarios crece con el número de abonados presentes en el sistema, lo cual es propio del método de acceso utilizado.

3.6.4.3. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Modulación por División Ortogonal de Frecuencia es una técnica de modulación de alta eficiencia espectral que maneja muy bien el ruido, los cambios de impedancia y las reflexiones producidas por los múltiples caminos que recorre la señal, además tiene la habilidad para usar o dejar de usar cualquier subcanal, con el fin de mantener una óptima tasa de error. Esto permite evitar interferencias con otros sistemas y poder cumplir los niveles de emisión regulados por las normas.

El sistema usa modulación adaptativa, o sea, es capaz de medir los niveles de atenuación y ruido con una alta resolución espectral y en base a esta información usar unas u otras subportadoras para enviar la información como se observa en la Figura III.26.

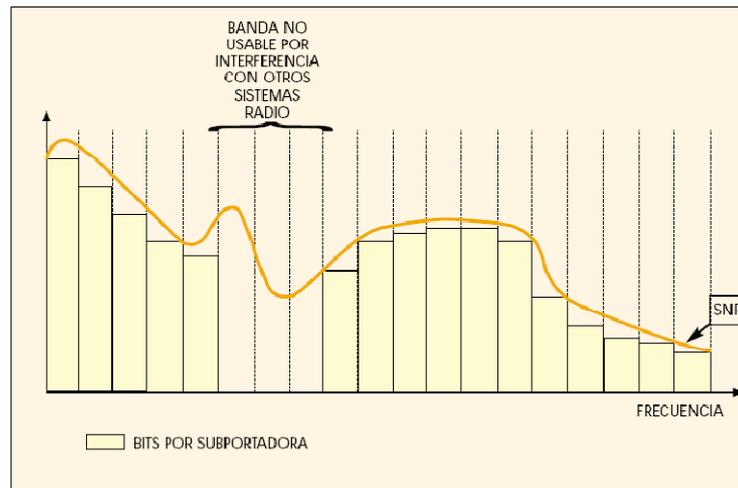


Figura III.26. Señal con Modulación Adaptativa.

Al no existir un estándar para BPL la modulación OFDM varía según los fabricantes de esta nueva tecnología.

El sistema de Corinex como primer ejemplo utiliza:

- Modulación OFDM adaptativa de 1536 portadoras de hasta 30 MHz.
- Su velocidad de transmisión es de 200 Mbps

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.

3.6.4.3.1. Funcionamiento de OFDM

OFDM es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales como se indica en la Figura III.27, 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.

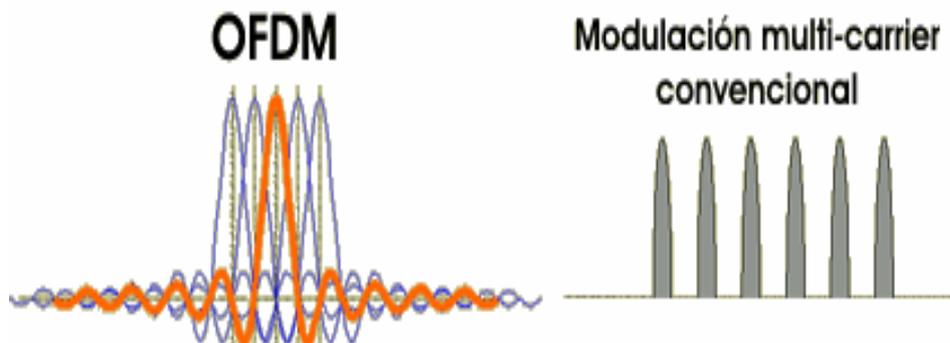


Figura III.27. OFDM frente a la modulación multi-carrier convencional

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 reinsertión 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.

3.6.4.3.2. Ortogonalidad

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

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

Ecuación 5.

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 interfiera con la portadora vecina.

- 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)
- 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.
- 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.

- Puede operar con anchos de banda 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz, transmitiendo entre 2 MHz a 34 MHz.

3.7. CAPA ENLACE DE DATOS.

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.

BPL 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, BPL puede compartir conexiones con usuarios de Ethernet y otros estándares compatibles. Existen dos condiciones a ser consideradas al diseñar el método de acceso al medio, estas son: no existe una distancia fija entre los nodos de la red y múltiples nodos pueden transmitir simultáneamente.

Por ello la técnica apropiada y ampliamente usada como solución para estos sistemas es CSMA/CA, es decir el acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones, un protocolo usado en 802.11 el cual se definirá a continuación.

Carrier Sense Multiple Access (CSMA). Protocolo de acceso múltiple con detección de portadora, CSMA, este protocolo sondea el medio de transmisión para comprobar que no haya ningún otro nodo transmitiendo.

A pesar de que cada nodo sondea el canal antes de transmitir, se pueden producir colisiones por que dos nodos comiencen a transmitir al mismo tiempo, o porque uno no detecte la transmisión de otro, debido a que su señal todavía no se ha propagado hasta el primero.

El retardo de propagación del canal influirá, por lo tanto, en las prestaciones del protocolo. CSMA no detiene la transmisión de la trama al detectarse una colisión. Una vez finalizada, se espera un intervalo de tiempo aleatorio y se repite el proceso de sondeo y transmisión.

Carrier Sense Multiple Access/Collision avoid (CSMA/CA). La variante CSMA/CA, es el protocolo de acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones, este método consiste en aumentar el periodo de espera antes de transmitir si escucha el medio y si esta desocupado se transmite. La 802.11 usa tramas de central: RTS (solicitud de transmitir) el receptor envía respuestas de CTS (Preparado para recibir), si esta comunicación es exitosa se comienza la transmisión de datos. Además, por cada trama que se envía se espera un reconocimiento por parte del receptor ACK. Si lo anterior no ocurre, asume una colisión y se espera a que la línea se desocupe para un nuevo intento de transmisión.

3.7.1. Formato de trama BPL.

La trama utilizada para la transmisión de datos a través de BPL, consiste en un delimitador inicial, núcleo y delimitador final de la trama, como se observa en la Figura III.29.

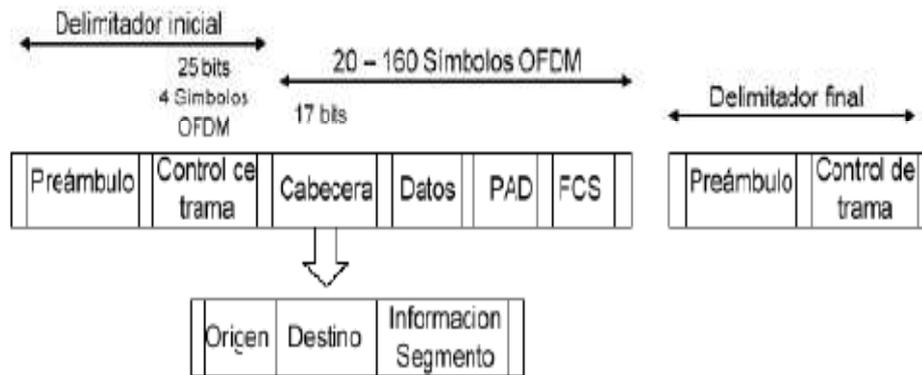


Figura III.29. Trama utilizada en BPL

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:

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.

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.

3.8. EMISIONES ELECTROMAGNÉTICAS

Los sistemas BPL al utilizar redes de energía que no son apropiadas para la transmisión de la información a grandes velocidades, producen radiaciones secundarias no deseadas. La red se convierte en un radiador no intencional, por lo que se suele aplicar las disposiciones referidas a la Compatibilidad Electromagnética, es decir, se trata de establecer límites para evitar que se produzcan interferencias con otros sistemas de comunicaciones.

3.8.1. Compatibilidad Electromagnética (EMC)

Compatibilidad electromagnética es la habilidad que tiene un equipo o sistema de funcionar satisfactoriamente dentro de un ambiente con campos electromagnéticos, sin introducir interferencia a otros sistemas dentro del entorno, e incluso a él mismo. De esta definición surgen dos aspectos importantes a tratar: Susceptibilidad Electromagnética (EMS) y Emisión Electromagnética (EME).

Susceptibilidad Electromagnética. Hace referencia a los inconvenientes del sistema frente a fuentes de interferencia externa. Las fuentes de interferencia pueden ser

agrupadas dentro de dos categorías: las conducidas hacia el sistema y las radiadas hacia el sistema. La EMS esta íntimamente relacionada con el modelado del ruido del canal.

Emisión Electromagnética.- hace referencia a las emisiones del sistema que pueden interferir el correcto funcionamiento de otros sistemas e incluso el sistema mismo.

En la actualidad, la tecnología utilizada para BPL puede funcionar con menos potencia de señal, produciendo incluso menor EMI (Interferencia Electromagnética) que otras tecnologías ya utilizadas. Además, gracias a la utilización de OFDM como sistema de modulación de los datos, el equipamiento es más versátil en cuanto a la EMC ya que pueden eliminarse las bandas de frecuencia en las cuales se interfiere a otros sistemas de comunicaciones.

La compatibilidad electromagnética (EMC) es uno de los aspectos más importantes a la hora de desarrollar tecnología, ya que permite la convivencia sin interferencia entre diferentes equipos eléctricos/electrónicos.

3.9. ESFUERZOS DE ESTANDARIZACIÓN.

Actualmente existen varios esfuerzos en estandarización para sistemas BPL entre los cuales destacan organismos como ETSI, FCC y el IEEE, entre otros. El IEEE se encuentra trabajando en los proyectos: IEEE P1901, IEEE P1675 e IEEE P1775, los cuales forman parte de una serie de estándares para sistemas BPL y que cubrirán los aspectos más importantes de la tecnología BPL como son: seguridad, compatibilidad electromagnética, medios, coexistencia, interoperabilidad y educación. Por su parte, la

FCC ha incluido en la Parte 15, la Subparte G relacionada con el acceso a sistemas BPL. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos proyectos.

El objetivo del IEEE es desarrollar un estándar para alta velocidad (>100Mbps) con características de calidad de servicio (QoS) y clase de servicio (CoS). Busca garantizar la coexistencia segura de dispositivos BPL, proveer interoperabilidad entre equipos así como con otros protocolos de redes, cumplir con las regulaciones electromagnéticas (EMC) y de espectro para una coexistencia segura con dispositivos inalámbricos y sistemas de telecomunicaciones.

IEEE P1901. *Estándar para redes de banda ancha por líneas eléctricas de potencia: Especificación de las Capas Física y de Control de Acceso al Medio.*

El objetivo de este proyecto es desarrollar un estándar para comunicación de alta velocidad (mayor a 100 Mbps en la capa física) entre dispositivos en sistemas BPL. El estándar especificará el uso de frecuencias de transmisión menores a 100 MHz y podrá ser utilizado para toda clase de dispositivos BPL, incluyendo dispositivos de interconexión en la primera milla o en la última milla (menor a 1500 m) a servicios de banda amplia; así como, dispositivos BPL para instalación en redes LAN en edificios con distancias cortas entre dispositivos (menores a 100 m). Este estándar se enfocará en el uso eficiente del canal de comunicaciones, para lo cual especificará los mecanismos para la coexistencia e interoperabilidad entre dispositivos BPL, mecanismos de calidad de servicio y de ancho de banda; así como mecanismos de seguridad. El estándar solo cubrirá las capas física y de enlace de datos (MAC) definidas en el modelo de referencia OSI.

IEEE P1675. *Estándar sobre Dispositivos para Banda Ancha por Líneas Eléctricas de Potencia.*

El objetivo de este proyecto es desarrollar un estándar para proporcionar estándares para pruebas y verificación de dispositivos (hardware) comúnmente usado en sistemas BPL como acopladores, envolventes; así como, métodos de instalación para asegurar el cumplimiento con los códigos y estándares relacionados.

El proyecto no cubrirá dispositivos como repetidores, transmisión de datos, protocolos u otros aspectos relacionados con el funcionamiento interno de la tecnología BPL.

IEEE P1775. *Estándar para equipo de comunicación de banda ancha por líneas eléctricas de potencia – Requerimientos de Compatibilidad Electromagnética – Métodos de Medición y Pruebas.*

El objetivo de este proyecto es desarrollar un estándar para proporcionar consensos y criterios de compatibilidad electromagnética para equipos y sistemas BPL. El estándar hará referencia a estándares nacionales e internacionales de compatibilidad electromagnética aplicables sistemas BPL, pero éste no incluirá límites de emisiones específicos los cuales son sujetos de regulaciones nacionales.

FCC PART 15-SUBPARTE G. *Acceso a Banda Ancha por Líneas Eléctricas de Potencia (Acceso a BPL).*

La Subparte G especifica nuevos aspectos regulatorios para el acceso a redes de banda amplia por líneas eléctricas de potencia (acceso BPL) para a dispositivos que operan en la banda de frecuencias de 1.705 MHz a 80 MHz sobre líneas eléctricas de baja y media

tensión. Dentro de las nuevas reglas más importantes especificadas en este documento establecen que un dispositivo BPL es un emisor de energía de RF no intencional, pero debido a que BPL es también un sistema de onda portadora de corriente (carrier current system) éste debe cumplir con los límites de emisiones de la FCC para un radiador intencional. Además, el equipo de acceso BPL debe ser certificado por la FCC antes de ser comercializado y no debe operar en ciertos lugares cercanos a instalaciones críticas. También, los sistemas BPL deben ser diseñados para que la frecuencia en uso y niveles de potencia puedan ser configurados remotamente, además de que proporcionen un mecanismo de apagado remoto.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA RED DE TELEMEDICIÓN PARA LA EMPRESA

ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A., SUBESTACIÓN N° 4,

ALIMENTADOR N° 3.

4.1. CONSIDERACIONES DE EVALUACIÓN

Al tratarse de una tecnología en crecimiento como BPL, los proveedores que promueven la interconexión de sus equipos han diseñado sus propias arquitecturas de red. Una arquitectura de red incluye la descripción y especificaciones de los componentes en el sistema de comunicación como puede ser alcance, protocolos, medidas de seguridad y métodos de interconexión.

Por ello son varios los aspectos que influyen y deben ser considerados previos a la decisión de una alternativa para la solución adecuada del diseño de este proyecto.

4.1.1. Aspectos Técnicos

Topología.- La disposición de los equipos en la red de comunicaciones debe ser aquella que permita la mayor cobertura de la manera más práctica, rápida y rentable.

Servicios.- La inclusión de varios servicios adicionales como es el acceso al internet.

Alcance.- El alcance de la señal para una adecuada recepción es un parámetro que no se encuentra normalizado, por lo cual debe analizar cual es la máxima distancia propuesta por los fabricantes.

Seguridad.- En los sistemas BPL debe realizarse un análisis de seguridad en la red, debido al alto riesgo inherente a esta solución. La inseguridad puede afectar la confidencialidad de los datos de los clientes e incrementar las tentativas de fraudes por acceso indebido a servicios no autorizados.

4.1.2. Aspectos Financieros

Costos. Se debe realizar una evaluación previa de los precios de varios fabricantes de equipos BPL para conocer cual es la solución junto con las características técnicas de manera que se ajuste de mejor forma al sistema a diseñar, ofertando no sólo calidad sino precios asequibles.

Número de usuarios. La mayor rentabilidad del proyecto está sujeta al mayor número de dispositivos a instalar por cada usuario, incrementando o decrementando de manera significativa la factibilidad económica del proyecto.

4.1.3. Sostenibilidad

Estándares. Pese a que no existe una norma definida de manera universal, es importante que los equipos operen según las recomendaciones internacionales actualmente 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 entre sí y la presencia de diferentes tecnologías en la misma red eléctrica afecta el funcionamiento y desempeño de los equipos instalados.

Coexistencia. La tecnología BPL provee soluciones aplicables a diferentes ámbitos de operación, tal es el caso de redes de acceso y redes locales. Por ello es necesario considerar la posibilidad de que se empleen equipos de diferentes fabricantes en cada uno de los segmentos, debiendo los mismos operar de manera independiente garantizando su coexistencia.

Escalabilidad. Se refiere a la facilidad de un sistema para expandir o disminuir su capacidad de acuerdo a la demanda del servicio. Para el despliegue de una red BPL y en relación a este aspecto, el principal problema consiste en elegir la ubicación del equipo de cabecera donde se efectúa la conversión de la red de distribución de energía eléctrica a la tecnología BPL.

4.2. ANALISIS DE EQUIPOS

4.2.1. Principales Proveedores de Equipos BPL

Debido al crecimiento de la tecnología BPL, cada vez se han ido incorporando más empresas a su desarrollo y comercialización en el mercado. En la actualidad, existen múltiples proveedores de equipos que permiten emplear la red eléctrica como una red de comunicaciones. Entre estos se encuentran: diseñadores de circuitos integrados específicos para esta tecnología, fabricantes de equipos exclusivamente para redes en el hogar y opciones más completas que incluyen aplicaciones de acceso y conectividad interna.

Entre las principales empresas que actualmente proveen equipos con tecnología BPL son:

- Amperion Inc
- Ascom
- Corinex Communications
- Devolo AG
- Desetech
- DS2
- Intellon
- Main net Communications
- Schneider Electric
- Tecnom
- Telkonet Inc

4.2.2. Evaluación de Alternativas

Entre las principales empresas que ofrecen productos de alta calidad y cuentan con un mayor despliegue comercial tenemos: Corinex Communications, DS2 y Schneider Electric (ILEVO).

De acuerdo con las características entre los principales fabricantes de equipos BPL se pudo analizar:

- La topología de red para un sistema con tecnología BPL es un aspecto que no varía de manera radical entre los principales proveedores.
- Estos fabricantes ofertan de manera adicional elementos básicos empleados en una red BPL como son: filtros, acopladores capacitivos o inductivos y software propietario con el objeto de cumplir funciones de control y administración de la red.
- Los chips que utilizan todos los equipos descritos son fabricados por la empresa Valenciana DS2 y operan en niveles de voltaje de media tensión.
- La técnica de modulación es igual para las tecnologías empleadas por estos fabricantes al igual que el rango de frecuencias en que opera la tecnología.
- Además se analizaron, las interfaces que posee cada equipo, la cantidad de usuarios que soportan siendo los equipos de Corinex los de mayor capacidad.
- Los costos de los equipos varían para los tres fabricantes, siendo los más costosos los de Schneider Electric y los más asequibles los equipos de Corinex.

4.2.3. Definición del Proveedor de Equipos BPL

De acuerdo a un previo análisis que se realizó de toda la información obtenida se concluye que Corinex ofrece equipos para Redes BPL de Acceso y Redes In-home de alta velocidad y rendimiento.

Corinex que es la primera compañía en el mundo con un amplio portafolio de equipos. Así algunos Gateway de Acceso incluyen acopladores integrados en su diseño, brindándoles a los usuarios una mayor confiabilidad, conexión flexible al acceso de la red de Powerline, como también permiten saltar transformadores mejorando el costo de la inversión.

La tecnología OFDM y el poderoso sistema de corrector de errores utilizado en sus equipos permiten un robusto funcionamiento bajo condiciones adversas en las redes eléctricas o coaxiales. Además la tecnología AV200 de Corinex brinda numerosas posibilidades para redes con asombrosa rapidez en la transferencia de datos hasta 200 Mbps.

4.3. DESCRIPCIÓN DE LA CONFORMACIÓN DE LA RED TELEMEDICION.

4.3.1. Análisis de la Infraestructura de la Red Eléctrica.

Para el diseño de este sistema de telemedición se determina inicialmente el sistema BPL al cual pertenece la arquitectura de la red eléctrica correspondiente a la Subestación N° 4, Alimentador N° 3 de la EERSA.

La red eléctrica concentra a los usuarios en subestaciones de transformación de alto a medio voltaje y los alimenta por medio de un numeroso conjunto de transformadores de baja potencia. Por ello se opta por un sistema BPL de media tensión que permita emplear de manera efectiva los puntos de acceso al servicio de telemedición.

La infraestructura de la red eléctrica que corresponde al estudio de este proyecto, comienza desde la subestación de distribución para la cual las líneas de distribución de medio voltaje son de 13.8kV y proporciona de acceso a la red a cada transformador de distribución de media a baja tensión o a cualquier punto de acceso a lo largo de la línea de medio voltaje, como se muestra en la Figura IV.30.

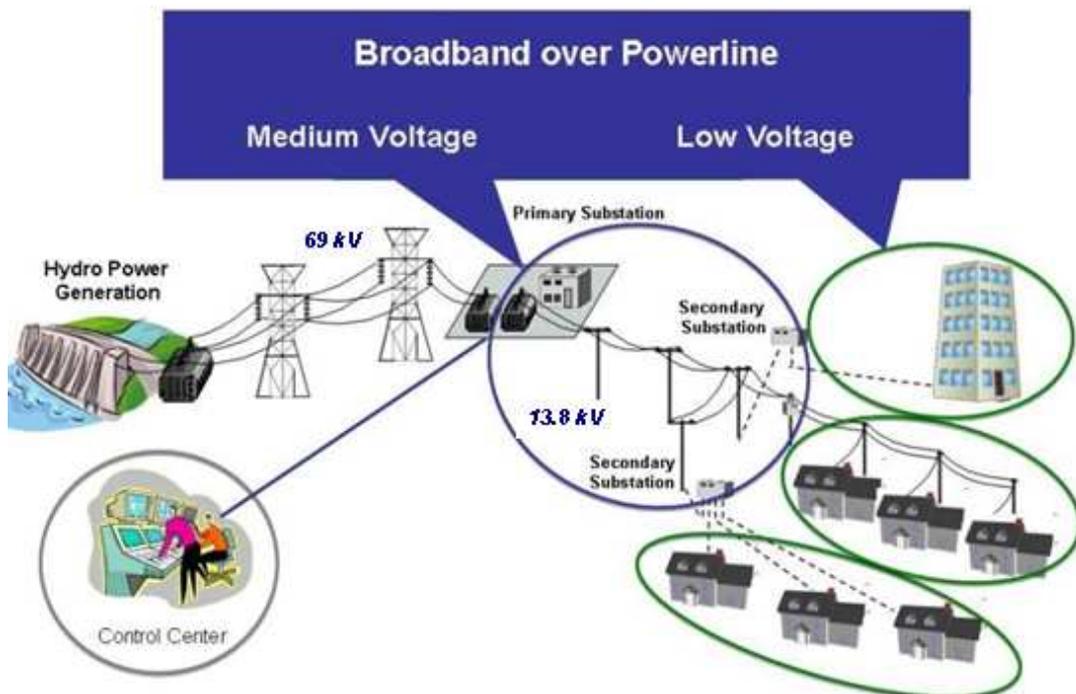


Figura IV.30. Infraestructura de la red eléctrica.

De esta forma el diseño del sistema de telemedición corresponde al Primer Sistema de la Arquitectura BPL denominado "*Outdoor o Acceso*" debido a que la red eléctrica de

distribución de media tensión, es el ámbito operativo en el diseño del proyecto y se extiende desde el transformador de media a baja tensión, hasta los medidores ubicados en residencias, oficinas, entre otras.

Otra de las consideraciones para que se tomo en cuenta para el sistema Outdoor es que varios abonados están conectados a la misma fase, lo que significa que la red eléctrica, desde el punto de vista de transmisión de información, es un medio compartido.

4.3.2. Elementos del Sistema de telemedición.

Para la selección de los equipos se ha tomado en cuenta sus mejores características de manera que posibiliten una óptima transmisión de las señales de datos, a continuación se describe las características de los equipos a ser utilizados.

4.3.2.1. Head End (HE) o Nodo Cabecera

Este equipo es aquel que coordina la frecuencia y actividad del resto de equipos que conforman la red BPL, de forma que se mantenga constante en todo momento el flujo de datos a través de la red eléctrica.

Gateway de Medio Voltaje Resistente al Ruido

Este equipo transforma la red eléctrica de un Servicio Público en un backbone de comunicaciones de banda ancha para los usos de redes inteligentes como es un sistema de telemedición como se indica en la Figura IV.31 (a) y/o el acceso de banda ancha pudiendo ser una red tradicional de acceso al internet como se indica en la siguiente Figura IV.31 (b).

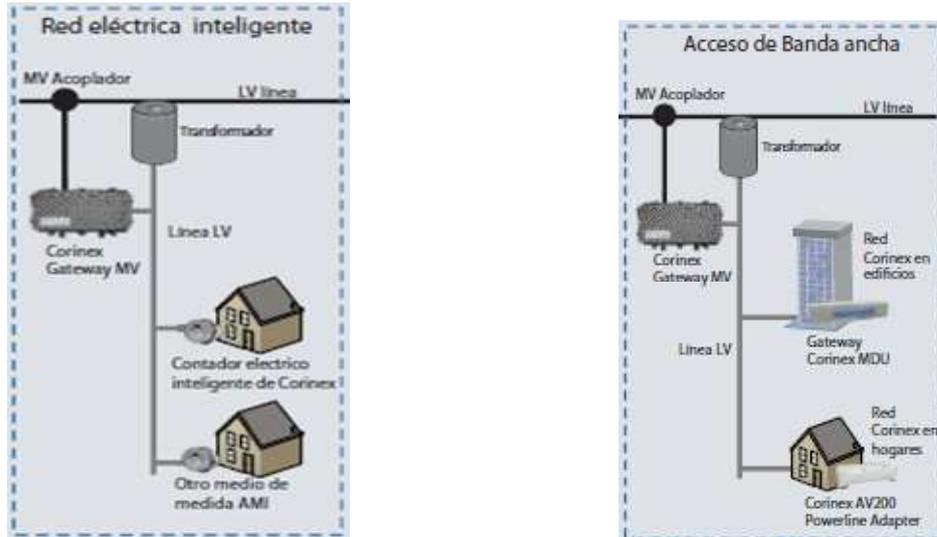


Figura IV.31 (a). Red eléctrica inteligente. Figura IV.31 (b). Acceso de banda ancha

Cada Gateway de Medio Voltaje contiene dos módulos de medio voltaje que permiten comunicaciones en líneas de MV, en el modo eficiente de FDD ; además contiene un modulo de bajo voltaje que permite la inyección simultánea en las líneas del LV, desviando el transformador. Dentro de los usos de redes inteligentes, la tecnología de Corinex permite incluso saltar los transformadores, usando así menos dispositivos y mejorando la Inversión.

Cada Gateway de Medio Voltaje se fabrica con un puerto de Ethernet integrado para permitir conexiones a otros dispositivos. Los filtros de frecuencia internos automatizados son opcionales en las unidades y permiten que el Gateway MV configure automáticamente sus bandas de frecuencia, asegurando completa evolución de la red. Una batería de reserva de 2 horas es opcional para asegurar que la red BPL es operacional durante interrupciones. La reciente tecnología de Corinex "Noise

Resistant” en el Gateway de Medio Voltaje Resistente al Ruido, permite entregar un mejor funcionamiento en términos de ancho de banda y distancia, bajo áreas ruidosas como son las áreas urbanas. Las características del equipo se detallan en el Anexo 4.

4.3.2.2. Home Gateways o Repetidor

El repetidor tiene por función el transporte de los datos recolectados por los medidores de corriente colocados tanto en la parte primaria, como en la secundaria de los transformadores. Este equipo permite regenerar la señal degradada por la atenuación provocada por los cables eléctricos como también permite amplificar la cobertura y alcance de la red BPL.

Low Voltage Gateway

El Gateway de bajo voltaje es el desarrollo mas reciente de la tecnología de Corinex incluye un acoplador integrado trifásico en su diseño como se observa en la Figura IV.32., permitiéndonos elegir la conexión monofásica o trifásica en cualquier momento sin la necesidad de adicionar otras partes o hacer modificaciones durante o antes de la instalación.

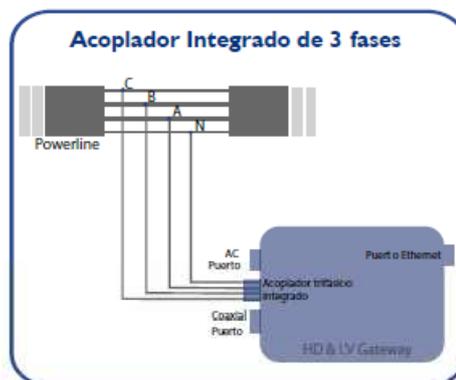


Figura IV.32. Gateway bajo voltaje

En redes dentro del hogar (*In-Home*), los usuarios finales pueden conectar sus dispositivos con conexión Ethernet, tales como PC's, telefonos VoIP, Centros de Media, etc, utilizando los adaptadores AV200 Powerline Ethernet. Las características del equipo se detallan en el Anexo 5.

4.3.2.3. Customer Premise Equipment (CPE) o Equipo cliente

Este equipo se instala junto a los medidores de electricidad de cada usuario final y cuya función es dar conectividad a cada uno de los medidores con cierto software propietario. Adicionalmente dicho equipo terminal da la opción de abastecer de Triple Play a los usuarios finales de requerirse así.

AV200 Powerline Ethernet Adapter

Este equipo permite utilizar cables eléctricos para la transmisión de datos, video y voz (Triple play), como se indica en la Figura IV.33.

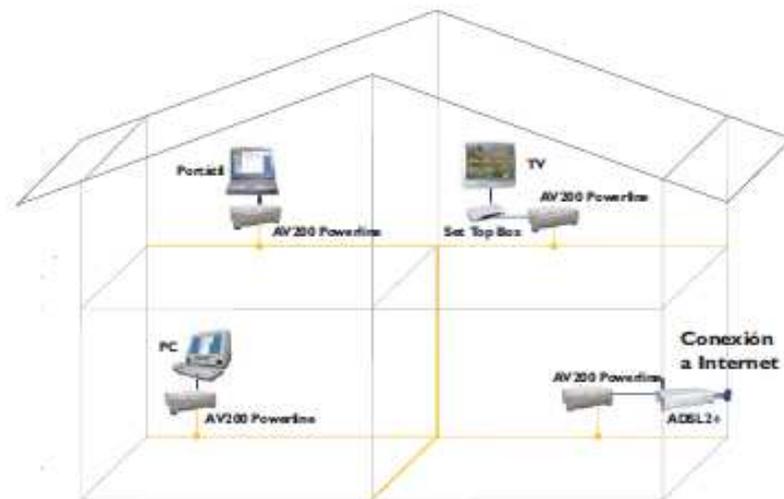


Figura IV.33. Adaptador - CPE

Además permite la creación de redes locales de alta velocidad sin necesidad de cableado. Gracias a que es posible conectarlo prácticamente a cualquier enchufe eléctrico en casas u oficinas, los costos de instalación son abarataados enormemente. Las características del equipo se detallan en el Anexo 6.

4.3.2.4. Descripción de las características técnicas de los equipos BPL

Agentes SNMP y MIB

El Protocolo Simple de Administración de Red o SNMP es un protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.

Un agente es un módulo de software de administración de red que reside en un dispositivo administrado. Un agente posee un conocimiento local de información de administración (memoria libre, número de paquetes IP recibidos, rutas, etc.), la cual es traducida a un formato compatible con SNMP y organizada en jerarquías.

La aplicación define estos atributos en un archivo MIB (Management Information Base).

- Auto configuración basado en un *file format*.
- Basado en IP (fijo o mediante DHCP).
- Consola.

Spanning Tree (STP). 801.D

Protocolo cuya función es la de gestionar 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 lazos. STP es transparente a las estaciones de usuario.

Encriptación DES / 3DES.

Data Encryption Standard (DES) es un algoritmo simétrico de cifrado, es decir, un método para cifrar información. Hoy en día, DES se considera inseguro para muchas aplicaciones. Esto se debe principalmente a que el tamaño de clave de 56 bits es corto; las claves de DES se han roto en menos de 24 horas. Existen también resultados analíticos que demuestran debilidades teóricas en su cifrado, aunque no son viables en la práctica. Se cree que el algoritmo es seguro en la práctica en su variante de Triple DES (3DES), aunque existan ataques teóricos.

VLAN.

Una VLAN (Virtual LAN, 'red de área local virtual') es un método de crear redes lógicamente independientes dentro de una misma red física. Son útiles para reducir el tamaño del dominio de difusión y ayudan en la administración de la red separando segmentos lógicos de una red de área local (como departamentos de una empresa) que no deberían intercambiar datos usando la red local.

Autenticación RADIUS.

RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Server). Es un protocolo de autenticación y autorización para aplicaciones de acceso a la red o movilidad IP.

Filtración MAC

Se puede descartar estructuras de Ethernet que provengan de una dirección MAC no presente en la lista de direcciones MAC permitidas

Modulación

Tecnología OFDM y un poderoso sistema de corrección de errores, permitiendo un óptimo funcionamiento aún bajo condiciones adversas en la red eléctrica. OFDM con 1536 carriers uplink/ downlink, simétrica, hasta 10 bits por el símbolo adaptante por el portador.

Calidad de servicio (QoS).

La Calidad de Servicio (QoS, Quality of Service) es el efecto colectivo del desempeño de un servicio, el cual determina el grado de satisfacción a la aplicación de un usuario. Para que en una red pueda ofrecer el manejo de QoS extremo-a-extremo (end-to-end), es necesario que todos los nodos o puntos de interconexión por los que viaje el paquete de información, posean mecanismos de QoS que ofrezcan un desempeño adecuado a la aplicación en cuestión.

4.3.3. Análisis de transformadores.

Los transformadores son vitales para convertir los niveles de tensión por lo que son un elemento indispensable para los sistemas eléctricos. La adaptación de los niveles de voltaje depende de las diferentes distancias que se presentan en el sistema eléctrico.

Los transformadores son diseñados para que no haya pérdidas de energía o éstas sean bajas, la frecuencia a la que trabajan es de 60 Hz. Para frecuencias usadas en comunicaciones, los transformadores representan un obstáculo natural, el cual causa una separación drástica entre frecuencias, es decir: rechaza las altas frecuencias utilizadas en comunicaciones y sólo deja pasar la frecuencia de trabajo.

Acopladores

Para el diseño de la red de telemedición se ha utilizado acopladores capacitivos debido a que la infraestructura eléctrica correspondiente al área de diseño, pertenecen líneas aéreas de media tensión con un voltaje de 13.8 kV. Estos acopladores permitirán transmitir señales BPL en la banda de frecuencias de 2 a 100 MHz, con bajas pérdidas de inserción menores a -2dB.

4.4. TOPOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA RED DE TELEMEDICIÓN.

El diseño de la red de telemedición con sus principales componentes corresponde a una topología en árbol en la cual hay que considerar una jerarquía para un despliegue satisfactorio de la red BPL.

La red BPL requiere ambas líneas de medio y bajo voltaje como medio de comunicación para conectar sus componentes o también denominados nodos. Como primer componente tenemos el Gateway que tiene dos módulos de medio voltaje para proveer de conexión entre dos nodos de medio voltaje siendo el uno HE (Master) y el otro CPE (Esclavo).

También un Gateway de medio voltaje puede al mismo tiempo proporcionar la función de *master* para brindar acceso a otros nodos de medio voltaje como se indica en la Figura IV.34.

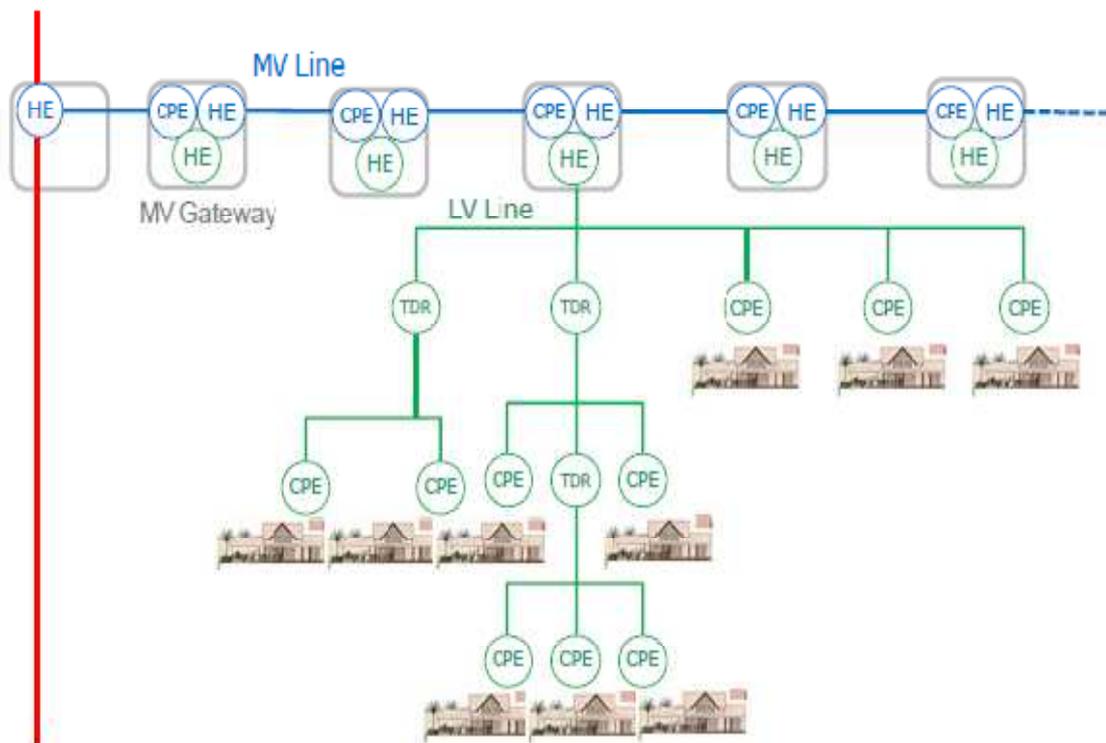


Figura IV.34. Topología de una red BPL.

La red de acceso BPL en la línea de medio voltaje entonces consiste en un número de nodos formados por Gateways de Medio Voltaje, la distancia entre estos nodos depende

principalmente del ruido en la línea de medio voltaje. Así la distancia especificada puede variar en áreas rurales y urbanas.

4.4.1. Modos de transmisión de datos de la red

En el diseño de la red BPL se debe considerar adicionalmente el modo en el que es conveniente transmitir los datos a través del canal de comunicación, es decir a través de la red eléctrica.

Con el software de gestión se pueden configurar los equipos BPL para que puedan trabajar en diferentes bandas de frecuencias denominadas modos de transmisión, esto tiene dos propósitos; el primero es el de no ocasionar posibles interferencias con otros sistemas de telecomunicaciones que se encuentren cercanos a las redes eléctricas usadas como última milla en el caso de que sea necesario; y el segundo propósito es el de usar un mismo cable eléctrico como canal de comunicaciones para transmitir varias señales de datos que tengan diferentes receptores.

TDD (Time Division Duplexing)

Si la comunicación entre dos nodos A y C es hecha usando la banda de frecuencias disponibles, entonces la comunicación entre C y B debería hacerse utilizando la misma banda de frecuencias durante un periodo de tiempo diferente (para evitar colisiones).

Esta configuración es sencilla desde el punto de vista de diseño, pero típicamente proporcionan una alta latencia punto a punto, cada retransmisión necesita esperar antes un tiempo que es el tiempo que se demora la otra retransmisión en liberar el canal.

Adicionalmente ellos hacen uso del ancho de banda de forma ineficiente, como ellos ofrecen altas frecuencias no son muy útiles para líneas de acceso.

FDD (Frequency Division Duplexing)

Si el enlace entre A y C solo usa parte de la banda de frecuencias, entonces el enlace entre C y B puede usar una banda diferente, mientras se hace uso del canal simultáneamente. Esta configuración por división de frecuencia proporcionan bajan latencia, además permiten hacer un uso más eficiente del espectro de frecuencias: las bajas frecuencias pueden ser reservadas para líneas de acceso de largas distancias, mientras que las altas frecuencias son dejadas para las cortas distancias en edificios o el hogar.

Debido a que el sector en estudio requiere un gran número de nodos esto permitirá que incremente la latencia y rendimiento reduzca por lo que justifica tener una configuración FDD de los equipos.

Se dispone de 13 diferentes modos de transmisión que están en un rango de frecuencias entre 2MHz y 34 MHz, adicionalmente cada modo tiene cuatro submodos de operación para transmitir datos sobre la misma línea eléctrica sin ocasionarse distorsión mutuamente.

4.5. DISEÑO DE LA RED DE TELEMEDICIÓN.

En este punto del diseño, describiremos la ubicación exacta de cada uno de los componentes de la red BPL, que en secciones anteriores fueron descritos teóricamente y funcionalmente.

4.5.1. Descripción del sector

En la Figura IV.35., se especifica el sector de estudio el cual inicia desde la subestación Nª 4 hasta llegar a la ciudadela "Los Álamos" donde se realizara la lectura de los medidores.

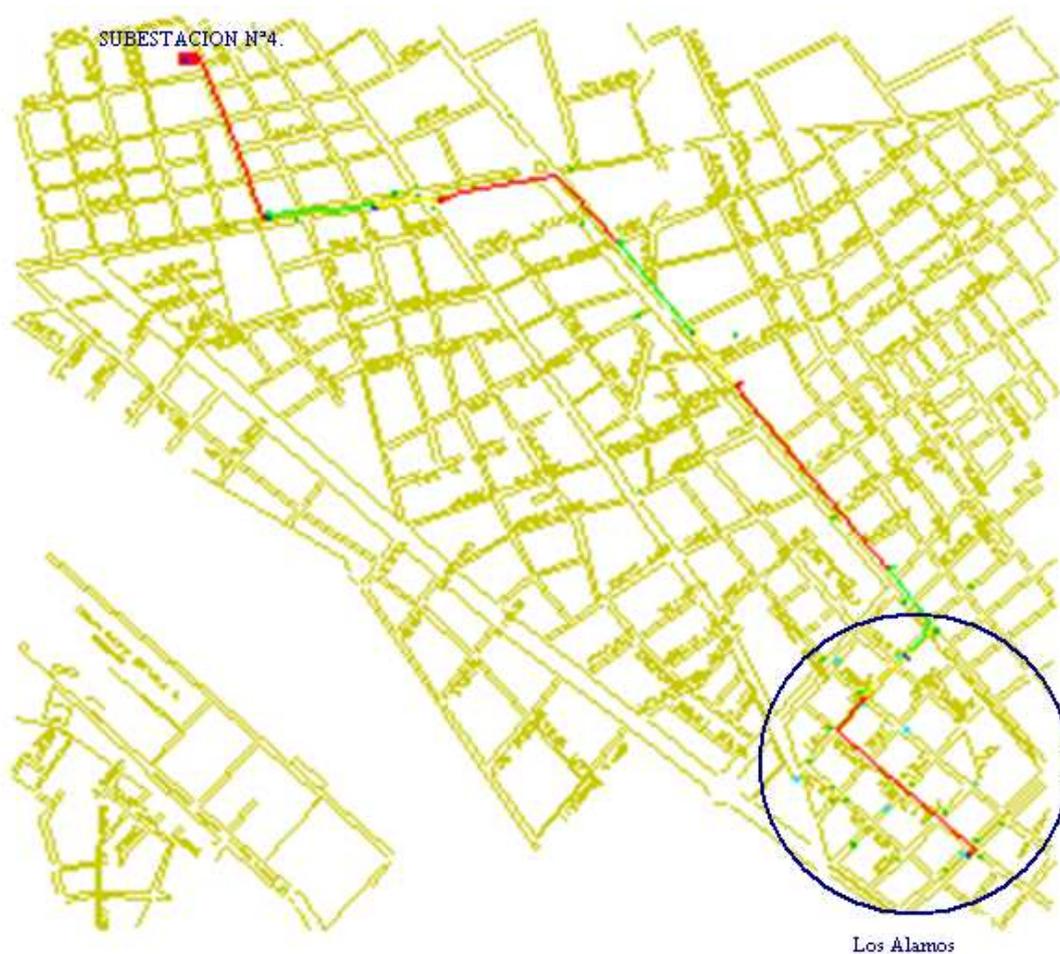


Figura IV.35. Especificación del Sector

4.5.2. Diseño del backbone para la red de telemedición.

El diseño del backbone utilizara la red eléctrica primaria de 13.8 kV, específicamente la fase B de la línea trifásica con una distancia de 2869.07 m el cual inicia desde el alimentador N° 3 de la subestación N° 4 siguiendo por las calles Pastaza, Av. Monseñor Leonidas Proaño, Av. Jose A. Lizarzaburu, Emilio Colina, Segundo Rosero, finalizando en la Av. Saint Ammond como se indica en la Figura IV.36.



Figura IV.36. Backbone para la red de Telemedición.

4.5.2.1. Estimación de la distancia.

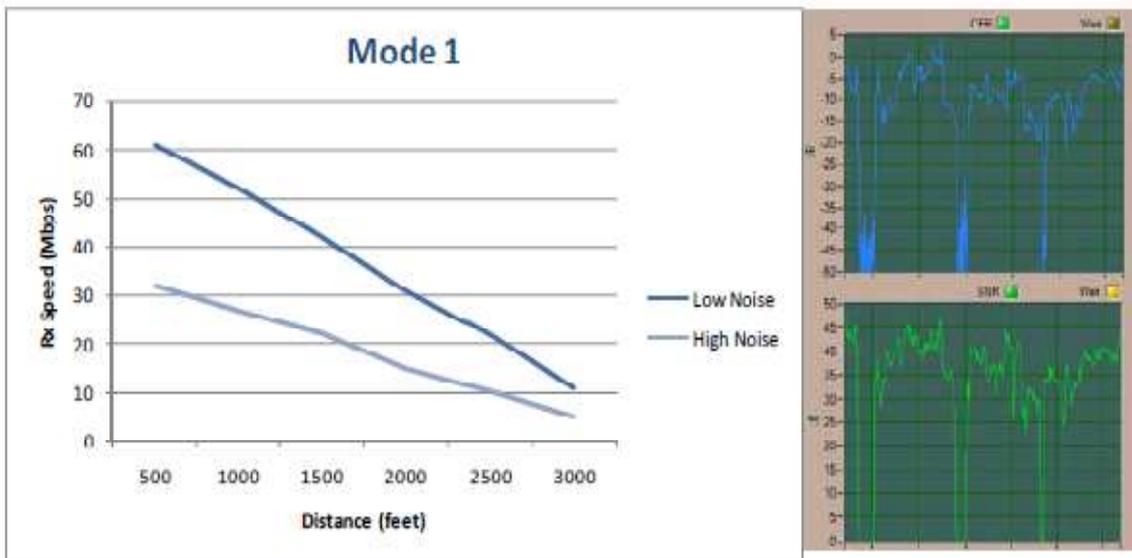
La configuración FDD de los equipos de medio voltaje permite dividir al canal (2-34 Mhz) en tres subcanales o también llamados modos los cuales están en diferentes rangos de frecuencias como se indica en la Tabla IV.17.

Tabla IV.7. Modos de transmisión.⁷

Modos	Frecuencias
Modo 1	2 – 13 MHz
Modo 2	13.5 – 23.5 MHz
Modo 3	24 – 34 MHz

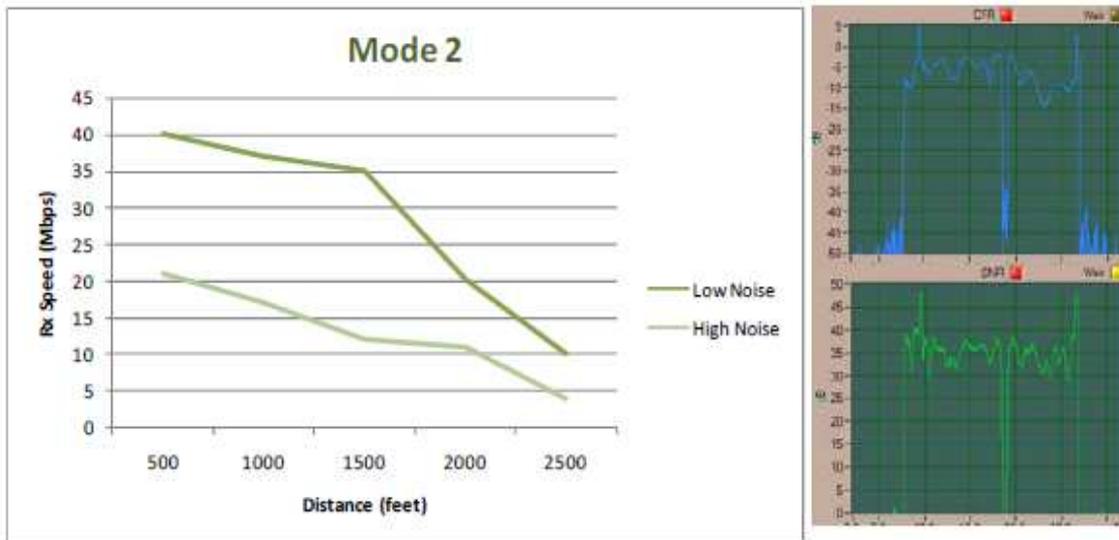
Para la estimación de distancias se tomara en cuenta las curvas características de cada uno de los modos los cuales están es función de la distancia y la velocidad de transmisión como se indica en las Figura IV.37, 38, 39.

⁷ Fuente: Datasheet Gateway Medio Voltaje - Corinex.



FCC notches and power mask are on
Low noise - background noise below -120 dBm/Hz, Rural area
High noise - background noise below -100 dBm/Hz, Urban area

Figura IV.37. Velocidad de transmisión en función de la distancia para el Modo 1.



FCC notches and power mask are on.
Low noise - background noise below -120 dBm/Hz, Rural area
High noise - background noise below -100 dBm/Hz, Urban area

Figura IV.38. Velocidad de transmisión en función de la distancia para el Modo 2.

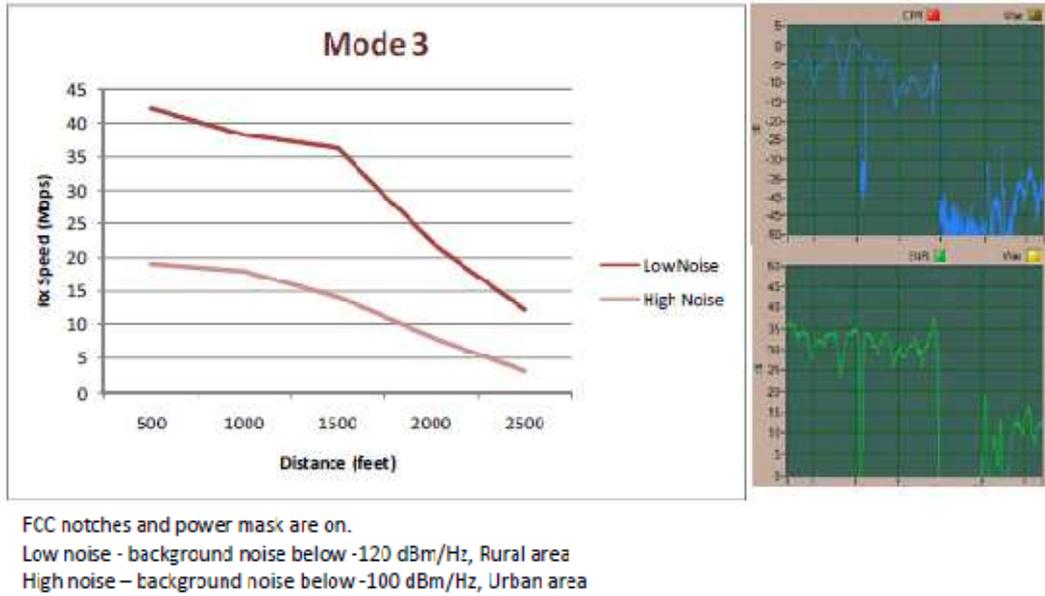


Figura IV.39. Velocidad de transmisión en función de la distancia para el Modo 3.

Una limitación, similar a la de cualquier sistema de telecomunicaciones, es la atenuación de la señal con la distancia. Por este motivo las distancias fueron estimadas considerando un ruido extremo disminuyendo las distancias especificadas en las características de los equipos. Así las distancias estimadas para el Modo 1, 2, 3 son 457 m, 219 m, 127 m correspondientemente, como se indica en la Figura IV.40.

A lo largo de todo el backbone se alternara los tres modos simultáneamente para transmitir los datos sobre la línea eléctrica sin ocasionar distorsión.

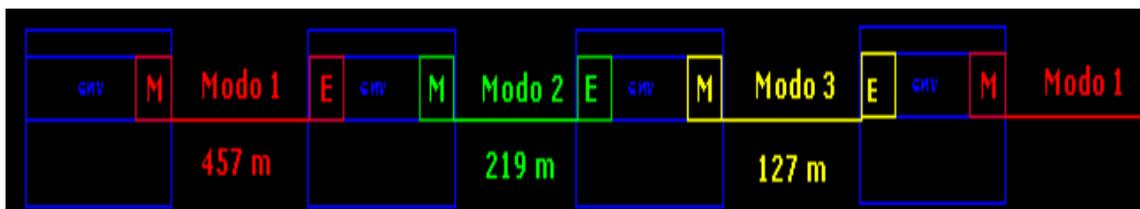


Figura IV.40. Distancias y Modos entre Gateways de Medio Voltaje.

En el backbone de la red se ha instalado un total de 11 Gateway de Medio voltaje Resistente al ruido. Y para la distancia de estos equipos se ha considerado un ruido extremo de -100 dBm/Hz obteniendo una transmisión de datos de 18 Mbps en este caso. En la Tabla V.8, se muestra la velocidad de transmisión para un típico y alto ruido.

Tabla IV.8. Velocidad de transmisión considerando el ruido.⁸

	Forward Link	Reverse Link
Typical Noise	51 Mbps	43 Mbps
High Noise	37 Mbps	41 Mbps
Extreme Noise	18 Mbps	25 Mbps

4.5.2.2. Conexión de acopladores.

El tipo de configuración es clave en la evolución de los sistemas BPL, porque permite enlazar múltiples usuarios y que con una sola conexión todos accedan a redes de datos complementarias; evitando así llevar un terminal a cada uno de los transformadores de media a baja.

Este Gateway usa una señal de fase diferencial para eliminar el ruido en la línea eléctrica alcanzando mayor velocidad y distancia. Para el diseño se utilizara las fases B y C, donde en la fase B se inyectara la señal de alta frecuencia debido a que la red

⁸ Fuente: Datasheet Gateway Medio Voltaje – Corinex.

secundaria del sector de estudio se alimenta por esta fase y la fase C servirá solamente para realizar la diferencia de fase para eliminar el ruido.

El Gateway de medio voltaje resistente al ruido requiere dos acopladores capacitivos de medio voltaje para la instalación como se muestra en la Figura IV.41 (a) y (b).

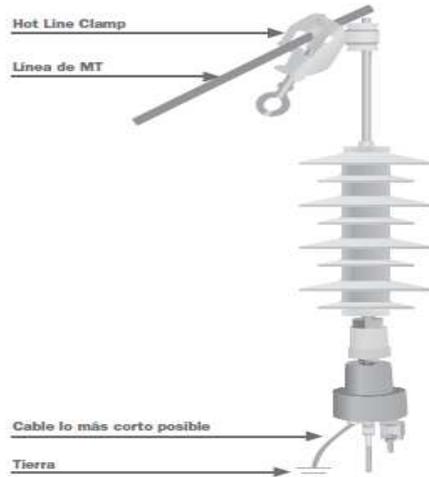


Figura IV.41 (a). Conexión de acopladores capacitivos.

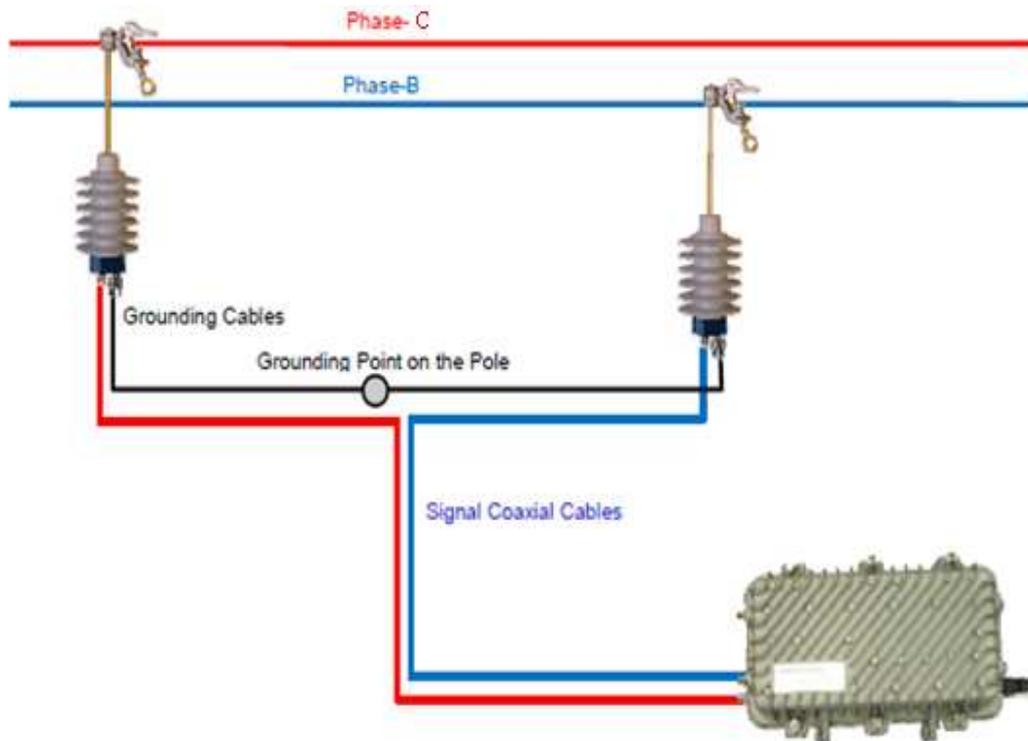


Figura IV.41 (b). Conexión de acopladores capacitivos.

En este punto se unen la señal eléctrica de baja frecuencia con la señal de datos de alta frecuencia sin causar distorsión la una a la otra.

4.5.2.3. Conexión Gateway de Medio Voltaje a la Red Primaria.

El Gateway de MV tiene tres conectores TNC como se muestra en la Figura IV.42, los conectores TNC-A y TNC-B, son principalmente usados con los acopladores de medio voltaje, como es una instalación de dos acopladores ambos conectores serán utilizados. Si es una instalación con un solo acoplador o una señal de una sola fase. Solamente TNC-A debe ser usado y TNC-B se dejara abierto.



Figura V.42. Conectores Gateway Medio Voltaje.

Cada uno de los equipos de medio voltaje que conforman el backbone de la red específicamente en la fase B de la línea trifásica de 13.8 kV, deberán ser instalados como se indica en la Figura IV.43.

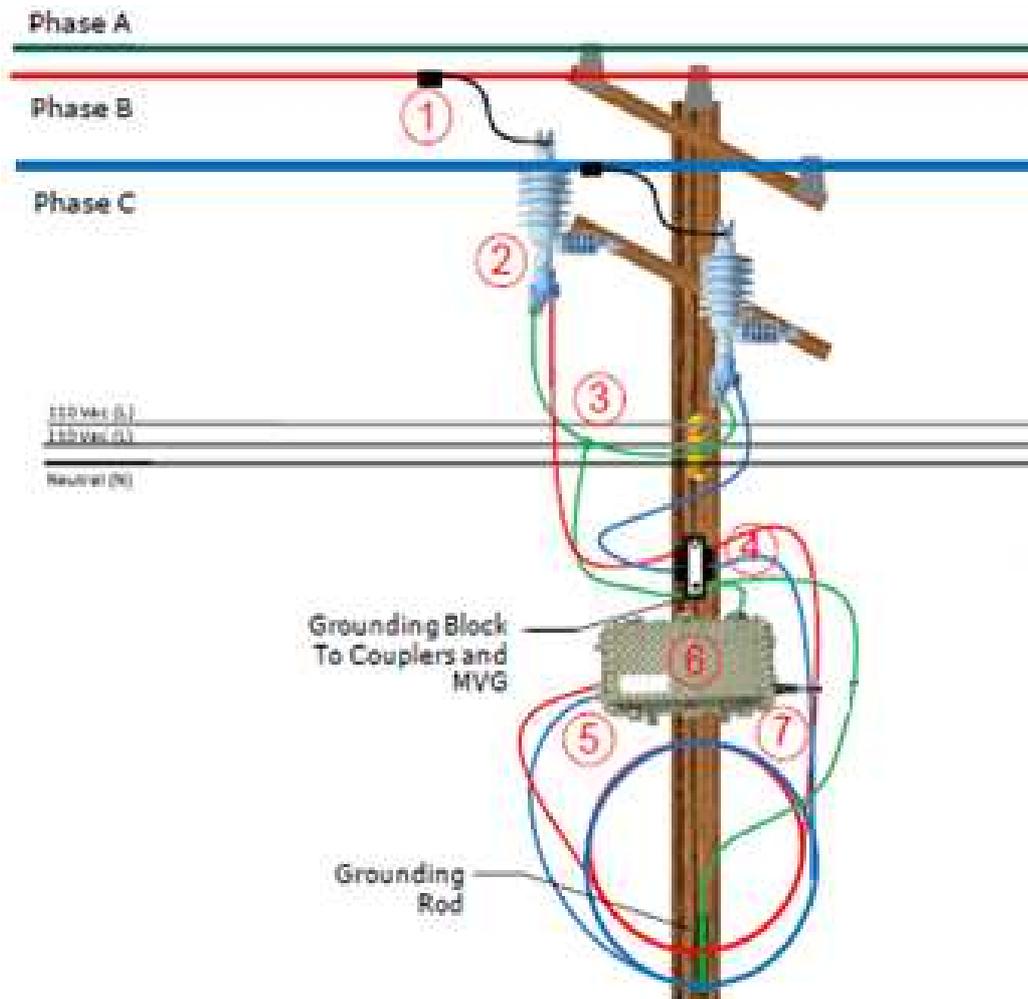


Figura IV.43. Instalación Gateway medio voltaje a la red primaria.

1. Selección de fase B para la transmisión de datos.
2. Acoplador de medio voltaje
3. Cables a tierra
4. Bloques a tierra incorporado en Gateway MV Resistente al Ruido.
5. Cables de señal en el Gateway de MV hacia los acopladores.
6. Gateway MV
7. Alimentación del equipo

4.5.3. Red de Distribución y Acceso

4.5.3.1. Especificación del Sector

Para el diseño de la red de teledistribución se ha seleccionado 22 manzanas del Sector “Los Alamos”, las mismas que están comprendidas por las avenidas: 11 de Noviembre, Jose A. Lizarraburu, Saint Ammond Montread y Canonigo Ramos como se indica en la Figura IV.44, con un total aproximado de 459 acometidas en el sector.

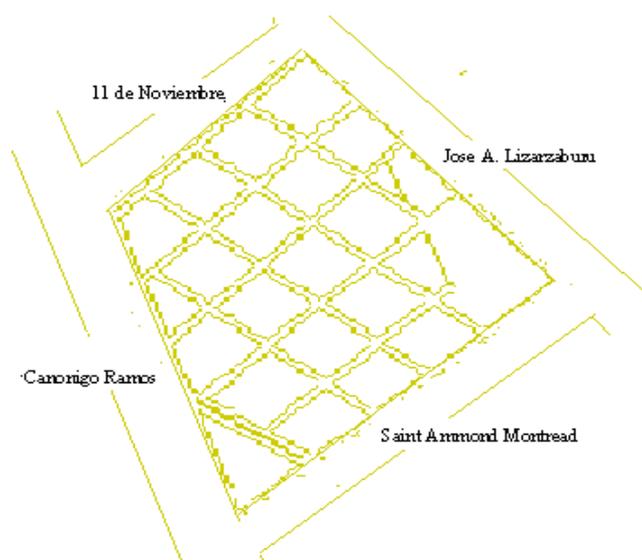


Figura IV.44. Sector de estudio.

4.5.3.2. Red de Distribución.

El diseño de la Red de Distribución corresponde a la red secundaria del sector especificado en la cual se utilizara 8 Gateways de Bajo Voltaje los mismos que permitirán inyectar la señal BPL en las tres fases de la línea eléctrica, permitiéndonos tener una cobertura total para todas las acometidas del sector. El Gateway de bajo voltaje tiene un alcance de 300m y se puede conectar hasta 64 acometidas por tal

motivo la ubicación de este equipo se realizó de forma que tenga un alcance para las 64 acometidas.

Para poder transmitir los datos de la red primaria a la red secundaria, el Gateway de medio voltaje a través de su modulo incorporado de bajo voltaje permitirá conectarse a la red secundaria como indica la Figura IV.45.

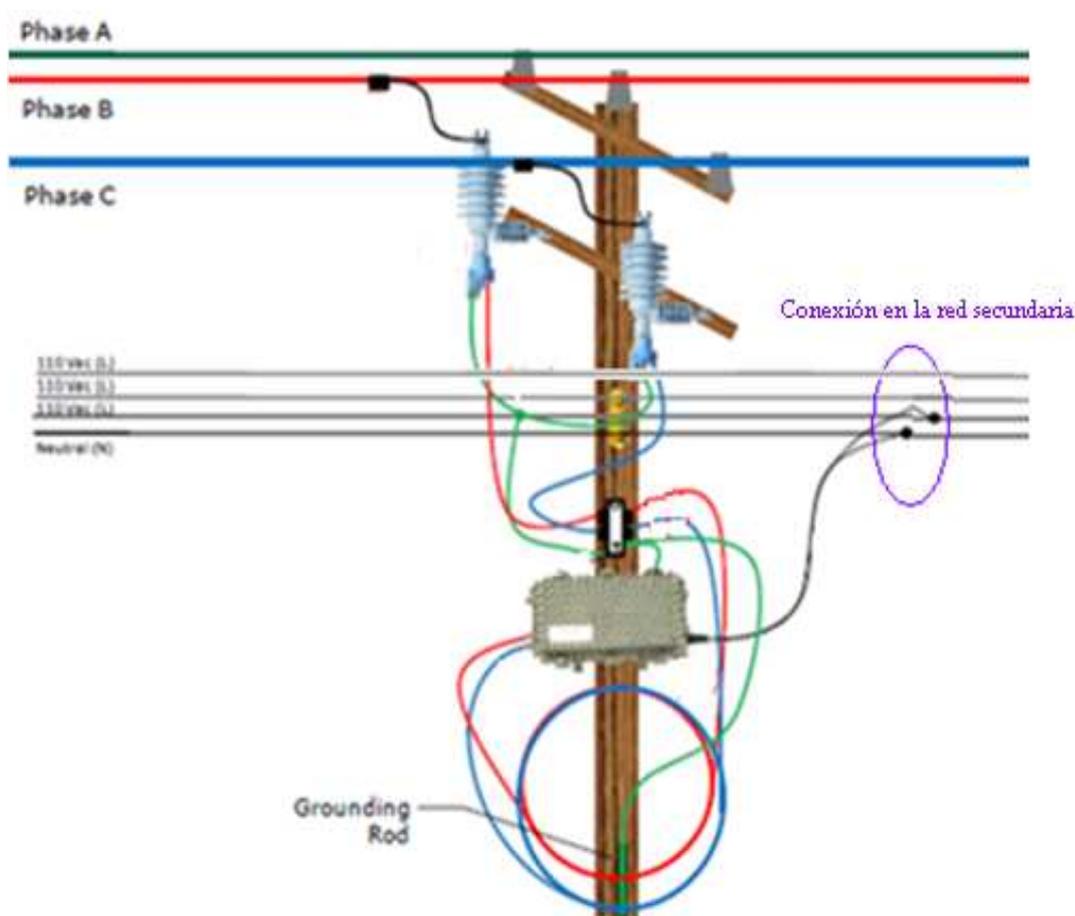


Figura IV.45. Conexión del Gateway MV a la red secundaria.

A continuación del Gateway de medio voltaje se conecta el Gateway de bajo voltaje este equipo incluye un acoplador trifásico en su diseño permitiéndonos inyectar la señal en las tres fases de la línea eléctrica, sin la utilización de acopladores capacitivos

como se indica en la Figura IV.46, debido a que la estructura de la red secundaria del sector es un línea trifásica y neutro.

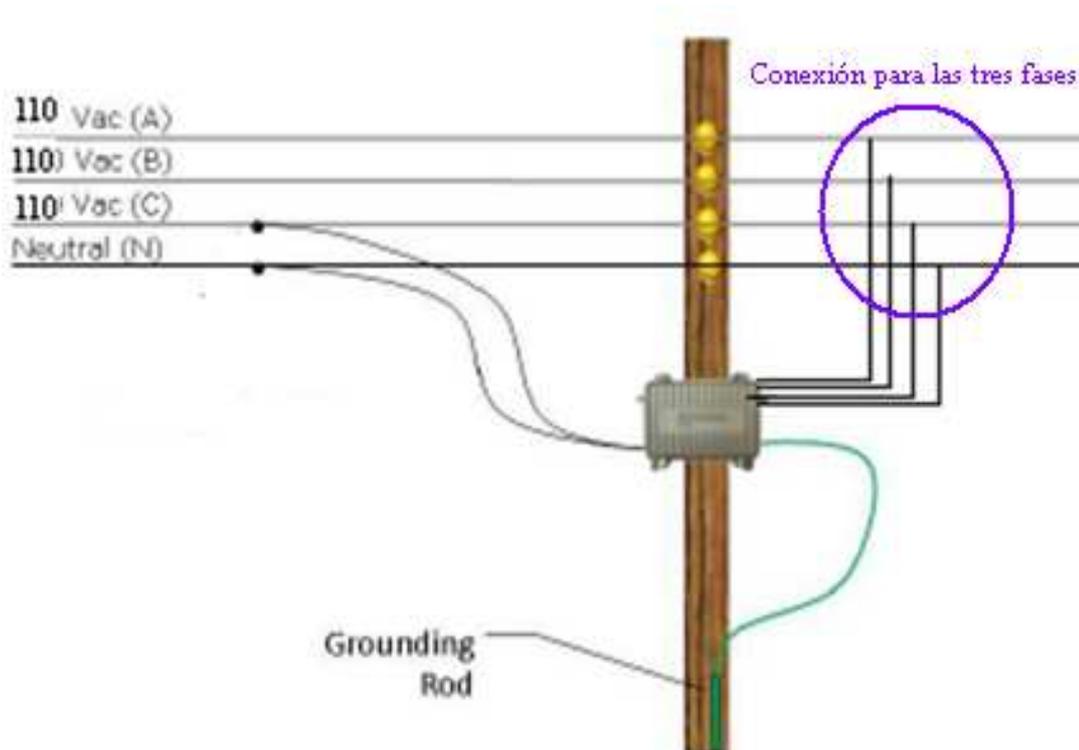


Figura IV.46. Conexión del Gateway de bajo voltaje.

4.5.3.3. Red de Acceso.

La red de acceso corresponde a los usuarios del sector donde cada modem BPL será instalado en el hogar del abonado, junto a los medidores de electricidad de cada usuario final para brindar conectividad a cada uno de los medidores, como se indica en la Figura IV.47.

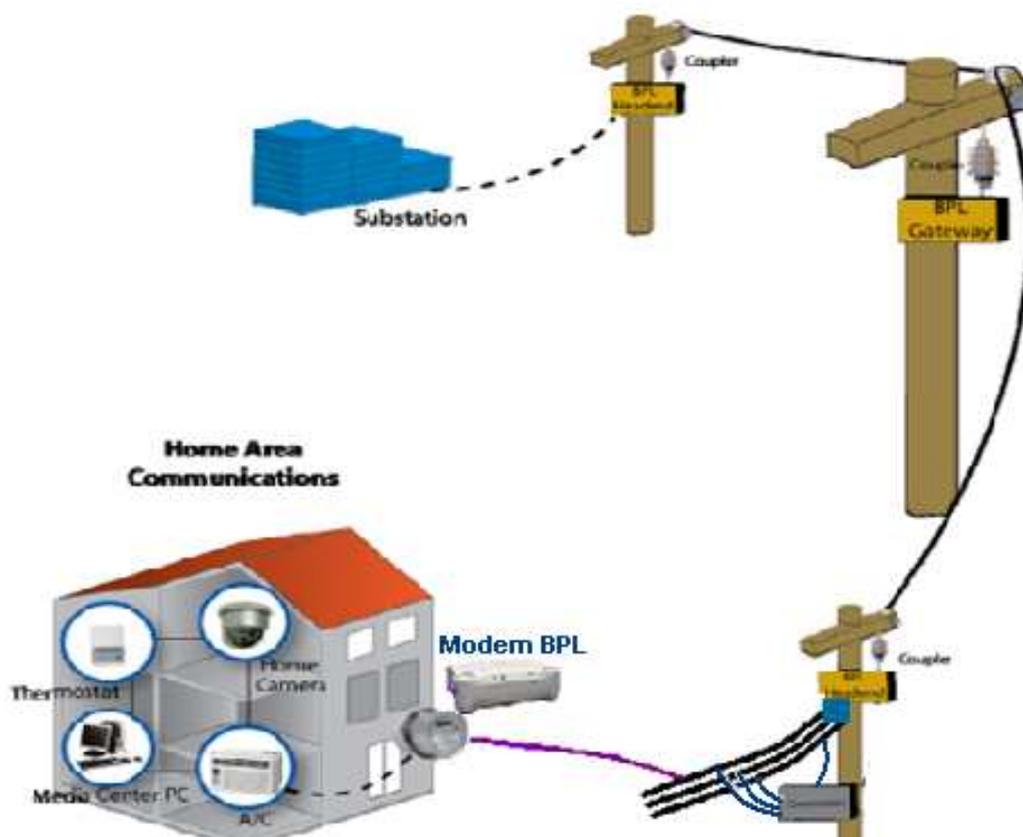


Figura IV.47. Conexión del medidor de energía eléctrica.

El diseño de la red de teledetección para el sector establecido con cada uno de los equipos se puede ver en los Anexos 7, 8.

Con lo analizado anteriormente podemos decir que existe facilidad técnica para la futura implementación del proyecto BPL en la zona de cobertura del mismo, ya que ha sido identificada la mejor opción de topología y los equipos necesarios están disponibles en el mercado.

CAPÍTULO V

PRESUPUESTO

5.1. INTRODUCCIÓN

Después de haber realizado los estudios respectivos para el diseño de la red de Telemedición, se realizará un presupuesto estimado de los equipos a utilizarse. Se tomará como referencia los precios de la empresa “New Access” proveedora de equipos Corinex en el Ecuador.

Adicionalmente, con el objeto de analizar la conveniencia de ejecución del proyecto a futuro, se incluye en este capítulo los siguientes modelos de negocio posibles para la empresa proveedora de los servicios inherentes a BPL.

5.2. MODELOS DE SERVICIO

La empresa distribuidora del servicio eléctrico, en este caso la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., puede optar por incursionar de manera independiente en el mercado BPL, asumiendo de manera directa todos los gastos que requiera la implementación del proyecto. Sin embargo, en la actualidad la incertidumbre económica obliga a analizar aspectos de viabilidad previa a la introducción comercial.

La experiencia muestra que las empresas que realizan un plan detallado y actúan aprovechando sus fortalezas existentes tienen más éxito que otras que desarrollan actividades fuera del ámbito de su actividad principal.

Experiencias obtenidas por grupos de trabajo en países españoles, apuntan a que se puede desarrollar 3 tipos de modelos de negocio que se pueden aplicar en la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

5.2.1. Operador Global.

El primero de estos modelos proporciona el servicio final al usuario sobre una infraestructura propia, para lo cual deberá obtener el permiso para proveer el servicio de valor agregado y una concesión para el servicio portador; es decir, asumirá costos totales de implementación, operación y control de ingresos que genere el proyecto.

5.2.2. Sociedad de Servicios Compartidos.

El segundo modelo se basa en la participación de dos empresas, que negociarán porcentajes de participación, una de las empresas es distribuidora del servicio eléctrico y la otra propietaria del backbone de comunicaciones.

5.2.3. Portador Independiente.

En el tercer modelo la empresa que proporciona el servicio eléctrico no asume riesgos, por lo que se mantiene al margen de la provisión del servicio BPL, ésta solamente dará en préstamo su infraestructura a un proveedor interesado en la prestación del servicio BPL y por ello fijará una tarifa de arrendamiento.

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A., puede tomar la decisión de adentrarse de manera independiente en ser proveedor de servicios de telecomunicación y control a través de redes BPL, asumiendo de manera directa todos los gastos pertinentes al montaje del proyecto.

5.3. PRESUPUESTO

5.3.1. Estimación de costo de equipos.

Además de un análisis técnico que se realizó para la selección de los equipos también fue necesario realizar un análisis de costos siendo Corinex una empresa que ofrece precios competitivos. En la Tabla V.9 se muestran el número de equipos que se utilizan en el diseño del backbone de la red.

Tabla V.9. Costos de Equipos para el backbone de la red.⁹

NOMBRE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (UDS)	TOTAL (UDS)
Gateway Medio Voltaje	11	1489.95	16389.45
Terminadores	46	12	552
Total			16941.45

En la Tabla V.10 se muestran el número de equipos que se utilizan en el diseño de la red de distribución.

Tabla V.10. Costos de Equipos para la red de distribución.¹⁰

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (UDS)	TOTAL (UDS)
Gateway Bajo Voltaje	8	532.13	4257.04
Total			4257.04

En la Tabla V.11 se muestran el número de equipos que se utilizan en el diseño de la red acceso.

Tabla V.11. Costos de Equipos para la red de acceso.¹¹

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (UDS)	TOTAL (UDS)
Modem Power Line	459	152.87	70167.33
Total			70167.33

⁹ Fuente: Tabla Generada por el autor de tesis.

¹⁰ Fuente: Tabla Generada por el autor de tesis.

¹¹ Fuente: Tabla Generada por el autor de tesis.

En la Tabla V.12 muestra el costo total de los equipos que se utilizaran para el diseño de la red de telemedición.

Tabla V.12. Costo total de Equipos.¹²

EQUIPOS	TOTAL (UDS)
Backbone de la red	16941.45
Red de distribución	4257.04
Red de acceso	70167.33
Total	91365.82

De los precios obtenidos podemos ver que el diseño de la Red BPL tiene un alto costo, esto se debe a que es una tecnología reciente, por lo que, con el avance de la misma, estos precios tenderán a bajar con el incremento de la competencia.

5.3.2. Estimación de costos de la mano de obra.

En este punto se analiza el costo de mano de obra para la futura implementación de la solución, en este sentido el costo por el tamaño de la red es pequeño, por lo cual se determina un ingeniero para la configuración de todo el sistema con la ayuda de tres técnicos, además se estima un tiempo de implementación aproximado de cuatro meses entre instalación, periodo de pruebas y producción de la red de telemedición, como se indica en la Tabla V.13.

¹² Fuente: Tabla Generada por el autor de tesis.

Tabla V.13. Costo de mano de obra.¹³

PERSONAL	COSTO/MES (USD)	COSTO/4 MESES (USD)
1 Ingeniero	1500	6000
3 Técnicos	800	9600
Total		15600

5.3.3. Sistema de Gestión

El costo del sistema de gestión para la administración de los equipos es de \$ 31900 USD.

5.3.4. Presupuesto Total para el diseño de la Red de Telemedición.

El costo total para la implementación futura del proyecto se detalla en la Tabla V.14.

Tabla V.14. Costo de mano de obra.¹⁴

	COSTO (USD)
Equipos	91365.82
Mano de Obra	15600
Sistema de Gestión	31900
Total	138865.82

¹³ Fuente: Tabla Generada por el autor de tesis

¹⁴ Fuente: Tabla Generada por el autor de tesis

El costo estimado total para la implantación del proyecto sobre la red eléctrica es de \$ 138865.82 USD.

Si la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., decide adentrarse de manera independiente en ser proveedor de servicios de telecomunicación y control a través de redes BPL, puede asumir de manera directa todos los gastos pertinentes al montaje del proyecto o puede asumir los costos de equipos e instalación de la red de backbone, distribución y software de gestión como se indica en la Tabla V.15, siendo los usuarios los que pueden asumir los costos de los equipos de la red de acceso como se indica en la Tabla V.16; de esta forma la empresa eléctrica reducirá los costos de inversión.

Tabla V.15. Costo Total por la EERSA¹⁵

EQUIPOS	TOTAL (UDS)
Backbone de la red	16941.45
Red de distribución	4257.04
Mano de Obra	15600
Sistema de Gestión	31900
Total	68698.49

Tabla V.16. Costo del Usuario.¹⁶

EQUIPOS	TOTAL (UDS)
Red de acceso	70167.33
Total	70167.33

¹⁵ Fuente: Tabla Generada por el autor de tesis

¹⁶ Fuente: Tabla Generada por el autor de tesis

La inversión se justifica tanto tecnológica como económicamente, ya que es un proyecto que impulsa el desarrollo de las telecomunicaciones, 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.

CONCLUSIONES.

- De acuerdo a lo analizado en capítulos anteriores podemos decir que existe factibilidad técnica para la futura implementación del proyecto BPL en la zona de estudio, debido a que se ha identificado la mejor opción de topología y los equipos necesarios están disponibles en el mercado.
- El diseño de la red de telemedición estará conformada por la red de backbone, distribución y acceso, además como medio de transmisión se utilizará la infraestructura de la red eléctrica de media (13.8kV) y baja tensión (110kV), ahorrando la inversión de un nuevo cableado
- Con este estudio y diseño de Red de Telemedición, la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., busca tener un sustento técnico y económico para la implementación de proyecto a futuro.
- Para la ubicación de los equipos en el backbone de la red de telemedición se tomo en cuenta un ruido extremo de -100dBm/Hz, correspondiente a una zona urbana, permitiéndonos alcanzar distancias entre 457m, 219m y 127m de acuerdo a los modos 1, 2 y 3 correspondientemente, alcanzando una velocidad de transmisión de datos mínima de 18 Mbps.
- BPL es una tecnología de acceso de banda ancha probada en otros países y tecnológicamente viable que usa una infraestructura existente con mayor cobertura que otras tecnologías y da soporte a todos los servicios proporcionados por IP: Internet, telefonía, televisión, domótica, etc.

- La modulación que ha adecuado la señal de datos al medio eléctrico con eficientes resultados, es OFDM, que utiliza múltiples portadoras generadas por el principio de ortogonalidad, dando lugar al máximo aprovechamiento del ancho de banda.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda que al implementar la red BPL se la aproveche para entregar nuevos servicios como: facturación en línea, el prepago eléctrico, conexión y desconexión del servicio en tiempo real, reclamos por mala calidad de servicio vía web, acceso al internet, etc.
- Para la completa integración del sistema BPL será importante llevar a cabo pruebas de campo, en las que se debe caracterizar las líneas de distribución de energía eléctrica de bajo voltaje, para obtener la atenuación permisible y verificar la distancia máxima de comunicaciones BPL.
- La solución BPL es una alternativa válida para nuestro país en el área de las telecomunicaciones, sus ventajas técnicas y de cobertura así lo garantizan. Por lo cual, se recomienda profundizar en su estudio involucrando a los principales sectores relacionados con la normalización de los servicios de comunicaciones en nuestro país.
- Las instalaciones eléctricas de la red (outdoor) y del domicilio (indoor) debe estar en buen estado, si no, se producirían diversas incompatibilidades.
- Esta tecnología se puede utilizar para proveer servicios de Internet y telefonía en zonas en las cuales no llega el bucle telefónico.

RESUMEN

Se realizó el estudio y diseño de una red de telemedición utilizando tecnología Broadband over Power Line o BPL para la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., Subestación N° 4, Alimentador N°3., para transmitir datos de consumo eléctrico, utilizando medios de transmisión: líneas eléctricas de medio y bajo voltaje.

Para el diseño se analizó la infraestructura de la red eléctrica correspondiente al sector de estudio determinando la ubicación óptima de cada uno de los equipos tanto en la red primaria (13.8 kV) como en la red secundaria (110 V).

La red de telemedición está conformada por tres nodos: Cabecera, Repetidor y Usuario; adicionalmente un acoplador capacitivo que permite inyectar la señal de alta frecuencia en las líneas de medio voltaje aéreas, que está conectado al nodo cabecera que coordina la actividad de los equipos de la red. Para la distancia entre los equipos se tomó en consideración un ruido extremo de -100 dBm/Hz que permitirá obtener una velocidad de transmisión de 18 Mbps, la configuración FDD de los equipos permite dividir el canal de comunicaciones en tres subcanales evitando ocasionar posibles interferencias con otros sistemas de telecomunicaciones. En la red secundaria se instalará el nodo repetidor para que se pueda transmitir los datos de los medidores, el mismo que se conecta a un módem para la transmisión por la línea eléctrica de 110V.

Este estudio y diseño será un sustento tecnológico y económico para la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., para transmitir datos por la línea eléctrica y su futura implementación.

La tecnología BPL permitirá a la empresa Eléctrica Riobamba S.A., ingresar fuertemente en el campo de las telecomunicaciones debido a que utiliza su infraestructura eléctrica como medio de transmisión, disminuyendo costos de un nuevo cableado.

SUMMARY

We performed the study and design of a network of telemetering using technology Broadband over Power Line or BPL for the Riobamba Electric Company, Substation No. 4, Feeder No. 3., For transmitting electricity consumption, using means of transmission: power lines half and low voltage.

For the design studied the grid infrastructure for the sector study by determining the optimal location of each of the network equipment in both primary (13.8 kV) and the secondary (110 V).

The telemetry network is comprised of three nodes: header, Repeaters and User; additional capacitive coupler to inject the high frequency signal in the medium voltage overhead lines, which is connected to head node that coordinates the activities of teams network. For the distance between the teams was considered an extreme noise of -100 dBm / Hz which will produce a transmission speed of 18 Mbps, FDD configuration of the teams to split the communication channel into three subchannels to avoid causing interference with other telecommunications systems. In the secondary system was installed to relay node can transmit the data from the sensors, the same that is connected to a modem for transmission via power line 110V.

This study and design will be a technological and economic support for the Riobamba Electric Company to transmit data over the power line and its future implementation. BPL technology will allow the Riobamba Electric Company , enter strongly in the field of telecommunications because it uses its electric infrastructure as a means of transmission, reducing costs of new wiring.

GLOSARIO.

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital Asimétrica). Tecnología que permite efectuar transmisiones con gran anchura de banda por líneas telefónicas convencionales para el acceso de los abonados a aplicaciones basadas en multimedia.

ANCHO DE BANDA: capacidad para transportar datos o velocidad de transmisión que posee un medio en particular.

ATENUACIÓN: pérdida de energía de una señal conforme se propaga a su destino por un medio de transmisión.

BACKBONE: columna vertebral de una red de comunicación. Involucra un mecanismo de conectividad primario, que a través de una línea de alta velocidad permite distribuir el tráfico de paquetes a otras líneas menores.

BANDA ANCHA: capacidad de transmisión con anchura de banda suficiente para ofrecer conjuntamente voz, datos y vídeo.

BIFÁSICO: sistema formado por dos corrientes alternas iguales y desfasadas entre sí un cuarto de ciclo.

CABLE MÓDEM: tecnología que permite acceso a Internet a través de las redes de televisión por cable.

CAPACITANCIA: propiedad de un sistema de conductores y dieléctricos que permite almacenar electricidad cuando existe una diferencia de potencial entre los conductores.

COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA: funcionamiento de un equipo electrónico sin que interfiera con otros próximos con su radiación ó sea afectado por la de ellos.

DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA: energía total de salida por unidad de ancho de banda de un pulso o secuencia de pulsos para los cuales la potencia de transmisión está al máximo nivel dividida para la duración total de la señal de pulsos.

DIAGRAMA UNIFILAR: diagrama de conexión eléctrico que incluye todas las partes que lo conforman, tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos, para lograr así la forma una visualización completa del sistema de la forma más sencilla.

DOWNSTREAM: flujo de datos recibido por un el terminal de usuario desde el proveedor o la red.

EFICIENCIA ESPECTRAL: cociente definido por velocidad binaria entre ancho de banda ocupado. Da una idea del mejor o peor aprovechamiento que hace del espectro una modulación determinada.

ETSI (European Telecommunications Standards Institute): el Instituto de Estándares de Telecomunicación Europeos es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial.

FCC (Federal Communications Commission): la Comisión Federal de las Comunicaciones es una agencia estatal independiente de Estados Unidos, directamente responsable del congreso. La FCC fue creada en 1934 en el acto de las comunicaciones

y es la encargada de la regulación de comunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, wireless, satélite y cable.

INDUCTANCIA: propiedad de un circuito que establece la cantidad de flujo magnético que lo atraviesa, en función de la corriente que circula por él.

INTERFERENCIA: efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA: interferencia producida por una señal electromagnética que causa una distorsión de la señal que afecta a su integridad dando errores o pérdida de datos. Se puede disminuir utilizando un blindaje apropiado.

NODO: es el elemento de red, ya sea de acceso o de conmutación, que permite recibir y re-enrutar las comunicaciones.

PLUG & PLAY: tecnología que permite la autodetección de dispositivos tales como tarjetas de expansión por parte del ordenador, con objeto de facilitar su instalación.

PSTN: es el término internacional para designar un servicio telefónico público, encargado de transmitir señales analógicas de voz entre distintas conexiones.

QAM: modulación lineal que consiste en modular en doble banda lateral 2 portadoras de igual frecuencia desfasadas 90°. Cada portadora es modulada por una de las dos señales, las dos modulaciones se suman y la señal resultante es transmitida.

RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (RDSI): red de servicios integrados que proporciona conexiones digitales entre interfaces usuario-red. Red conmutada digital que permite transmitir voz, datos e imágenes por líneas telefónicas convencionales.

RESISTENCIA: oposición que presenta un material al paso de la corriente eléctrica.

TRIPLE PLAY: servicios que incluyen aplicaciones de voz, video y datos.

ÚLTIMA MILLA: tramo más cercano al abonado de un sistema, que comprende el enlace desde la red troncal digitalizada y los hogares.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UPSTREAM: flujo de datos que es enviado desde un computador remoto a un servidor.

VPN: red soportada por infraestructura de telecomunicaciones pública que soporta acceso remoto de un usuario a la red de su organización. Incorpora procedimientos seguridad para evitar el acceso de usuarios no autorizados.

WiFi: conjunto de especificaciones desarrolladas por el comité IEEE 802.11, las que establecen los estándares para las redes Ethernet inalámbricas

WiMAX: se refiere al estándar 802.16 desarrollado por la IEEE para proveer una cobertura inalámbrica bajo 31 millas. Opera en una banda de 2 a 11 GHz.

BIBLIOGRAFIA.

MAPAS DEL SECTOR ELECTRICO ECUATORIANO

<http://www.mailxmail.com/curso-red-energia/red-sistema-electrico#>

(Septiembre 2009).

[http://electrica.frba.utn.edu.ar/Vicente/Internet%20por%20red%20electric a.htm](http://electrica.frba.utn.edu.ar/Vicente/Internet%20por%20red%20electric%20a.htm)

(Septiembre 2009).

<http://eersa.itgo.com/organiza.htm>

(Septiembre 2009).

<http://www.transelectric.com.ec/>

(Octubre 2009).

<http://www.cenace.org.ec/>

(Octubre 2009).

DESCRIPCION TECNOLOGIA BPL

http://en.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication

(Septiembre 2009).

<http://www.ordenadores-y-portatiles.com/funcionamiento-plc.html>

(Septiembre 2009).

http://www.fcc.gov/cgb/broadband_spanish.html

(Noviembre 2009).

<http://ntrg.cs.tcd.ie/undergrad/4ba2.05/group13/index.html>

(Noviembre 2009).

IMPACTO EN LOS SERVICIOS BPL

<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/handle/123456789/3920>

(Febrero 2010).

<http://www.labplan.ufsc.br/congressos/XIII%20Eriac/D2/D2-02.pdf>

(Noviembre 2009).

PROVEEDORES DE EQUIPOS BPL

<http://www.corinex.com/product/11.html>

(Enero 2010).

<http://www.DS2.com/>

(Enero 2010).

<http://www.arteche.com/>

(Febrero 2010).

<http://www.ilevo.com/>

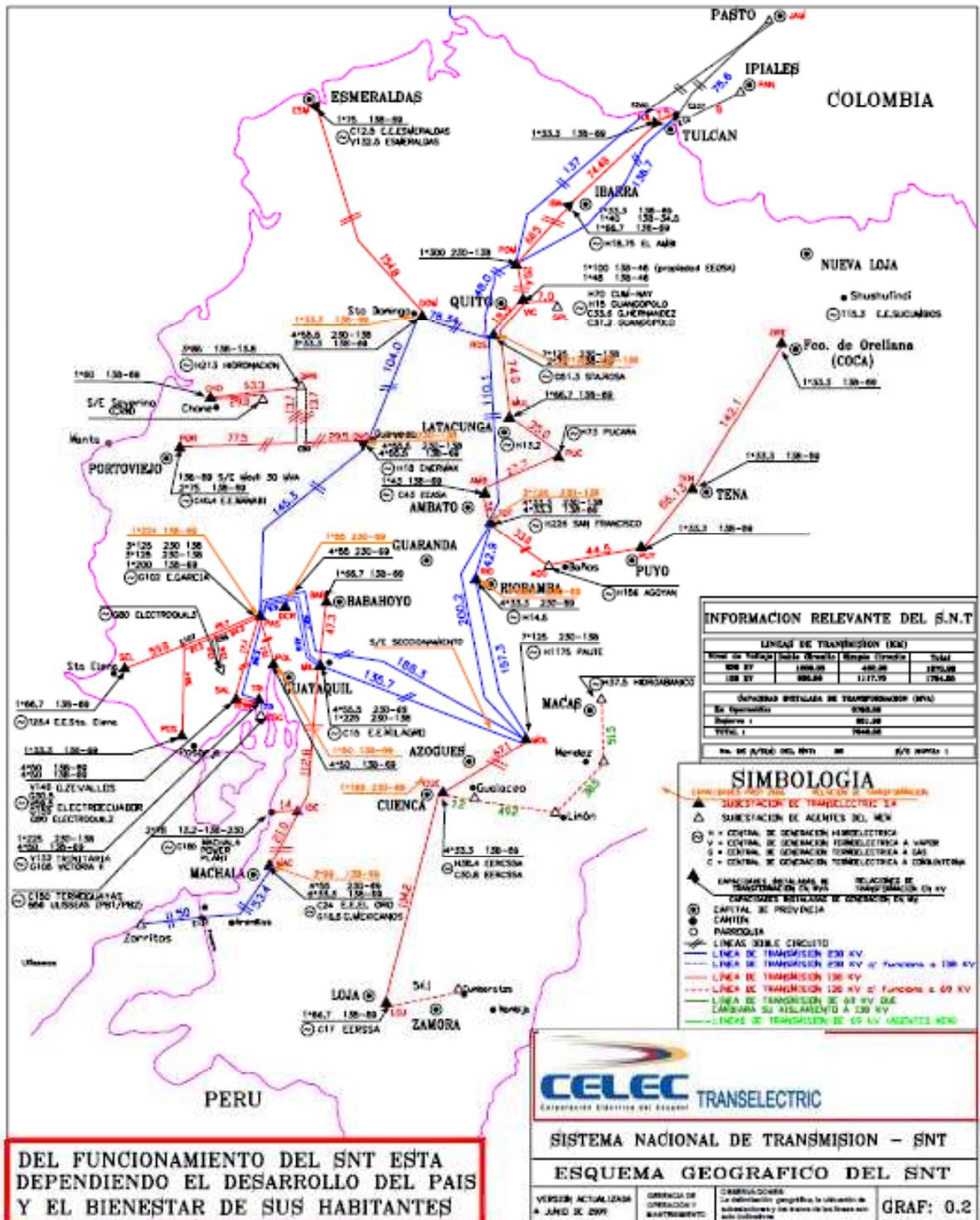
(Febrero 2010).

<http://elecsol.cl/productos/bpl/bpl202.php>

(Febrero 2010).

Anexos

Anexo2. Sistema Nacional de Transmisión.



DEL FUNCIONAMIENTO DEL SNT ESTA DEPENDIENDO EL DESARROLLO DEL PAIS Y EL BIENESTAR DE SUS HABITANTES

Esquema -> cortesía de CELEC-Transselectric.

Anexo 3. Comparativa de BPL con otras tecnologías de Banda Ancha.

CARACTERÍSTICAS	TECNOLOGÍA										
	BPL	RDSI-BA	ADSL	CABLE MÓDEM	WIRELESS LOCAL LOOP	Wi-Fi			WiMax		
						802.11b	802.11a	802.11g	802.16a	802.16	802.16e
Rango de frecuencia	1.6-30 MHz	-	4 kHz-2.2 MHz	42-850 MHz	900 MHz y 1900 MHz	2.4 GHz	5.7 GHz	2.4 GHz	2-11GHz	2-66 GHz	2-6 GHz
Velocidad de transmisión	145-200 Mbps	155-622 Mbps	Subida: 64 a 640 kbps Bajada: 1.5 a 9 Mbps	Subida:320 kbps-10 Mbps Bajada: 30-40 Mbps	> 1 Mbps	11 Mbps	54 Mbps		75 Mbps	32-124 Mbps	15 Mbps
Medio físico	Lineas de distribución eléctrica	Fibra óptica	Par de cobre	Fibra óptica y cable coaxial	Ondas de Radio	Ondas de Radio			Ondas de Radio		
Modo	Full duplex	Full duplex	Full duplex	Asimétrico	Full duplex	Full duplex			Full duplex		
Modulación	OFDM	PCMPAM	DMT	Subida: QPSK/16 QAM Bajada:64/256 QAM	TDMA	DSSS	OFDM		256 OFDM		
Estándar	IEEE, FCC, ETSI	I.121	ANSI T1.413	IEEE 802.1.14	ETSI	802.11b	802.11a	802.11g	802.16a	802.16	802.16e
Limitaciones	Su funcionamiento depende directamente de las condiciones y topología de la red de distribución eléctrica.	Altos costos de configuración e instalación complicada.	Está limitada por la distancia máxima desde el usuario a la central telefónica (5000 m).	Conexión compartida e interrumpida.	Los sistemas requieren línea de vista y reutilización de frecuencias del espectro.	Bajo alcance (400 metros)			Interferencia		
Ventajas	Empieza una red que se encuentra ya desplegada y cuya cobertura es muy amplia.	Velocidad alta, servicios integrados, rapidez en el establecimiento de la conexión.	Es aplicable a líneas existentes, no requiere nuevo cableado.	Es una opción importante en países donde la cobertura de esta red es amplia.	Bajos costos en infraestructura y despliegue, así como la simplicidad de construcción de la red. WLL constituye una alternativa para aquellos clientes excluidos de xDSL.	Movilidad y fácil instalación			Instalación sencilla y precio competitivo en comparación con otras tecnologías de acceso inalámbrico.		

Anexo 4. Especificaciones técnicas Gateway MV-NR

Estándares	IEEE 802.3u, 802.1p, 802.1Q, 802.1Q OPERA, FCC Part 15G
EMC	EN 55022 Class B, EN 55024, EN 50412
Seguridad eléctrica	EN 60950-1:2001 IEC 60950-1 :2001
Velocidad de Backbone	Hasta 200 Mbps (TDD) Hasta 85 Mbps (FDD)
MV/LV Powerline Tipo	Elevado Soterrado
Interfaz	MV: F-Conector tipo coaxial (TNC) LV: Interfase del cliente RJ45 10/100 BASE-T RS485 serial port
Rango de Frecuencia	2 – 34 MHz
Alimentación	85 hasta 265 V AC, 50/60 Hz
Peso	7 kg
Dimensiones	400mm L x 230mm W x 170mm H
Densidad espectral transmitida	-50 dBm/Hz
Consumo	35 W
Temperatura de Operación	-20° hasta 50°C (-4°F hasta 122°F)
Humedad de operación	5% hasta 95% no-condensado
Management	MIB SNMP
Modulación	OFDM con 1536 carriers uplink/ downlink, simétrica, hasta 10 bits por el símbolo adaptante por el portador.
Direcciones MAC Soportadas	2048
Ambiente	IP68

Anexo 5. Especificaciones técnicas Gateway Bajo Voltaje

Estándares de Compatibilidad	IEEE 802.3u, 802.1P, 802.1Q, FCC Part 15, OPERA EN 50412, EN 55022, EN 55024, EN 60950
Velocidad de Transferencia	Hasta 200 Mbps en capa física 100 Mbps en Ethernet
Acoplador para tres fases al powerline	110VAC / 220VAC / 240VAC
Interfase	10/100BaseT Fast Ethernet, Puerto Powerline, Puerto Coaxial
Rango de Frecuencia	2 – 34 MHz
Energía	85 to 265VAC, 50/60 Hz
Peso	2 kg
Dimensiones	230 x 185 x 80 mm
Densidad espectral de la energía transmitida	-50 dBm/Hz
Consumo de energía	7 W
Temperatura de Operación	-20° a 70°C (-4°F a 158°F)
Humedad de Operación	10% a 80% no condensado

Anexo 6. Especificaciones técnicas Adaptador Power Line

Estándar	IEEE 802.3u
Velocidad	Hasta 200 Mbps en capa física
Tipo de enchufe AC	USA, Unión Europea, Reino Unido y Australia
Señal de luz LED	Encendido, Conectando P.C /Actividad Conectando Ethernet
Interfase	10/100BaseT Fast Ethernet, Powerline
Rango de frecuencia utilizada	2 – 34 MHz
Fuente de poder	85 to 265 V AC, 50/60 Hz
Dimensiones	148 mm L x 106 mm W x 47 mm H
Densidad espectral de la energía transmitida	-56 dBm/Hz
Seguridad y EMI	FCC Part 15, EN 55022 EMC limits

Anexo 7. Red primaria del alimentador N° 3, Subestacion N° 4.

...



Anexo 8. Diseño de la red de telemedición.

