

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



DISEÑO, FACTIBILIDAD Y CONSIDERACIONES DE  
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED BPL EN UNA EMPRESA  
DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA

## **INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**DANIEL EDGARDO CALENI RAMÍREZ**

**PROMOCIÓN  
1989 - II**

**LIMA – PERÚ  
2008**

**“Diseño, Factibilidad y Consideraciones de Implementación de una Red BPL en una Empresa Distribuidora de Energía”**

## SUMARIO

La necesidad de medios de acceso de banda ancha hacia los usuarios de los servicios de telecomunicaciones ha hecho que muchas empresas se dediquen a la búsqueda de nuevas tecnologías y el perfeccionamiento de tecnologías existentes para desarrollar nuevas redes de comunicaciones.

Como parte de esta búsqueda se tiene la evolución de la transmisión de datos sobre redes eléctricas que ha logrado no solo velocidades que permiten el despliegue de nuevos servicios de telecomunicaciones sino también el uso de toda la red de distribución de energía eléctrica para la implementación de una red acceso a todos los usuarios del servicio eléctrico.

El presente trabajo tiene como objetivo presentar el avance actual en el desarrollo de la tecnología de transmisión de datos de banda ancha sobre redes eléctricas (BPL) con los distintos componentes que se requieren en una solución para la implementación de una red BPL sobre una red de distribución eléctrica. Previamente se revisarán los componentes más importantes de una red de distribución de energía eléctrica que deberán tenerse en cuenta durante la implementación de la red BPL.

Además, se presentarán las distintas configuraciones que se utilizan para implementar la red BPL de manera modular y eficiente, las consideraciones que deben tenerse para interactuar de manera segura con los distintos componentes eléctricos que deben intervenir para implementar la red, así como las experiencias y resultados obtenidos a través de pruebas piloto en una red de distribución eléctrica en Lima.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
ARQUITECTURA DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LIMA	4
1.1 Tipos de Subestaciones	5
1.1.1 Subestación de Transmisión (SET)	6
1.1.2 Subestación de Distribución (SED)	6
1.2 Tipos de Redes	7
1.2.1 Alimentador	7
1.2.2 Tramo o Llave	8
1.2.3 Acometida	8
1.3 Tipos de Clientes	9
1.3.1 Clientes MT	9
1.3.2 Clientes BT	9
1.4 Características requeridas en una red de distribución de energía para hacer factible la instalación de una red BPL	10
1.4.1 Características a considerar en Baja Tensión	10
1.4.2 Características a considerar en Media Tensión	11
CAPÍTULO II	
ARQUITECTURA BÁSICA DE UNA RED BPL	13
2.1 Arquitectura de una red de telecomunicaciones con BPL	13
2.1.1 Servicios	14
2.1.2 Red WAN	14
2.1.3 Red BPL	15
2.1.4 Usuarios Finales	16

2.2	Tipos de equipos BPL	17
2.2.1	Estación Base MT	18
2.2.2	Estación Esclava MT	19
2.2.3	Estación Repetidora MT	19
2.2.4	Estación Base BT	19
2.2.5	Estación Repetidora BT	20
2.2.6	Módem BPL	20
2.3	Tipos de Acopladores	21
2.3.1	Acoplador Capacitivo MT	21
2.3.2	Acoplador Inductivo MT	21
2.3.3	Acoplador Capacitivo BT	21
2.3.4	Acoplador Inductivo BT	22
2.4	Tipos de Equipos BPL de la Solución	22
2.4.1	Placa Base	23
2.4.2	Fuente de Alimentación	23
2.4.3	Módulo Ethernet ILV22M2	24
2.4.4	Módulo Gigabit ILV22M3	25
2.4.5	Estación ILV2010	26
2.4.6	Estación ILV2000	27
2.4.7	Repetidor ILV2110	28
2.4.8	Repetidor ILV2120	29
2.4.9	Repetidor ILV2100	30
2.4.10	Módem ILV211	31
2.4.11	Módem ILV201	32
2.5	Tipos de Acopladores de la Solución	33
2.5.1	Acoplador Capacitivo CAMT	34
2.5.2	Acoplador Capacitivo OVERCAP	35
2.5.3	Acoplador Inductivo UNIC	37
2.5.4	Acoplador Capacitivo P-1240-014	39
2.5.5	Acoplador Capacitivo CC1	40
2.5.6	Acopladores Inductivos IC2 e IC3	41
2.5.7	Acoplador Inductivo LICU	42
2.5.8	Filtros Bloqueadores	44

## CAPÍTULO III

ESQUEMAS DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED BPL	46
3.1 Red BPL para última milla en media tensión	46
3.1.1 Configuración Estación Base MT – Estación Base BT	48
3.1.2 Configuración Estación Repetidora FDD MT – Estación Base BT	49
3.1.3 Configuración Estación Repetidora TDD MT – Estación Base BT	50
3.1.4 Configuración Estación Esclava BT – Estación Base BT	52
3.1.5 Configuración Repetidor en modo FDD	53
3.1.6 Configuración Repetidor en modo TDD	54
3.1.7 Configuración Interior Capacitivo MT – Capacitivo BT	55
3.1.8 Configuración Interior Acoplador Inductivo MT – Capacitivo BT	57
3.1.9 Configuración Exterior Capacitivo MT – Capacitivo BT	60
3.1.10 Configuración Interior Doble Acoplador Capacitivo MT – Acoplador Capacitivo BT	61
3.1.11 Configuración Interior Acoplador Capacitivo MT – Acoplador Inductivo MT – Acoplador Capacitivo BT	61
3.1.12 Configuración Interior Doble Acoplador Inductivo MT – Acoplador Capacitivo BT	61
3.1.13 Configuración Exterior Doble Acoplador Capacitivo MT – Acoplador Capacitivo BT	62
3.2 Red BPL para última milla en baja tensión	62
3.2.1 Configuración Repetidor BT FDD	64
3.2.2 Configuración Repetidor BT TDD	65
3.2.3 Configuración Inyección Señal BPL en Clientes	66
3.2.4 Configuración Módem Cliente	68

## CAPÍTULO IV

DESPLIEGUE DE LA RED BPL	69
4.1 Implementación de Pilotos de Prueba	69
4.1.1 Selección de la Zona del Piloto	69
4.1.2 Selección de los Clientes	70
4.1.3 Diseño de la Red BPL	70
4.1.4 Implementación de la Red BPL	71
4.1.5 Monitoreo del Servicio con la Red BPL	73

4.1.6	Evaluación de resultados del Piloto	75
4.2	Despliegue de la Red BPL en baja tensión	75
4.3	Despliegue de la Red BPL en media tensión	78
4.3.1	Celda BPL	81
4.3.2	Diseño de Celdas BPL por Alimentador	82
4.3.3	Diseño de una Celda BPL	83
4.4	Interconexión de la Red BPL con la red WAN	90
4.4.1	Interconexión con Fibra Óptica	90
4.4.2	Interconexión con WiMAX	91
CAPÍTULO V		
CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN DE LA RED BPL		94
5.1	Tipo de Licencia requerida para prestar el servicio de transmisión de datos	94
5.1.1	Licenciamiento para Modalidad Red Eléctrica	95
5.1.2	Licenciamiento para Modalidad Red BPL	95
5.1.3	Licenciamiento para Modalidad Red WAN	95
5.1.4	Licencia para Modalidad Servicios	95
5.2	Intervención en Subestaciones de Transmisión	97
5.3	Intervención en Cables de Media Tensión	98
5.3.1	Intervención en Cables de Media Tensión Subterráneos	98
5.3.2	Intervención en Cables de Media Tensión Aéreos	98
5.4	Intervención en Subestaciones de Distribución	100
5.4.1	Intervención en SED Convencional	100
5.4.2	Intervención en SED Compacta	103
5.4.3	Intervención en SED Aérea	105
5.5	Intervención en Cables de BT	106
5.6	Intervención en Medidores de Clientes	107
CONCLUSIONES		109
BIBLIOGRAFÍA		111

## INTRODUCCIÓN

El propósito del presente trabajo es presentar una alternativa de implementación de la tecnología de transmisión de datos en banda ancha sobre redes eléctricas (BPL por sus siglas en inglés que provienen de “Broadband over Powerlines”) que minimice el impacto en la red eléctrica afectada tanto en su operación como en su mantenimiento.

La tecnología de transmisión de datos sobre redes eléctricas (PLC por sus siglas en inglés que provienen de “Power Line Communications”) ha existido desde los años veinte del siglo pasado. Sin embargo, durante mucho tiempo solo fue utilizada para la transmisión de datos a través de las redes de alta tensión dado que las velocidades obtenidas eran bajas (en el orden de los veinte kilobits por segundo) lo que reducía el ámbito de aplicaciones en donde fuera útil su incorporación. Básicamente se utilizaba para transmitir canales de datos y voz para las subestaciones de transmisión de energía eléctrica siendo el canal de datos utilizado para los sistemas de supervisión y control remoto de los equipos eléctricos existentes en la subestación.

Fue en la época del crecimiento de Internet cuando se implementaron nuevas tecnologías en la transmisión de datos sobre redes eléctricas que permitieron incrementar la velocidad de transmisión hasta alcanzar niveles del orden de los megabits por segundo con los cuales se hizo factible el uso de las redes eléctricas para transmitir información primero en baja tensión (menos de 250 voltios) y luego en media tensión (entre 5 kV y 30 kV). A esta nueva generación de la tecnología se le denominó BPL (por sus siglas en inglés provenientes de “Broadband over Powerlines”).

Además, la alta penetración de las redes eléctricas existentes, en los hogares de cada ciudad, fue vista como una alternativa de red de acceso para competir contra los operadores de telecomunicaciones que administraban las redes de telefonía fija. Al ser una red existente, los costos de implementación se reducen al costo de adquisición e instalación de los equipos BPL eliminando los altos costos necesarios para instalar redes a cada uno de los hogares del mercado objetivo.

Ante este nuevo escenario de competencia y la oportunidad de negocio existente, muchas empresas distribuidoras de energía eléctrica analizan la posibilidad de implementar la tecnología que, a su vez, presenta distintos escenarios para su implementación que, al ser un tema de negocio, no están dentro del alcance de este informe.

En el presente informe nos centraremos en presentar una solución con el equipamiento necesario para implementar la tecnología, los pasos requeridos para su implementación, los tipos de licencias de operador de servicios de telecomunicaciones que se requerirían y las consideraciones requeridas para una adecuada operación de las redes, producto de las experiencias obtenidas durante la realización de pruebas piloto en las redes eléctricas de una distribuidora de energía eléctrica.

No constituye parte de este informe el analizar el diseño interno de los equipos BPL sino mostrar una forma de instalación y puesta en operación de los equipos utilizados. Tampoco se presentará un análisis económico de los costos de implementación y operación ya que está fuera del alcance de este informe.

En el primer capítulo presentaremos la arquitectura de una red eléctrica de distribución con los principales componentes que serán afectados durante la implementación de la red BPL. Se verán los tipos de subestaciones existentes, los tipos de redes de distribución y las condiciones necesarias para que la instalación de la red BPL sea factible.

En el segundo capítulo presentaremos la arquitectura de una red BPL con sus principales componentes. Dado que en la actualidad no existen estándares formalmente aceptados para la implementación de las redes BPL, se describirán los equipos tanto desde una perspectiva conceptual de la arquitectura de la red como para una solución específica existente en el mercado cuya utilización en las redes de distribución eléctrica de Lima es factible. Desde el punto de vista conceptual, se presentarán todos los equipos que funcionalmente son requeridos para implementar la red BPL mientras que para la solución se presentará una descripción de los componentes que utiliza para soportar todas las funcionalidades que se requieren en la red BPL. Además, se presentarán los distintos equipos acopladores requeridos para la instalación de los equipos BPL en la red de distribución eléctrica.

En el tercer capítulo se presentarán los distintos esquemas de implementación de la red BPL de acuerdo al tipo de red de distribución, específicamente para los casos de las redes de media y baja tensión que constituyen los principales medios para el transporte de las señales de telecomunicaciones a los usuarios finales. Estos esquemas definen

configuraciones que facilitan el despliegue de la red BPL ya que solo se debe elegir el esquema adecuado para cada caso que se presente.

En el cuarto capítulo se presentará el esquema de un piloto de pruebas con los despliegues requeridos para el funcionamiento de la red BPL. El piloto tiene como objetivo verificar la factibilidad técnica de operación de los equipos BPL, la validez de algunos de los esquemas de implementación definidos en el capítulo anterior así como observar el comportamiento de la señal BPL en el ambiente real de la red eléctrica en operación con la presencia de las distintas fuentes de ruido existentes en ella. Además, se revisarán el análisis, diseño y conceptos requeridos para desplegar la red BPL tanto en la red de media tensión como en la red de baja tensión. Por último se describirá la interconexión que debe realizarse entre la red de datos que provee los servicios a los clientes y la red BPL que hace factible que los clientes accedan a dichos servicios.

En el quinto capítulo se presentarán las consideraciones que deben tenerse para la instalación, operación y mantenimiento de la red BPL de tal manera de que estas no impacten con las labores inherentes a la red eléctrica. También se analizarán los distintos tipos de licencias que deben solicitarse para operar en los distintos escenarios que pueden implementarse para brindar los diferentes servicios de telecomunicaciones factibles utilizando la tecnología BPL.

# CAPÍTULO I

## ARQUITECTURA DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LIMA

En este capítulo presentaremos la arquitectura de una red de distribución de energía eléctrica en Lima. Pero el enfoque de la presentación se basará en los aspectos que son importantes para la implementación de la red de transmisión BPL. Así, los componentes a describir así como sus tipificaciones se realizarán tomando en cuenta su importancia desde el punto de vista de la red BPL.

Las redes de distribución incluyen todos los elementos de transporte de energía eléctrica comprendidos entre la salida de las subestaciones de transmisión y los medidores de energía eléctrica de los usuarios del servicio de suministro de electricidad.

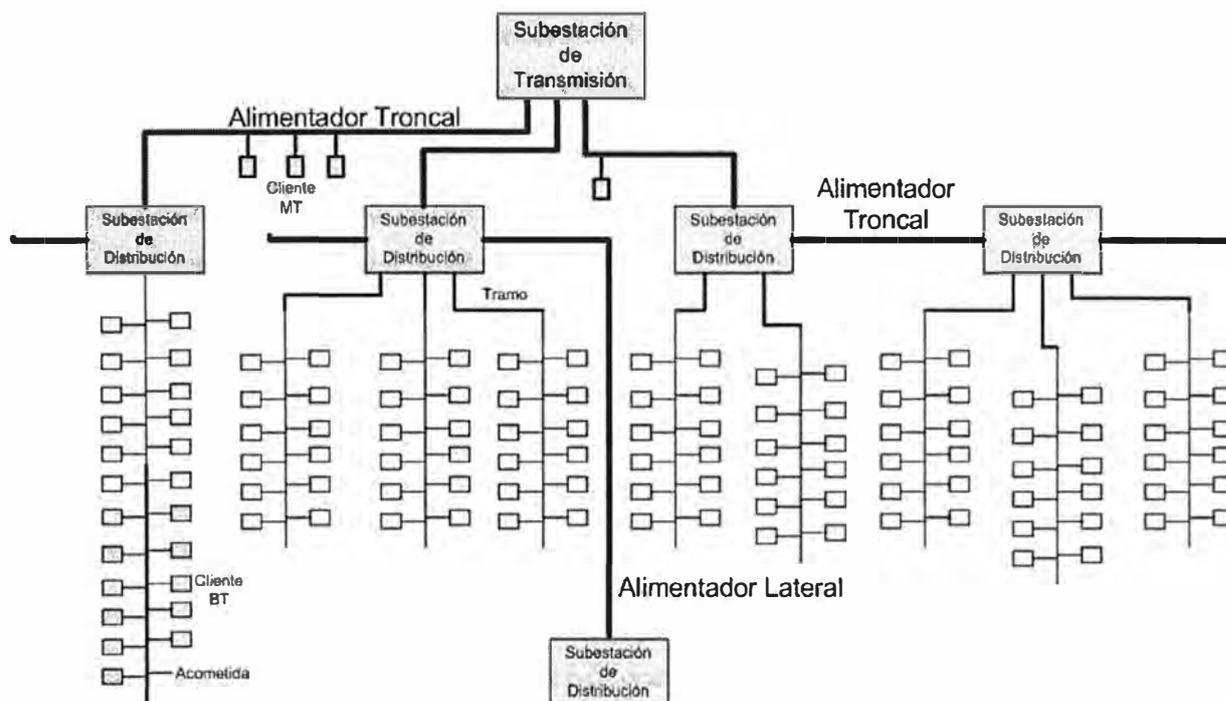
Las redes eléctricas son trifásicas y trabajan con distintos niveles de tensión para distribuir la energía así como con distintos tipos de conexión para las cargas, por lo general se emplean los siguientes términos y características, estas últimas básicamente para las redes en Lima:

- Alta Tensión (AT), tiene niveles de tensión de 220 kV y 60 kV, para conectar las cargas se utilizan conexiones del tipo estrella con neutro aterrado.
- Media Tensión (MT), tiene niveles de tensión de 23,9 kV y 10 kV, para conectar las cargas se utilizan conexiones del tipo estrella con neutro aterrado para 23,9 kV y conexiones del tipo delta con neutro aislado para 10 kV.
- Baja Tensión (BT), tiene un nivel de tensión de 220 V y para conectar las cargas se utilizan conexiones del tipo delta con neutro aislado.

Las redes de distribución eléctrica en Lima son básicamente radiales, es decir, el flujo de potencia nace de un solo punto, este flujo se va esparciendo a través de los componentes que están jerárquicamente por debajo del componente inicial.

Las redes de distribución eléctrica realizan la distribución de la energía en media tensión y en baja tensión. Por lo general los clientes residenciales son alimentados en baja tensión mientras que los clientes industriales se alimentan en media tensión pero el criterio principal son los requerimientos de potencia específicos de cada cliente.

En la figura 1.1 se presenta un esquema de la arquitectura de una red de distribución eléctrica.



**Fig. 1.1** Arquitectura de una Red de Distribución Eléctrica

En el gráfico se pueden observar los distintos componentes de la red eléctrica así como el nivel jerárquico en que están distribuidos. El nivel de jerarquía establecido es: subestación de transmisión, alimentador, subestación de distribución, tramo, acometida y cliente. Existen particularidades y excepciones tales como los clientes que se alimentan directamente en MT (que pueden observarse en la figura 1.1 con el nombre “Cliente MT”) o las derivaciones de subestaciones que generan alimentadores laterales que son derivaciones o ramales del alimentador troncal principal que también pueden observarse en la figura 1.1.

A continuación pasaremos a describir brevemente cada uno de los componentes principales de la red eléctrica de acuerdo a lo mostrado en la figura 1.1.

### 1.1 Tipos de Subestaciones

Las subestaciones, en una red de distribución, se encargan principalmente de transformar los niveles de voltaje para que estos sean distribuidos de manera eficiente. Los tipos de subestaciones que se utilizan son:

### **1.1.1 Subestación de Transmisión (SET)**

Son las subestaciones que se encargan de transformar la energía eléctrica de alta tensión a media tensión o también de reducir el nivel de tensión en alta tensión de 220 kV a 60 kV. Estas subestaciones internamente tienen una parte para la recepción de la energía en alta tensión, una parte para la conversión de la energía y por último una parte para la energía transformada (que puede ser media tensión o alta tensión como se indicó previamente). Para el tema de distribución de energía, lo que interesa es la parte de la energía transformada a media tensión, en este caso, la energía se deriva a un sistema de barras de energía denominado “Barras de MT”. Los alimentadores troncales se conectan a este sistema de barras para tomar la energía y distribuirla a las subestaciones de distribución.

### **1.1.2 Subestación de Distribución (SED)**

Son las subestaciones que se encargan de transformar la energía eléctrica de media tensión a baja tensión. Desde estas subestaciones se atiende a los clientes residenciales y comerciales. Este tipo de subestaciones cuenta también internamente con una zona que recibe la energía en media tensión, una zona de transformación de la energía y una zona para la distribución de la energía transformada a los clientes que se encuentran dentro de la cobertura de la subestación.

A su vez, este tipo de subestaciones se divide en:

- **SED Convencional**  
Son subestaciones que tienen funciones tanto de transformación de energía como de maniobra y bifurcación de equipos. Por lo general son construcciones a nivel o subterráneas con una capacidad de potencia eléctrica elevada. Debido a estas características, se les encuentra ubicadas dentro de la trayectoria del alimentador troncal atendiendo a clientes y sirviendo opcionalmente como punto de bifurcación para los alimentadores laterales.
- **SED Compacta**  
Son subestaciones que solo tienen funciones de transformación de energía por lo que ocupan un espacio muy limitado, generalmente el espacio suficiente para que albergue al transformador más un pequeño espacio adicional para las conexiones de entrada y salida. En este caso las barras de salida son de un amperaje menor que las barras de una SED convencional. De acuerdo a su ubicación se les tipifica como SED compacta de tipo pedestal y SED compacta de tipo bóveda.

La primera es aquella que está ubicada al nivel del suelo y muestran la apariencia de un gabinete metálico ya que están formadas por una caseta metálica con dos puertas.

La segunda está ubicada bajo tierra y por lo general están protegidas por una rejilla metálica que a su vez actúa como puerta de acceso a la SED.

- **SED Aérea**

Son subestaciones que solo tienen funciones de transformación de energía por lo que también ocupan un espacio limitado. Son las subestaciones más pequeñas y dado que son aéreas los componentes están al aire libre. Las barras de salida son de un amperaje menor que las barras de salida de una SED compacta. De acuerdo a su soporte se les tipifica como SED aérea monoposte y SED aérea biposte.

La primera es aquella que está construida sobre un único poste que soporta a la base sobre la cual se implementa la subestación.

La segunda es aquella que está construida sobre dos postes que soportan a la base sobre la cual se implementa la subestación.

## 1.2 Tipos de Redes

Las redes de distribución eléctrica utilizadas en los sistemas de distribución se pueden tipificar de acuerdo a distintos criterios. Sin embargo, para el caso de análisis de la implementación de un red BPL, creemos que la tipificación relevante es el nivel de tensión ya que dependiendo de la tensión se utilizan distintos equipos acopladores. Otro factor adicional que condiciona el uso de equipos acopladores es la ubicación de las redes por lo que también consideraremos la ubicación cuando describamos los tipos de redes.

Entonces, de acuerdo al nivel de tensión de la energía que transportan, los tipos de redes se pueden dividir en:

### 1.2.1 Alimentador

El alimentador es la línea de la red de distribución que transporta la energía desde las SET hacia las SED que son abastecidas por esta. El nivel de tensión de la energía es media tensión, es decir, 10 kV o 22,9 kV. Por lo general está compuesta por cables de cobre o aluminio que transportan la energía de un SED a otra.

A la trayectoria principal del alimentador se le conoce como alimentador troncal y está conformado por todo el recorrido que se hace desde la salida de la SET hasta la última SED que se alimenta en dicha trayectoria. El alimentador troncal es el que lleva la mayor

cantidad de energía por lo que las subestaciones preponderantes en su recorrido son las SED convencionales.

A las bifurcaciones que generan nuevas trayectorias desde una SED, se les conoce como alimentadores laterales y por lo general existen varios de ellos en un alimentador. Los alimentadores laterales transportan menos energía que los alimentadores troncales por lo que las subestaciones preponderantes en su recorrido son las SED compactas y las SED aéreas. En la figura 1.1 se pueden apreciar ambos tipos de alimentadores.

Además, los alimentadores troncales y laterales pueden estar ubicados bajo tierra o suspendidos en el aire mediante postes. Cuando están bajo tierra se les denomina subterráneos mientras que cuando están en el aire se les denomina aéreos.

### **1.2.2 Tramo o Llave**

El tramo es la línea de la red de distribución que transporta la energía desde la SED hacia las acometidas que finalmente abastecen a los clientes. El nivel de tensión que se utiliza es el de baja tensión, es decir, 220 voltios. Por lo general está compuesta de cables de cobre o de aluminio.

También se les conoce con el nombre de llave dado que en las barras de BT de la SED para cada una de las derivaciones de los tramos, existen equipos eléctricos para conectar o desconectar el tramo, a este componente por lo general se le denomina llave y por eso también se le identifica al tramo como llave.

Dado que la energía que se transporta es menor, se utiliza cables de menor calibre a los utilizados en los alimentadores.

Por otro lado, dependiendo de su ubicación se denominan tramos subterráneos cuando se encuentran bajo tierra y se denominan tramos aéreos cuando se encuentran suspendidos en el aire mediante postes.

### **1.2.3 Acometida**

La acometida no puede denominarse específicamente una red de distribución pero dado que es una derivación del alimentador o tramo y está compuesta por un cable eléctrico la consideraremos dentro de esta tipificación.

La acometida es el cable eléctrico que interconecta al alimentador o tramo con el predio al que se le brinda servicio de suministro eléctrico.

El hecho de que la acometida llegue al predio y no a un cliente específico significa que una misma acometida puede atender a uno o más clientes. El primer caso se da cuando la acometida atiende a un predio en donde solo hay una vivienda, entonces la acometida llega

hasta el medidor de energía eléctrica del cliente. El segundo caso se da cuando la acometida atiende a un predio en donde existe un edificio o una condominio de propiedad privada, así la acometida llega a un banco de medidores o a un medidor totalizador desde donde se le suministra la energía a todos las viviendas del predio. En ambos casos las instalaciones que se realizan después del medidor son responsabilidad de los clientes que habitan las viviendas del predio.

Las acometidas también se tipifican por su ubicación denominándose acometidas subterráneas a las que se encuentran bajo tierra y acometidas aéreas a las que se encuentran suspendidas en el aire mediante postes o se realizan descolgando directamente el cable de acometida desde la red de distribución aérea.

Es importante indicar que, dado que las acometidas se realizan tanto desde alimentadores como de tramos, trabajan en niveles de tensión de media y baja tensión.

### **1.3 Tipos de Clientes**

Los clientes en una red de distribución eléctrica son el punto final al que se le entrega la energía de tal manera de que cada uno de los clientes consuma la cantidad de energía que requiere dentro de los parámetros establecidos por su contrato.

Como se observa en la figura 1.1 existen clientes tanto en media tensión como en baja tensión.

#### **1.3.1 Clientes MT**

Son los clientes que se encuentran atendidos desde un alimentador a 23,9 kV o 10 kV. Son clientes que demandan una gran potencia, por lo general por encima de un MW por lo deben ser atendidos en media tensión.

Desde el punto de vista de la red BPL estos clientes no son importantes ya que son muy pocos y se encuentran dispersos en distintas redes por lo que para atenderlos tendría que implementarse una red específica para ellos perdiéndose los beneficios de atender a muchos clientes que reducen los costos de implementación para atender a un solo cliente.

#### **1.3.2 Clientes BT**

Son los clientes que se encuentran atendidos desde un tramo a 220 V. Estos clientes son la mayor cantidad de clientes atendidos por el sistema de distribución y pueden dividirse de acuerdo a su actividad en clientes residenciales, comerciales e industriales.

Desde el punto de vista de la BPL, los clientes más importantes y que conforman el mercado objetivo, son principalmente los clientes residenciales y comerciales.

El problema con los clientes industriales es que, aunque están atendidos en baja tensión, sus demandas de potencia pueden hacer que requieran de una SED exclusiva para su atención, con lo que se tendría la misma situación que con los clientes MT ya que se tendría que colocar un equipo exclusivamente para que atienda a un cliente, incrementado de manera importante los costos de implementación para atender a un solo cliente.

Por otro lado, tenemos que los clientes BT pueden tener una acometida exclusiva, es decir, una acometida que atiende a un predio en donde solo existe un cliente; o una acometida compartida, es decir, una acometida que atiende a un predio en donde existe más de un cliente. Esta distinción es importante ya que afecta el diseño de la red BPL como veremos más adelante.

#### **1.4 Características requeridas en una red de distribución de energía para hacer factible la instalación de una red BPL**

En el mundo, el desarrollo de las redes BPL no ha sido realizado en forma masiva. Este hecho se debe a que la red BPL debe ser económicamente factible para poder competir con las tecnologías de acceso de red alternativas. Existen varias razones que impiden el despliegue de estas redes, entre ellas podemos mencionar la penetración de las otras tecnologías de acceso de red (fibra óptica a la casa, ADSL, etc.), el costo de los equipos de tecnología BPL, etc.

Sin embargo, uno de los factores importantes que siempre es considerado por los implementadores de las redes BPL es la topología de la red de distribución.

En los primeros años de desarrollo de las redes BPL solo se consideraban las características de la red de distribución en baja tensión. Sin embargo, conforme se fueron desarrollando nuevos equipos que hacían factible desplegar la red no solo en baja tensión sino también en media tensión, se ha tenido que incluir consideraciones con respecto a las características de la red en media tensión.

##### **1.4.1 Características a considerar en Baja Tensión**

El principio básico que define la factibilidad económica para la implementación de la red BPL es la cantidad de clientes que pueden ser atendidos, desde una SED, por un solo equipo BPL base.

En el caso de las redes de distribución de energía eléctrica que cuentan con una media tensión muy grande y una baja tensión pequeña, es decir, no más de 50 clientes por cada SED; las redes BPL no son competitivas ya que la cantidad de clientes que se pueden atender desde una SED es pequeña.

Por lo general, se estima que para que una red BPL sea económicamente factible, las SED deben atender por lo menos a 50 clientes. Obviamente a mayor cantidad de clientes por SED, mayor la probabilidad de éxito económico en la implementación de la red, ya que disminuyen los costos de instalación por cliente que puede acceder al servicio.

En el caso de las redes eléctricas de distribución de Lima, éstas atienden por lo general a más de 150 clientes, siendo por lo tanto redes en donde la factibilidad económica se cumple ya que se supera largamente el límite establecido de cincuenta clientes por SED.

#### **1.4.2 Características a considerar en Media Tensión**

Una de las características que debe tenerse en media tensión es la cantidad de SED que pueden interconectarse a la red BPL utilizando únicamente equipos BPL. Esto es importante dado que las conexiones utilizando equipos BPL son más económicas que las conexiones a la red WAN.

No hay un límite mínimo establecido pero la orientación es que a mayor cantidad de SED interconectadas en media tensión utilizando solamente equipos BPL, más competitiva será la red con respecto a las otras alternativas de acceso a la red.

El límite superior ideal en este caso es poder interconectar todas las SED que son alimentadas de una misma SET utilizando solamente equipos BPL.

Sin embargo existen aspectos tanto de seguridad como desde el punto de vista técnico que limitan la cantidad de SED que se pueden interconectar.

En primer lugar debemos hablar de la distancia que separa a las SED, los equipos BPL degradan de manera importante su señal con respecto a la distancia entre las unidades que se interconectan. Los límites establecidos son 800 metros como máximo, a una distancia mayor no se garantiza la conexión. Por lo tanto, durante el diseño de la red BPL debemos verificar en la red de distribución la cantidad de SED que incumplen con este criterio para determinar la cantidad de SED que podemos interconectar utilizando solamente equipos BPL.

Una forma de eliminar esta restricción es colocar un equipo BPL como repetidor, pero esto depende de las características de la instalación de los cables eléctricos, ya que si estos se encuentran directamente enterrados o son aéreos, los costos de instalación del repetidor se incrementan de manera considerable. Sin embargo, es una alternativa que se debe tener en cuenta al momento del diseño de la red BPL.

Otra característica de la red de distribución que debe tenerse en cuenta al momento de diseñar la red BPL es la distribución interna de cada tipo de SED, ya que dependiendo de

la distribución interna de la SED se determinará el tipo de equipos BPL que debe utilizarse así como la forma más económica y segura para la instalación de dichos equipos dentro de la SED. Dado que la cantidad de SED que se afectan durante el despliegue de la red BPL es grande, es muy importante analizar cada uno de los tipos de SED de manera minuciosa de tal manera de que el diseño que se determine minimice el impacto económico de la solución elegida para cada caso.

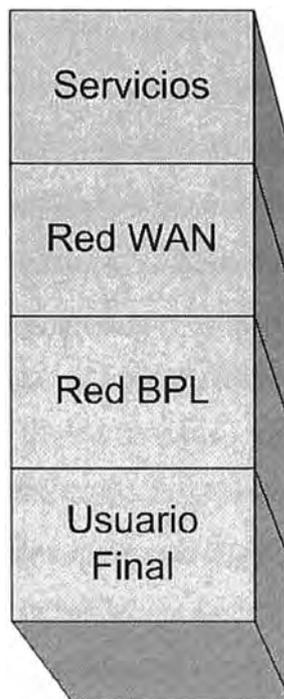
## CAPÍTULO II

### ARQUITECTURA BÁSICA DE UNA RED BPL

En este capítulo presentaremos la arquitectura de una red BPL así como la descripción de cada uno de sus componentes principales. Para poder establecer los límites de la red BPL, en primer lugar presentaremos la arquitectura de una red completa de telecomunicaciones que utiliza la tecnología BPL como tecnología de acceso de red. La figura 2.1 presenta esquemáticamente la arquitectura de una red BPL.

#### 2.1 Arquitectura de una red de telecomunicaciones con BPL

La figura 2.1 presenta la arquitectura básica que tiene una red completa de telecomunicaciones cuando uno utiliza una red BPL como red acceso a los clientes.



**Fig. 2.1** Arquitectura de una red de telecomunicaciones

Estamos definiendo como red completa de telecomunicaciones a toda la infraestructura requerida, es decir, desde los servicios que esta ofrece hasta el usuario final quien es el que hace uso de dichos servicios.

A continuación daremos una breve explicación de cada una de las partes de la red presentada en la figura 2.1.

### **2.1.1 Servicios**

Se entiende por servicios a todos aquellos existentes en la actualidad y a los nuevos servicios que pueden implementarse en el futuro. Estos servicios requieren de una red de distribución de tal manera que puedan ser accedidos por los potenciales usuarios de los mismos.

Entre los servicios podemos mencionar:

- Acceso a Internet
- Telefonía basada en IP
- Vídeo sobre demanda
- Seguridad remota
- Automatización del hogar (domótica)

Como se observa se pueden implementar una infinidad de servicios que tengan como característica el requerir de un determinado ancho de banda para brindar sus prestaciones al usuario final.

En nuestro caso, lo hemos puesto como parte inicial de la red, al entenderse que estos servicios requieren de una infraestructura central en la que residen sus principales componentes para poder desplegar y administrar el servicio que se brinda a los distintos usuarios con las distintas configuraciones que pueden ser solicitadas por cada uno de ellos.

### **2.1.2 Red WAN**

La red WAN o red de área extensa (WAN proviene de sus siglas en inglés “Wide Area Network”) es la red principal que se utiliza en telecomunicaciones para abarcar un área extensa en donde brindar el servicio, en nuestro caso, por ejemplo, la red WAN podría ser la red de cualquier empresa de telecomunicaciones que abarca a toda la ciudad de Lima y Callao.

La red WAN es la columna vertebral del sistema de telecomunicaciones que le permite transportar sus servicios a todas las zonas en las que cuenta con clientes potenciales o constituye parte de la zona en la que debe brindar servicio.

La red WAN está compuesta básicamente por poderosos nodos de conmutación con grandes capacidades de transmisión de datos (del orden de los gigabits) interconectados mediante líneas de transmisión también de gran capacidad, por lo general, estas líneas son construidas utilizando fibra óptica ya que cuentan con una gran capacidad de transmisión. En nuestro caso, el objetivo principal de la red WAN no es interconectar computadores distantes ni brindar servicios directamente a los usuarios finales sino más bien transportar los servicios a los distintos nodos de la red WAN de tal manera que las redes de acceso puedan, a su vez, transportar los servicios a los usuarios finales.

### **2.1.3 Red BPL**

Como indicamos anteriormente, la red BPL es una de las distintas alternativas de red de acceso que tiene el proveedor de servicios de telecomunicaciones para transportar sus servicios a los usuarios finales.

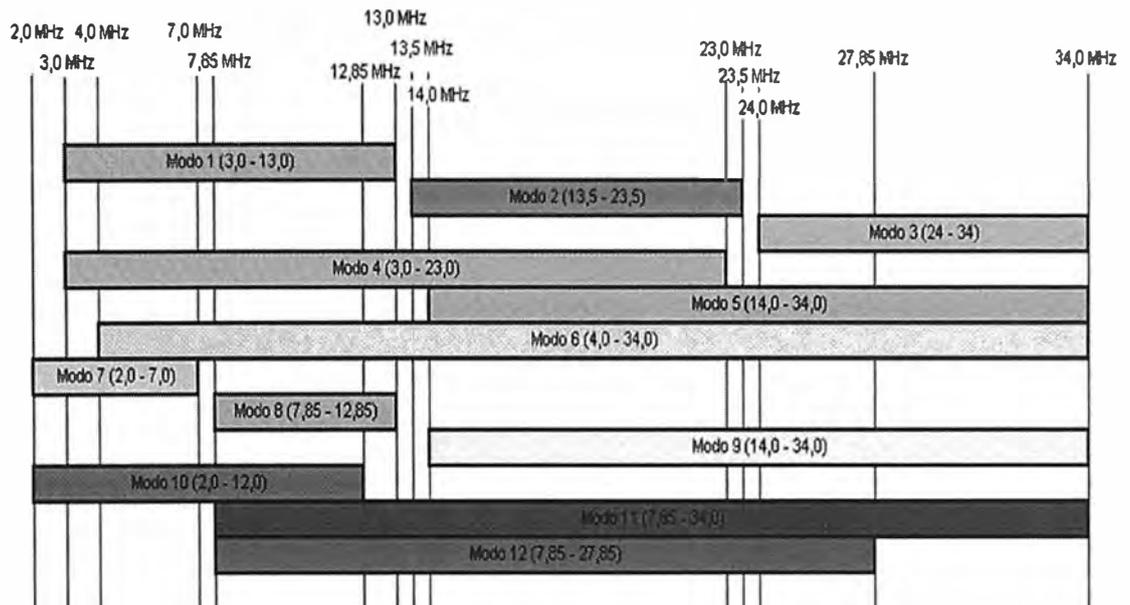
La función de la red BPL es interconectarse con la red WAN en los nodos que se requiera y, utilizando la red de distribución de energía eléctrica, transportar los distintos servicios a los usuarios finales.

La red BPL abarca toda la red eléctrica que se utiliza hasta la acometida que atiende a uno o varios clientes del servicio eléctrico, es decir, hasta antes del medidor de energía eléctrica de cada uno de estos clientes.

Las características principales de los equipos utilizados en la tecnología BPL son las siguientes:

- En la actualidad las estaciones base pueden alcanzar velocidades de hasta 200 Mbps utilizando un ancho de banda de 32 MHz que, por lo general, se encuentra entre los 2 MHz y los 34 MHz.
- El método de modulación utilizado mayoritariamente es la modulación por multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM por sus siglas en inglés “Orthogonal Frequency Division Multiplexing”). Este método es muy apropiado para ambientes ruidosos ya que divide la transmisión de la información en una gran cantidad de subportadoras en distintas frecuencias, de tal manera que la transmisión puede realizarse en las frecuencias que presentan menos interferencia en el canal de transmisión. Los equipos BPL usan una gran cantidad de subportadoras, por lo general por encima de las mil subportadoras.
- El ancho de banda que brindan los equipos BPL se subdivide en distintos modos de transmisión, estos modos ocupan un determinado rango de frecuencias con anchos

de banda de 5, 10, 20 y 30 MHz. Los distintos rangos de frecuencia o modos que se utilizan, se traslapan en el ancho de banda total de transmisión. El propósito es utilizar los modos adecuados en un determinado rango, de tal manera que se utilicen simultáneamente en una configuración dada de equipos BPL sin que estos interfieran entre ellos. La figura 2.2 presenta un ejemplo de modos de transmisión de un equipo BPL.



**Fig. 2.2** Modos de Frecuencia de Transmisión de un equipo BPL

- Para la administración, los equipos implementan el soporte para la gestión de redes utilizando el Protocolo Simple de Gestión de Redes (SNMP por sus siglas del inglés “Simple Network Management Protocol”) lo que facilita la implementación de un sistema de gestión de redes con los distintas soluciones existentes en el mercado tanto comerciales como de uso libre.
- Los equipos permiten controlar la latencia de tal manera que se facilita la implementación de servicios que son sensibles a los retardos de las señales, es decir, al poder controlar la latencia de las distintas señales es posible brindar servicios como el de voz sobre IP y video bajo demanda.

#### 2.1.4 Usuarios Finales

Son los clientes que contratan cada uno de los servicios brindados por el proveedor de telecomunicaciones.

Desde el punto de vista técnico, teniendo en cuenta que se está utilizando una red BPL como red de acceso, y dado que el medidor eléctrico pertenece al cliente, el usuario final

cuenta con una red adicional que debe analizarse e incluirse como parte de la red requerida para brindar los servicios que el usuario final contrata.

## **2.2 Tipos de equipos BPL**

Basados en la arquitectura mostrada en la figura 2.1 para la red de telecomunicaciones, podemos ahora incrementar el detalle de la red de acceso utilizando la tecnología BPL.

Primero, presentaremos la arquitectura de una red de acceso utilizando la tecnología BPL con todos los posibles componentes que pueden utilizarse. Luego describiremos cada uno de estos componentes indicando sus principales funciones. Posteriormente procederemos a la descripción de los equipos utilizados en una solución específica de tecnología BPL cuya característica principal es que emplea equipos modulares que pueden cumplir distintos roles dentro de la arquitectura de una red de acceso utilizando la tecnología BPL. El empleo de equipos modulares simplifica la complejidad de la arquitectura de la red al reducir la cantidad de equipos diferentes que deben utilizarse para implementar una solución.

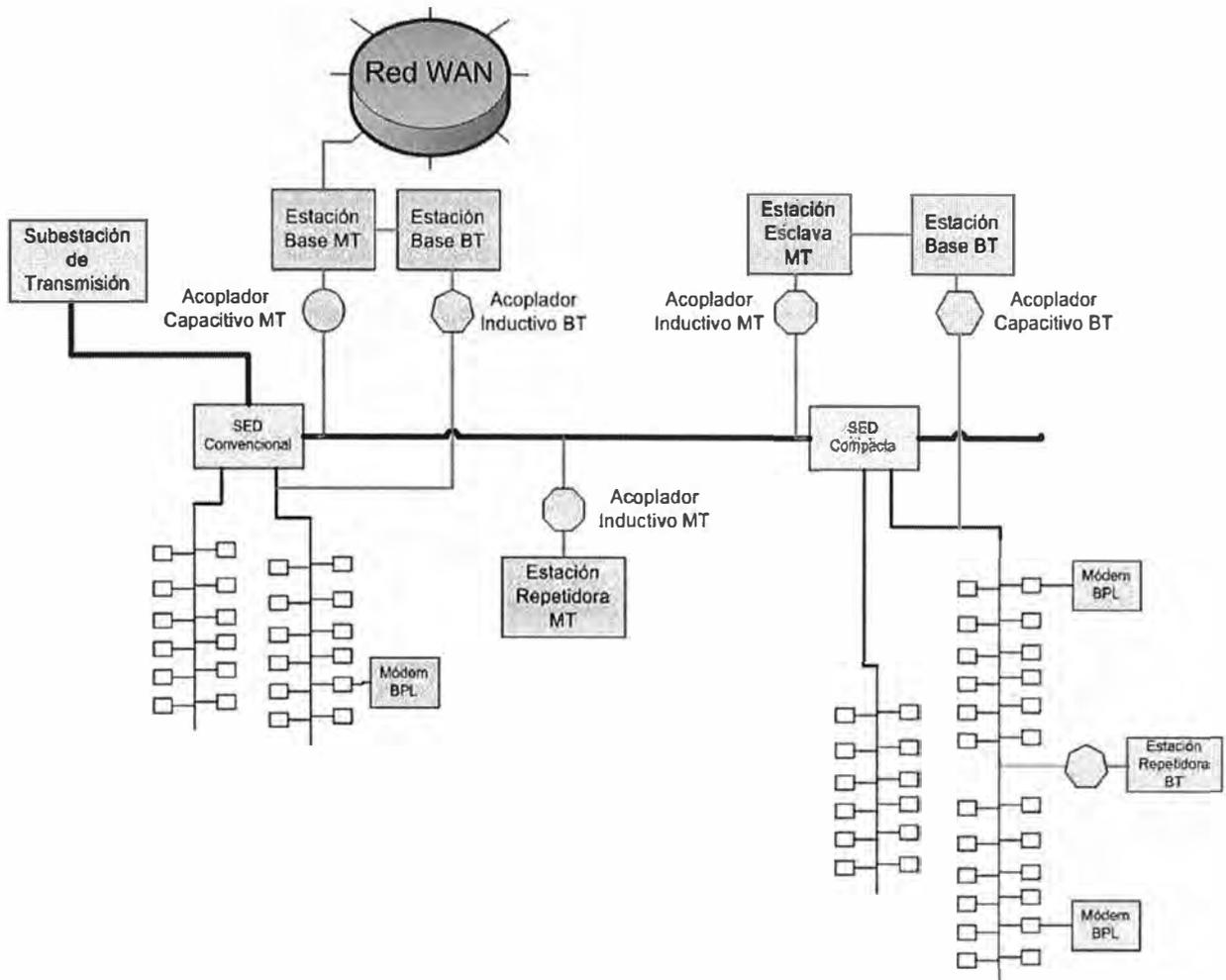
Por otro lado, la solución con equipos modulares es escalable al poder reemplazar un equipo con determinada capacidad por uno de mayor capacidad sin tener que modificar la configuración de la red o incrementar el número de equipos. Con este reemplazo las condiciones de los clientes existentes se mantienen mientras que se incrementa la capacidad para atender a una mayor cantidad de clientes.

Básicamente los equipos que conforman la solución en la tecnología BPL utilizada en la implementación propuesta, utilizan una configuración maestro – esclavo. En esta configuración todos los equipos que se encuentran por debajo de la estación base principal, que está conectada a la red WAN, se encuentran subordinados a dicha estación base.

La figura 2.3 muestra la arquitectura de una red acceso utilizando la tecnología BPL. Los equipos que se presentan en la figura son de acuerdo a la función que realizan, sin embargo, cada fabricante implementa la funcionalidad de la manera que cree más conveniente para su solución.

La figura 2.3 trata de bosquejar todos los posibles equipos que, funcionalmente, pueden requerirse para que la señal BPL se transporte desde una subestación a otra ya que, al ser el medio eléctrico un medio no diseñado para el transporte de señales que no sean eléctricas, muestra condiciones hostiles para las señales BPL, atenuándolas rápidamente conforme se incrementa la distancia. Sin embargo, la tecnología BPL actual ha logrado superar las

condiciones que presenta el medio por lo que no necesariamente se requiere de todos los equipos presentados en la figura 2.3.



**Fig. 2.3** Arquitectura de una de acceso BPL

De acuerdo a lo mostrado en la figura 2.3, los equipos BPL requeridos, desde el punto de vista funcional, para implementar una red de acceso de telecomunicaciones son básicamente los siguientes:

### 2.2.1 Estación Base MT

La estación base MT es el equipo que interactúa con la red WAN, este equipo se conecta directamente a la red WAN, obteniendo así acceso a la red de telecomunicaciones. Dado que es la estación principal, se encarga de administrar las comunicaciones con cada una de las estaciones esclava dentro de la porción de red MT que está dentro de su cobertura. Además, como generalmente se instala en una SED, administra la red BT que es atendida desde la SED en la que está instalado. Dependiendo de la topología de la red así como de las características de ruido de la red eléctrica que atiende, puede abarcar una gran cantidad de SED.

### **2.2.2 Estación Esclava MT**

La estación esclava MT es el equipo que se instala en cada SED, en la parte de MT de la SED y que forma parte de un mismo circuito atendido por una sola estación base MT. La estación esclava está gobernada por la estación base para el control de acceso al medio compartido. La estación esclava, a su vez, se interconecta con otra esclava para extender el enlace de comunicaciones en MT eliminando así la necesidad de utilizar nuevas conexiones a la red WAN para brindar el servicio. Esto reduce los costos de la implementación ya que los enlaces a la red WAN son más costosos que extender la cobertura de servicio mediante el uso de la red BPL. Adicionalmente la estación esclava MT se interconecta con una estación base BT que es la que brinda el servicio a los clientes que son alimentados por la SED en la que se encuentran los equipos BPL.

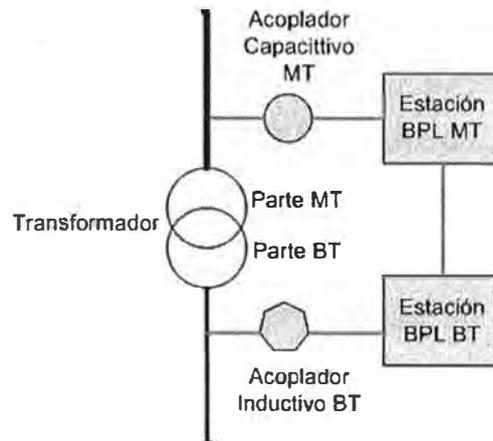
### **2.2.3 Estación Repetidora MT**

La estación repetidora MT es el equipo que se instala en una línea eléctrica MT cuando los equipos instalados entre las dos SED que conforman los extremos de la línea no pueden comunicarse debido a que la línea es muy larga o existen condiciones de ruido que atenúan la señal reduciendo el alcance de la misma. La estación repetidora, básicamente, recibe la señal de la estación que emite las señales y las reenvía a la estación que recibe las señales. Dadas las características de las redes eléctricas en Lima, en donde los cables eléctricos son directamente enterrados, se debe minimizar el uso de este tipo de equipos ya que los costos de implementación son altos al tener que realizar obras civiles adicionales para su instalación.

### **2.2.4 Estación Base BT**

La estación base BT es el equipo que se instala en cada SED, en la parte de BT de la SED para extender la cobertura de la señal BPL a través de toda la red de BT que es atendida por la SED en que está instalada. La estación base BT en realidad es una estación esclava ya que se encuentra conectada directamente a un puerto del estación MT por lo que se encuentra subordinada a esta para el envío y recepción de información desde la estación base MT. Con la estación BT se inicia la inyección de la señal BPL en la red BT de la red de distribución de energía eléctrica sin necesidad de intervenir al transformador de voltaje que forma parte de la SED, es decir, el transformador de voltaje no es afectado por la red BPL ya que esta solo utiliza los cables de energía eléctrica como medio de transmisión. Esto se debe a que en el núcleo del transformador la energía es inducida mediante campos magnéticos lo que afecta a la transmisión de la señal BPL si es que se intenta llevarla a

través del transformador. La figura 2.4 muestra un diagrama de bloques de la forma de conexión sin intervenir en el transformador.



**Fig. 2.4** Diagrama de Bloques de Conexión de Equipos BPL

### 2.2.5 Estación Repetidora BT

La estación repetidora BT es el equipo que se encarga de recibir la señal de la estación base BT y la retransmite a lo largo de la línea eléctrica en la que está instalada de tal manera de que la señal BPL se reciba en toda las conexiones de los clientes que son alimentados por dicha línea. La estación se instala básicamente cuando la señal emitida por la estación base BT de una SED no es recibida por todos los clientes de la SED. Esto puede deberse a que la SED tiene tramos demasiado largos o existen condiciones de ruido que atenúan la señal BPL. Por lo general los equipos repetidores pueden instalarse en cajas metálicas similares a las que se utilizan para la instalación de los medidores eléctricos de los clientes por lo que su instalación no es demasiado costosa ni requiere de adecuaciones complicadas con obras civiles.

### 2.2.6 Módem BPL

El módem BPL es el equipo que se entrega a los clientes para que este reciba y utilice los servicios brindados a través de la red BPL, tales como acceso a Internet y telefonía. El módem BPL es un equipo que se conecta directamente a cualquier tomacorriente dentro de las instalaciones eléctricas del cliente y de ahí al equipo que el usuario disponga tal como una computadora personal o un equipo telefónico. Estas conexiones pueden hacerse simultáneamente si es que el equipo cuenta con la cantidad de interfases necesarias. El módem BPL no requiere de un acoplador para conectarse a la red eléctrica del cliente ya que internamente cuenta con los dispositivos necesarios para aislar la parte de inyección de la señal BPL de la señal eléctrica.

## **2.3 Tipos de Acopladores**

A continuación describiremos los distintos tipos de acopladores que se utilizan en la implementación de redes de acceso utilizando la tecnología BPL. La selección de determinado tipo de acoplador depende de las características y facilidades de instalación que se tengan en los distintos lugares de la red en que se requiere utilizarlos.

### **2.3.1 Acoplador Capacitivo MT**

El acoplador capacitivo MT es el que se utiliza en las redes eléctricas de MT para aislar al equipo BPL del efecto de la energía eléctrica que circula por el cable eléctrico. Los acopladores capacitivos requieren de la intervención en la red eléctrica para su instalación ya que debe existir un contacto con el cable eléctrico. Además los acopladores capacitivos requieren de un espacio adecuado para su instalación por lo que se prefiere aquellos acopladores capacitivos que, para una misma tensión nominal de operación, son de menor tamaño que otros similares.

### **2.3.2 Acoplador Inductivo MT**

El acoplador inductivo MT es el que se utiliza en las redes eléctricas de MT para aislar al equipo BPL del efecto de la energía eléctrica que circula por el cable eléctrico. Los acopladores inductivos no requieren intervenir en la red eléctrica para su instalación ya que ellos inyectan la señal induciéndola en el cable eléctrico. Para esto lo que se hace es rodear el cable eléctrico con el acoplador. La única restricción que se tiene es que el cable eléctrico debe estar aislado, es decir, debe contar con cubierta protectora ya que el acoplador no cuenta con una protección por lo que no puede utilizarse en cables desnudos. Además, los acopladores inductivos son de dimensiones menores a los acopladores capacitivos lo que los hace más atractivos para la instalación ya que no se requiere de trabajos especiales ni cortes del suministro de energía eléctrica.

### **2.3.3 Acoplador Capacitivo BT**

El acoplador capacitivo BT es el que se utiliza en las redes eléctricas de BT para aislar al equipo BPL del efecto de la energía eléctrica que circula por el cable eléctrico. Aún cuando los acopladores capacitivos requieren de la intervención de la red eléctrica ya que hay un contacto entre el acoplador y el cable eléctrico al que se le va a inyectar la señal BPL, en el caso de BT no es necesario realizar la desconexión del suministro de energía eléctrica del tramo de red eléctrica afectada. Esto se debe a que el voltaje de la red BT permite la intervención utilizando los equipos de protección personal adecuados. Además, el espacio

que ocupan estos acopladores es significativamente menor al de los acopladores capacitivos MT por el mismo tema del voltaje que deben soportar.

#### **2.3.4 Acoplador Inductivo BT**

El acoplador inductivo BT es el que se utiliza en las redes eléctricas de BT para aislar al equipo BPL del efecto de la energía eléctrica que circula por el cable eléctrico. Los acopladores inductivos no requieren intervenir en la red eléctrica para su instalación ya que ellos inyectan la señal induciéndola en el cable eléctrico. Los acopladores inductivos básicamente rodean al cable eléctrico por lo que no se requiere realizar ningún trabajo en el cable. La única restricción es que el cable eléctrico debe estar aislado para evitar el contacto entre el cable eléctrico y el acoplador.

#### **2.4 Tipos de Equipos BPL de la Solución**

Las características y tipos de equipos presentados anteriormente son las características básicas que deben tener los equipos BPL. Sin embargo, cada fabricante desarrolla sus soluciones de manera diferente buscando minimizar la cantidad de equipos a desarrollar así como contar con módulos que hagan sus soluciones escalables conforme se incrementa la cantidad de clientes que utilizan sus equipos.

El hecho de que cada fabricante desarrolle sus soluciones independientemente genera una falta de estandarización en los productos que restringe el despliegue de las soluciones ya que estas solo pueden utilizar los equipos de un determinado fabricante. Esta falta de estandarización es uno de los problemas que enfrenta la tecnología BPL para su desarrollo y despliegue a nivel mundial. Sin embargo, existen ya organizaciones que se están encargando de desarrollar estándares para que la tecnología se desarrolle adecuadamente y se reduzcan los costos de implementación.

La solución a presentar está basada en los equipos de la empresa Ileo, una compañía con base en Suecia y Francia, que pertenece a Schneider Electric.

La solución de Ileo está basada en los componentes integrados PLC desarrollados por la empresa DS2 de España. Estos componentes son los que tienen la mayor velocidad alcanzada hasta el momento, siendo su valor máximo de 200 Mbps aunque depende de las condiciones del medio en el que se instala.

La solución de Ileo es una solución modular que facilita configurar distintos tipos de soluciones de acuerdo a los requerimientos de cada una de las zonas en las que se desea instalar la solución. Es decir, en la solución Ileo no existe un equipo específico para MT o

BT sino que básicamente se utiliza el mismo equipo para ambas situaciones dependiendo solamente del acoplador que se instale el hecho de que se utilice en MT o BT.

Además, en la solución de Ilevó no existe un equipo específico que se utilice como estación maestra, estación esclava o repetidor sino que se pueden configurar los distintos módulos para que realicen cada una de las funciones indicadas. Esto minimiza de manera importante la cantidad de módulos a desarrollar y flexibiliza las configuraciones que se pueden implementar.

Además, al crecer el número de clientes en una zona determinada, la solución permite el cambio de módulos por otros de mayor capacidad sin necesidad de modificar toda la solución.

A continuación presentaremos los distintos componentes de la solución Ilevó.

#### **2.4.1 Placa Base**

Siendo una solución modular, la solución de Ilevó requiere de una placa base en donde colocar los distintos módulos que se utilizarán en un determinado punto de la red. Estas placas base permiten conectar entre dos y cuatro módulos dependiendo de la configuración que se va a implementar. Las placas base cuentan con las conexiones necesarias para la interconexión de los diferentes módulos así como para la fuente de alimentación eléctrica requerida para suministrar energía a los demás módulos.

La figura 2.5 muestra una placa base de cuatro módulos con los cuatro módulos ocupados por la fuente de energía y equipos BPL. Se observa que los módulos encajan directamente sobre el extremo de la placa base contando con asas que facilitan tanto su instalación como su retiro de la placa base.



**Fig. 2.5** Placa Base para cuatro módulos con módulos llenos

#### **2.4.2 Fuente de Alimentación**

La fuente de alimentación es el elemento común en todas configuraciones dado que es requerida para que suministre energía a los distintos módulos que se instalen en cualesquiera de las placas base existentes. Para facilitar su instalación en la placa base, su apariencia externa es similar a la de los demás módulos que se instalan en la placa base. Aún cuando existen tres tipos distintos de placas base con diferente capacidad para la cantidad de módulos, solo existe un tipo de fuente de alimentación que puede abastecer de energía eléctrica a la cantidad máxima de equipos que pueden instalarse en la placa base más grande, es decir, tres equipos. La fuente de alimentación es el único equipo que cuenta con ubicación fija en la placa base, siendo esta en la parte izquierda de la placa base, es decir, en la figura 2.5 la fuente de alimentación es el módulo que se encuentra a la izquierda y desconectado de la placa base.

### **2.4.3 Módulo Ethernet ILV22M2**

Tal como explicamos líneas arriba, la solución de ILEVO utiliza los mismos equipos en diferentes configuraciones, minimizando así la cantidad de equipos con los que se tiene que trabajar durante la implementación.

El módulo Ethernet ILV22M2 es un módulo que se basa en el componente integrado DSS9002 fabricado por DS2. El componente integrado determina la capacidad del módulo y la capacidad determina las configuraciones en las que puede ser utilizado el módulo.

El componente integrado DSS9002 es un componente de alto rendimiento para equipos de una infraestructura BPL. La capacidad de direccionamiento que posee es de hasta 1.024 direcciones MAC lo que lo hace adecuado para las instalaciones en BT en donde cada SED, tiene menos de 1.000 clientes. Sin embargo, también puede ser utilizado en MT, sobre todo en las fases iniciales de los proyectos en las cuales no se cuenta con una gran cantidad de clientes instalados pudiendo este componente soportar dicha demanda.

El componente DSS9002 cuenta con las siguientes características principales:

- Alcanza velocidades de hasta 200 Mbps.
- Usa OFDM como técnica de modulación con 1.536 portadoras.
- Flexibilidad para la asignación de ancho de banda y tiempos de latencia.
- Puede ser utilizado en configuraciones maestro – esclavo y puerto a puerto.
- Facilidades para interconectarse con redes ópticas.
- Incluye puerto integrado para VoIP.

- Implementa Calidad de Servicio con colas de prioridad multinivel y un motor programable de clasificación de prioridades para el soporte simultáneo de varias aplicaciones de multimedia en tiempo real.
- Implementa avanzadas capacidades de gestión de redes para la implementación de LAN virtuales (VLAN), VLAN extendidas y conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS) en capa 2 entre otros.
- Soporte de gestión de redes utilizando SNMP.
- Flexibilidad para la configuración de las frecuencias.
- Capacidad para actuar como repetidor para incrementar la cobertura.
- Implementa poderosas técnicas de corrección de errores.

Las características del componente integrado DSS9002 son aprovechadas por el módulo Ethernet ILV22M2 para el soporte de los requerimientos de las aplicaciones que son brindadas a los usuarios por el operador que implementa la red.

El módulo ILV22M2 puede ser utilizado como estación maestra MT, como estación esclava MT, como repetidor MT y como estación maestra BT.

Además, el módulo implementa puertos para su conexión a la placa base y a la fuente de alimentación así como dos puertos ethernet RJ45 10/100 para su conexión con la red eléctrica y otros módulos BPL.

La figura 2.6 muestra un módulo Ethernet ILV22M2. Como se observará es muy similar en apariencia a la fuente de alimentación y a los demás módulos que se instalan sobre una placa base.



**Fig. 2.6** Módulo Ethernet ILV22M2

#### **2.4.4 Módulo Gigabit ILV22M3**

El módulo Gigabit ILV22M3 es un módulo que se basa en el componente integrado DSS9003 fabricado por DS2. El componente integrado determina la capacidad del módulo y la capacidad determina las configuraciones en las que puede ser utilizado el módulo.

El componente integrado DSS9003 es un componente de muy alto rendimiento para equipos de una infraestructura BPL. La capacidad de direccionamiento que posee es de hasta 262.144 direcciones MAC lo que lo hace adecuado para las instalaciones en MT con la cobertura de varias SED incluyendo a los clientes que son alimentados por cada una de las SED que conforman la red BPL. Aunque también puede ser utilizado en BT, se desaprovecharía su capacidad puesto que cada SED alimenta un promedio de 200 clientes llegando en algunos casos solo a 500 clientes.

El componente DSS9003 cuenta con características principales similares a las descritas en el punto anterior para el caso del componente DSS9002.

Dadas sus características de capacidad, este módulo es el generalmente utilizado para la interconexión de la red WAN con la red BPL, es por eso que cuenta con dos puertos Gigabit Ethernet integrados. Sin embargo, como en el caso del módulo Ethernet ILV22M2 también puede ser utilizado como estación esclava MT, repetidor MT y estación base MT. Además de los puertos Gigabit Ethernet, cuenta con conectores para la placa base y para la fuente de alimentación.

Tal como se indicó en el punto anterior la apariencia del módulo Gigabit ILV22M3 es similar a la mostrada en la figura 2.6 que corresponde al módulo Ethernet ILV22M2.

#### **2.4.5 Estación ILV2010**

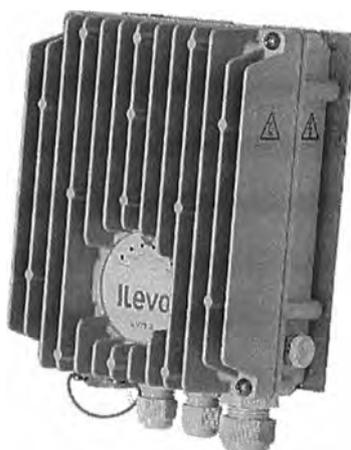
Adicionalmente a los componentes modulares presentados en los puntos anteriores. La solución de Ileva presenta estaciones para ser utilizados en la red eléctrica cuando se presentan condiciones extremas o se tienen problemas de espacio para su instalación.

La estación ILV2010 es una estación diseñada para trabajar a la intemperie o en ambientes con condiciones ambientales extremas. Esta estación posee un Índice de Protección de 54. El dígito 5 es el grado de protección ante el ingreso de objetos que lo puedan afectar, en este caso, el dígito 5 indica que el equipo cuenta con protección suficiente para evitar que no ingrese una cantidad de polvo al equipo que sea perjudicial para este. El dígito 4 es el grado de protección ante el ingreso de agua, en este caso, el dígito 4 indica que el equipo cuenta con protección suficiente ante el agua chorreada desde cualquier dirección.

La estación ILV2010 está basada en el componente integrado DSS9002 lo que le permite administrar hasta 1.024 direcciones MAC. Sus características de funcionamiento son similares a las que posee el módulo Ethernet ILV22M2.

La estación ILV2010 puede instalarse en SED o en salas de bancos de medidores. En el caso de las SED puede instalarse en SED aéreas pudiendo quedar a la intemperie.

La figura 2.7 muestra una imagen de la estación ILV2010. En esta se puede observar sus características robustas que la protegen de las condiciones climáticas extremas.



**Fig. 2.7** Estación ILV2010

#### **2.4.6 Estación ILV2000**

La estación ILV2000 ha sido desarrollada para extender la red BPL en los interiores de los edificios y viviendas. La estación ha sido desarrollada utilizando el componente integrado DSS9001 que tiene similares características a los componentes DSS9002 y DSS9003. La diferencia principal radica en que el DSS9001 solo tiene la capacidad para administrar hasta 64 direcciones MAC. Esto limita su uso a redes pequeñas como las que se pueden tener dentro de un edificio o en una vivienda particular.

La estación ILV2000 ha sido diseñada para instalarse en interiores siendo así protegida de las condiciones climáticas. Debido a esto solo cuenta con un Índice de Protección de 20. El dígito 2 es el grado de protección ante el ingreso de objetos que lo puedan afectar, en este caso, el dígito 2 indica que el equipo cuenta con protección suficiente para evitar que objetos con un grosor mayor a 12,5 mm no puedan ingresar al interior del equipo, esto significa que los dedos de una persona promedio no podrán alcanzar el interior del equipo. El dígito 0 es el grado de protección ante el ingreso de agua, en este caso, el dígito 0 indica que el equipo no cuenta con ninguna protección contra el contacto con agua por lo que se deberá evitar instalarlo en lugares en donde sea susceptible de entrar en contacto con este elemento.

La estación ILV2000 puede ser instalada en salas de bancos de medidores, dentro de las cajas protectoras de los medidores de energía eléctrica o en las paredes de un interior.

La figura 2.8 muestra una imagen de la estación ILV2000. En esta se puede observar que no posee características para trabajar a la intemperie.



**Fig. 2.8** Estación ILV2000

#### **2.4.7 Repetidor ILV2110**

La solución de Ilevo presenta repetidores para ser utilizados en BT. Dado que en las redes BT no se cuenta con los espacios que se tienen por ejemplo en las SED, se requiere de equipos que ocupen espacios pequeños y, en algunos casos, que puedan trabajar en condiciones climáticas extremas o a la intemperie.

El repetidor ILV2110 es un repetidor intermedio, de tamaño pequeño, diseñado para trabajar a la intemperie y en condiciones ambientales extremas. Posee un Índice de Protección de 54. El dígito 5 es el grado de protección ante el ingreso de objetos que lo puedan afectar, en este caso, el dígito 5 indica que el equipo cuenta con protección suficiente para evitar que no ingrese una cantidad de polvo al equipo que sea perjudicial para este. El dígito 4 es el grado de protección ante el ingreso de agua, en este caso, el dígito 4 indica que el equipo cuenta con protección suficiente ante el agua chorreada desde cualquier dirección.

El repetidor ILV2110 está basado en el componente integrado DSS9002 lo que le permite administrar hasta 1.024 direcciones MAC.

El repetidor ILV2110 es un repetidor que trabaja utilizando la técnica de división del tiempo, es decir, el repetidor recibe las señales en un determinado período de tiempo y las reenvía en otro período para ambos sentidos de transmisión. Esto reduce el rendimiento del repetidor a la mitad con respecto a un repetidor que utiliza la división de la frecuencia para un mismo ancho de banda. Sin embargo, dado que reutiliza la misma frecuencia para la comunicación con la estación maestra BT y con los equipos de los clientes, se privilegia su uso cuando se tiene escasez de ancho en un determinado tramo de la conexión por las condiciones de ruido del mismo. Además, el repetidor ILV2110 soporta menos clientes que

un repetidor por división de frecuencia por lo que no debe ser utilizado cuando se estima que la cantidad de clientes a atender supera un límite establecido.

Por otro lado, la latencia en estos equipos es mayor que en repetidores por división de frecuencia por lo que deben evitarse si se va a ofrecer servicios tales como telefonía IP o video sobre demanda.

Dado que se utiliza la misma banda de frecuencias para las comunicaciones en ambos sentidos, el repetidor ILV2110 solo requiere una conexión a la red eléctrica.

La figura 2.9 muestra la imagen de un repetidor de este tipo. Se observa que posee un buen blindaje para poder soportar las condiciones del medio ambiente en el que se le instale.



**Fig. 2.9** Repetidor ILV2110

#### **2.4.8 Repetidor ILV2120**

El repetidor ILV2120 es un repetidor intermedio diseñado para trabajar a la intemperie y en condiciones ambientales extremas. Posee un Índice de Protección similar al repetidor anterior, es decir, 54. El dígito 5 indica que el equipo cuenta con protección suficiente para evitar que no ingrese una cantidad de polvo al equipo que sea perjudicial para este. El dígito 4 indica que el equipo cuenta con protección suficiente ante el agua chorreada desde cualquier dirección.

El repetidor ILV2120 está basado en el componente integrado DSS9002 lo que le permite direccional hasta 1.024 direcciones MAC.

El repetidor ILV2120 es un repetidor que trabaja utilizando la técnica de división de la frecuencia, es decir, el repetidor recibe las señales en un determinado rango de frecuencias y las reenvía en otro rango de frecuencias. Esto reduce el ancho de banda disponible para los usuarios pero su rendimiento es el doble con respecto a un repetidor que utiliza la división del tiempo para un mismo ancho de banda. Sin embargo, no es recomendable para

cuando hay escasez de ancho en un determinado tramo de la conexión por las condiciones de ruido del mismo. Además, el repetidor ILV2120 soporta más clientes que un repetidor por división del tiempo por lo que debe ser utilizado cuando se estima que la cantidad de clientes a atender superará un límite establecido.

Por otro lado, la latencia en estos equipos es menor que en los repetidores por división del tiempo, por lo que deben utilizarse si se va ofrecer servicios que son sensibles a este parámetro, en este caso hablamos de servicios tales como telefonía IP y video sobre demanda.

Dado que se utiliza diferentes bandas de frecuencias para las comunicaciones simultáneas en ambos sentidos, el repetidor ILV2120 requiere de dos conexiones a la red eléctrica.

En apariencia, ambos repetidores son similares por lo que la figura 2.9 muestra la imagen de un repetidor de este tipo.

#### **2.4.9 Repetidor ILV2100**

El repetidor ILV2100 está diseñado para trabajar en ambientes interiores residenciales. Debido a esto posee solo un Índice de Protección de 20. El dígito 2 es el grado de protección ante el ingreso de objetos que lo puedan afectar, en este caso, el dígito 2 indica que el equipo cuenta con protección suficiente para evitar que objetos con un grosor mayor a 12,5 mm no puedan ingresar al interior del equipos, esto significa que los dedos de una persona promedio no podrán alcanzar el interior del equipo. El dígito 0 es el grado de protección ante el ingreso de agua, en este caso, el dígito 0 indica que el equipo no cuenta con ninguna protección contra agua por lo que se deberá evitar instalarlo en lugares en donde sea susceptible de entrar en contacto con este elemento.

El repetidor ILV2100 se utiliza básicamente para extender la cobertura de la red BPL y mejorar la calidad de la transmisión en las redes BT de edificios y viviendas en las cuales la señal no se reciba con la potencia requerida que permite un adecuado uso de los servicios de telecomunicaciones.

El repetidor ILV2100 está basado en el componente integrado DSS9001 fabricado por la empresa DS2 y cuenta con las mismas características que los componentes integrados DSS9002 y DSS9003. Sin embargo, su capacidad de direccionamiento es significativamente menor pudiendo solo manejar hasta 64 direcciones MAC.

Además, el repetidor ILV2100 está diseñado para trabajar con la técnica de división del tiempo por lo que se le aplican las mismas restricciones que para el repetidor ILV2110 en cuanto a su uso por las ventajas y desventajas del uso de la división del tiempo.

EL repetidor ILV2100 es muy flexible en cuanto a su instalación, se puede instalar en las salas de bancos de medidores de los edificios, en las paredes e inclusive en las cajas de los medidores de energía eléctrica.

La figura 2.10 presenta una imagen del repetidor ILV2100. Como se puede observar, su diseño está orientado al uso en ambientes protegidos y sin posibilidad de entrar en contacto con el agua.



**Fig. 2.10** Repetidor ILV2100

#### **2.4.10 Módem ILV211**

El módem ILV211 es el equipo que se le entrega al usuario para que se conecte a la red BPL y pueda utilizar los servicios que brinda la operadora de telecomunicaciones. Es el equipo normalmente CPE (por sus siglas en inglés “Customer Premise Equipment”), es decir, el equipo que el usuario utiliza dentro de sus instalaciones y que se diferencia de los equipos que la empresa de telecomunicaciones utiliza para desplegar la red de telecomunicaciones. En este caso, el módem BPL es el CPE.

El módem ILV211 puede ser instalado en cualquier tomacorriente de las instalaciones del cliente de tal manera que se conecte con la red BPL y ofrezca los servicios que el usuario haya requerido. El equipo posee un Índice de Protección de 20. El dígito 2 es el grado de protección ante el ingreso de objetos que lo puedan afectar, en este caso, el dígito 2 indica que el equipo cuenta con protección suficiente para evitar que objetos con un grosor mayor a 12,5 mm no puedan ingresar al interior del equipos, esto significa que los dedos de una persona promedio no podrán alcanzar el interior del equipo. El dígito 0 es el grado de protección ante el ingreso de agua, en este caso, el dígito 0 indica que el equipo no cuenta con ninguna protección contra agua por lo que se deberá evitar instalarlo en lugares en donde sea susceptible de entrar en contacto con este elemento.

El módem ILV211 está basado en el componente integrado DSS9001 por lo que puede administrar hasta 64 direcciones MAC, sin embargo viene configurado para ofrecer

simultáneamente los servicios de transmisión de datos y el servicio de telefonía IP. Para esto cuenta con una interfaz RJ-11 para la telefonía y una interfaz ethernet 10/100 BaseT RJ45 para la conexión a un dispositivo de acceso a datos que usualmente es una computadora personal.

El módem ILV211 puede ser utilizado para los servicios de Internet de banda ancha, voIP y servicios de voz, datos y video.

La instalación del módem es muy simple ya que solamente se conecta a la red eléctrica enchufándolo en cualquier tomacorriente con lo que el equipo se enciende, configura, autentica con la red BPL y ofrece los servicios autorizados para el cliente autenticado. El usuario solo debe conectar los conectores respectivos para la telefonía y el acceso a Internet para la utilización de los mismos.

El módem ILV211 puede administrar los flujos de datos para brindar calidad de servicio de tal manera que el cliente puede acceder a distintos niveles de servicio que se configuran en la estación maestra identificando al cliente con la dirección MAC de su equipo.

La figura 2.11 muestra la imagen de un módem ILV211. Se observa que el equipo es fácilmente maniobrable para poder trasladarlo a cualquier habitación en la que se desee el servicio.



**Fig. 2.11** Módem ILV211

#### **2.4.11 Módem ILV201**

El módem ILV201 es un módem diseñado específicamente para brindar el servicio de Internet de banda ancha. Al igual que el módem ILV211 puede ser instalado en cualquier tomacorriente de las instalaciones del usuario y también se basa en el componente integrado DSS9001.

El módem ILV201 es un equipo cuya principal característica es tener un tamaño pequeño para poder ser utilizado con una computadora personal en cualquier lugar sin incomodar al

usuario. Solo cuenta con una interfaz de conexión ethernet 10/100 BaseT RJ45 para el computador personal.

El equipo ILV201 está diseñado para trabajar en interiores. Sin embargo cuenta con mejor protección que el ILV211 al poseer un Índice de Protección de 20. El dígito 2 es el grado de protección ante el ingreso de objetos que lo puedan afectar, en este caso, el dígito 2 indica que el equipo cuenta con protección suficiente para evitar que objetos con un grosor mayor a 12,5 mm no puedan ingresar al interior del equipos, esto significa que los dedos de una persona promedio no podrán alcanzar el interior del equipo. El dígito 1 es el grado de protección ante el ingreso de agua, en este caso, el dígito 1 indica que el equipo puede soportar el goteo de agua sin afectar su funcionamiento.

La figura 2.12 muestra una imagen del módem ILV201. En esta se puede observar su diseño estilizado para utilizarlo en cualquier lugar sin necesidad de espacios especiales.



**Fig. 2.12** Módem ILV201

## **2.5 Tipos de Acopladores de la Solución**

Ahora presentaremos los distintos acopladores que se utilizan en la solución. A diferencia de los equipos BPL en donde se tiene que utilizar los equipos de un determinado fabricante debido a la falta de estandarización, en el caso de los acopladores existen diferentes fabricantes que producen este tipo de equipos. Una ventaja es que al ser elementos pasivos que básicamente protegen a los equipos BPL del contacto con la red eléctrica, su diseño y desarrollo es relativamente simple y no requieren de protocolos propietarios para su funcionamiento. Los acopladores básicamente toman cualquier señal que se les inyecte y la inyectan a la red eléctrica. Además, aunque existen diferentes soluciones de equipos BPL, todas ellas básicamente utilizan el mismo rango de frecuencias para la transmisión de las señales de telecomunicaciones por lo que los acopladores han sido diseñados para operar adecuadamente dicho rango. Por lo tanto diferentes acopladores pueden utilizarse en las

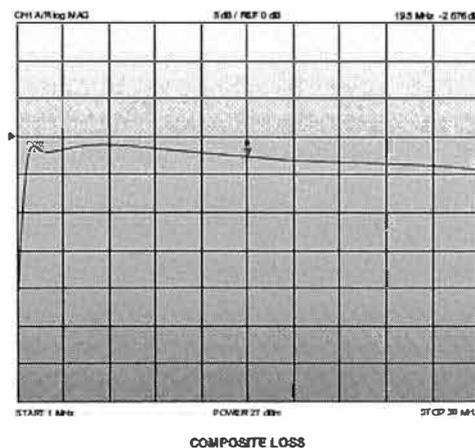
distintas soluciones y una solución específica puede utilizar distintas marcas de acopladores.

### 2.5.1 Acoplador Capacitivo CAMT

El acoplador capacitivo CAMT es un acoplador fabricado por la empresa DIMAT de España. Es un acoplador que trabaja en la red MT, está diseñado para maximizar el ancho de banda de comunicación disponible. El acoplador trabaja en el rango de frecuencias entre 2 MHz y 38 MHz, que es el rango de frecuencias de operación de los componentes integrados DSS900X utilizados en los equipos Ileo. Es decir, este acoplador puede ser utilizado de manera satisfactoria con los equipos de la empresa Ileo.

Además, el acoplador está diseñado para optimizar la adaptación de impedancia entre la línea de MT y el equipo BPL para una mejor transmisión de la señal. El acoplador ofrece un alto aislamiento que asegura la completa seguridad y protección tanto de los instaladores como de los equipos BPL que se conectan al acoplador.

El acoplador trabaja conectándose a una de las fases de la red eléctrica cerrando el circuito con una conexión a tierra. Presentan una baja pérdida de inserción que se encuentra entre los tres y cuatro decibeles. La figura 2.13 muestra la curva característica de pérdidas de inserción de estos acopladores, se puede observar su comportamiento casi plano en la zona de los 2 MHz a los 38 MHz presentando bajas pérdidas en dicho rango.



**Fig. 2.13** Curva Característica de Pérdidas de Inserción

El acoplador está formado por dos partes: el capacitor de acoplamiento y el circuito de acoplamiento que realiza la adaptación de impedancias.

Por otro lado, el acoplador está diseñado de una manera compacta lo que permite utilizar un espacio mínimo para su instalación en las SED tanto en interiores como en exteriores.

El acoplador CAMT tiene varios modelos que se han diseñado para distintos voltajes y para ser utilizados en interiores o a la intemperie. La tabla 2.1 muestra los distintos

modelos existentes con los voltajes para los que están diseñados así como el lugar en que pueden ser utilizados.

Modelo	Voltaje de Operación (kV)	Uso
CAMT-1	24	Interiores
CAMT-2	36	Interiores
CAMT-3	24	Exteriores

**TABLA 2.1** Modelos de Acopladores Capacitivos CAMT

El acoplador utiliza un conector TNC para cable coaxial para recibir la señal BPL y un conector tipo perno para la conexión a la red eléctrica.

La figura 2.14 muestra una imagen del acoplador capacitivo CAMT. En ella puede observarse lo compacto del equipo así como sus terminales para la conexión a la red eléctrica y al equipo BPL.



**Fig. 2.14** Acoplador Capacitivo CAMT

### 2.5.2 Acoplador Capacitivo OVERCAP

El acoplador capacitivo OVERCAP es un acoplador fabricado por la empresa ARTECHE de España. Es un acoplador que trabaja en la red eléctrica de MT y se utiliza específicamente para enlaces en cables aéreos. Este acoplador trabaja en el rango de frecuencias entre 2 MHz y 100 MHz, que es un rango de frecuencias que contiene al rango de frecuencias en el que trabajan los componentes integrados DSS9000X utilizados por los equipos llevo. Es decir, este acoplador puede ser utilizado de manera satisfactoria con los equipos de la empresa llevo.

Además, el acoplador está diseñado con una impedancia de 50 ohmios para el lado del equipo y 200 ohmios para el lado de la línea con lo que trabaja adecuadamente con la línea de MT y el equipo BPL y se tiene una buena transmisión de la señal. El acoplador ofrece un alto aislamiento de silicón que asegura la completa seguridad y protección tanto de los instaladores como de los equipos BPL que se conectan al acoplador.

El acoplador trabaja conectándose a una de las fases de la red eléctrica cerrando el circuito con una conexión a tierra. La conexión es específicamente en cables aéreos para lo cual puede ser instalado en un poste o directamente colgado en el cable eléctrico, para el primer caso utiliza un accesorio adicional que lo sujeta al poste mientras que para el segundo caso utiliza un gancho adicional, como extensión del conector del acoplador a la línea eléctrica, que se conecta al cable eléctrico. El cable eléctrico, en este caso, es un cable eléctrico desnudo. Presentan una baja pérdida de inserción que se encuentra por debajo de los dos decibeles.

El acoplador está formado por las dos partes del acoplador CAMT: el capacitor de acoplamiento y el circuito de acoplamiento que realiza la adaptación de impedancias. Sin embargo, a diferencia del acoplador CAMT, el acoplador OVERCAP incorpora un mecanismo de desconexión de tierra. De tal manera de que si ocurre un fallo en el acoplador, la parte inferior del mismo, junto con los cables y conexiones de tierra, se desconecta de la parte capacitiva para que al restablecer la conexión de la línea, el acoplador no interfiera en el funcionamiento de la misma.

Por otro lado, el acoplador está diseñado de una manera compacta lo que permite utilizar un espacio mínimo para su instalación en los cables eléctricos aéreos.

El acoplador OVERCAP tiene varios modelos que se han diseñado para distintos voltajes de aislamiento. La tabla 2.2 muestra los distintos modelos existentes con los voltajes para los que están diseñados.

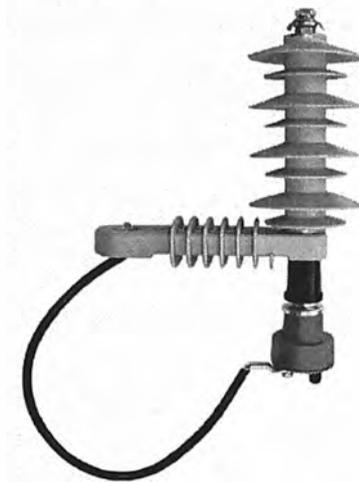
<b>Modelo</b>	<b>Voltaje de Operación (kV)</b>
OVERCAP-17	17.5
OVERCAP-25	25
OVERCAP-36	36

**TABLA 2.2** Modelos de Acopladores Capacitivos OVERCAP

El acoplador utiliza un conector TNC para cable coaxial para recibir la señal BPL y un conector tipo perno para la conexión a la red eléctrica. Sin embargo, cuando se utiliza

directamente colgado del cable eléctrico, se utiliza un gancho adicional que se conecta al conector tipo perno siendo ahora el gancho el conector al cable eléctrico.

La figura 2.15 muestra una imagen del acoplador capacitivo OVERCAP con soporte adicional para sujeción al poste. En ella puede observarse lo compacto del equipo así como el accesorio adicional que le permite fijarse a una distancia del poste así como el cable para la conexión a tierra.



**Fig. 2.15** Acoplador Capacitivo OVERCAP

### **2.5.3 Acoplador Inductivo UNIC**

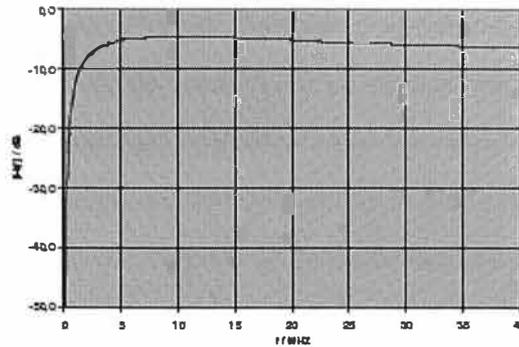
El acoplador inductivo UNIC es un acoplador fabricado por la empresa ARTECHE de España. Es un acoplador que trabaja en la red MT, está diseñado para maximizar el ancho de banda de comunicación disponible. El acoplador trabaja en el rango de frecuencias entre 2 MHz y 40 MHz, que contiene al rango de frecuencias de operación de los componentes integrados DSS900X utilizados en los equipos Ilevó. Es decir, este acoplador puede ser utilizado de manera satisfactoria con los equipos de la empresa Ilevó.

Además, el acoplador está diseñado con una impedancia de 50 ohmios para el lado del equipo para una adecuada adaptación de impedancia entre el acoplador y el equipo BPL que resulta en una transmisión óptima de la señal BPL.

El acoplador no tiene un contacto físico directo con el sistema eléctrico por lo que asegura la completa seguridad y protección tanto de los instaladores como de los equipos BPL que se conectan al acoplador.

El acoplador trabaja conectándose a una de las fases de la red eléctrica cerrando el circuito con una conexión a tierra. Presentan una baja pérdida de inserción que se encuentra por debajo de los tres decibeles. La figura 2.16 muestra la curva característica de pérdidas de

inserción de estos acopladores, se puede observar su comportamiento casi plano en la zona de los 2 MHz a los 40 MHz presentando bajas pérdidas en dicho rango.



**Fig. 2.16** Curva Característica de Pérdidas de Inserción

El acoplador es una unidad compacta con forma de un cilindro hueco en el que su diámetro interior es la característica que determina la factibilidad de utilización en los distintos cables de energía. Todo cable que, incluido su aislamiento, tiene un diámetro superior al diámetro interno del acoplador no podrá utilizar este tipo de acoplador. Además, debe quedar espacio para poder pasar el cable de tierra por dentro del acoplador para eliminar el efecto de las corrientes de fuga.

Por otro lado, el acoplador presenta dimensiones mínimas, 9 cm. de diámetro exterior y 9 cm. de altura, que facilitan su instalación alrededor de los cables eléctrico sin necesidad de requerir demasiado espacio para su ubicación. Sin embargo, se debe tener presente que el acoplador debe estar alejado de las partes del cable que no tienen aislamiento a razón de 1 cm. por cada kV de voltaje en el cable, es decir, para una red MT de 10 kV, el acoplador debe estar alejado por lo menos 10 cm. de las terminaciones del cable eléctrico ya que están sin aislamiento.

El acoplador UNIC solo tiene un modelo único diseñado para un voltaje de operación de hasta 36 kV. que puede ser utilizado en interiores o a la intemperie, para este caso, se deben solicitar especialmente esta característica para que el fabricante adecue el equipo.

El acoplador utiliza un conector BNC para cable coaxial para recibir la señal BPL y obviamente ningún conector para la conexión a la red eléctrica.

La figura 2.17 muestra una imagen del acoplador inductivo UNIC. En ella puede observarse lo compacto del equipo así como los conectores para la señal BPL y para tierra.



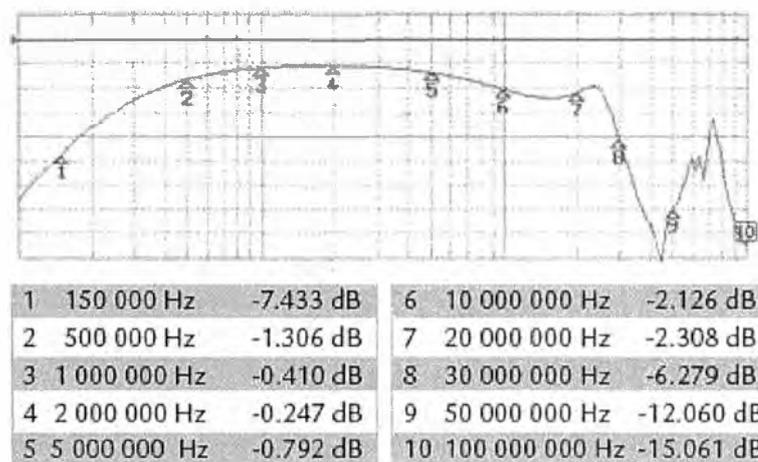
**Fig. 2.17** Acoplador Inductivo UNIC

#### 2.5.4 Acoplador Capacitivo P-1240-014

El acoplador capacitivo P-1240-014 es un acoplador desarrollado por la empresa PREMO de España. Es un acoplador que trabaja en la red BT y trabaja en el rango de frecuencias entre 1 MHz y 30 MHz, que, aunque no es similar al rango de frecuencias de operación de los componentes integrados DSS900X utilizados en los equipos llevo, su comportamiento en el rango de 30 MHz a 38 MHz es aceptable, dado que es para BT.

Además, el acoplador está diseñado para optimizar la adaptación de impedancia entre la línea BT y el equipo BPL para una mejor transmisión de la señal. Dado que el acoplador trabaja en BT, hasta los 400 V, su instalación es segura.

El acoplador trabaja conectándose a una de las fases de la red eléctrica cerrando el circuito con una conexión a tierra. Presentan una baja pérdida de inserción que se encuentra entre los tres y siete decibeles. La figura 2.18 muestra la curva característica de pérdidas de inserción de estos acopladores, se puede observar su comportamiento casi plano en la zona de los 2 MHz a los 20 MHz presentando bajas pérdidas en dicho rango con un incremento hacia la zona de los 38 MHz en donde alcanza unas pérdidas de siete decibeles.



**Fig. 2.18** Curva Característica de Pérdidas de Inserción

El acoplador es una unidad compacta de muy pequeño tamaño (10 cm. de largo, 6 cm. de ancho y 2.5 cm. de espesor) que internamente contiene todos los elementos para realizar el acoplamiento protegiendo adecuadamente al equipo BPL.

Los acopladores de BT son generalmente modelos únicos a los que básicamente pueden añadirse accesorios adicionales, en este caso el acoplador trabaja con voltajes de hasta 400 V, normalmente viene con cables simples para la conexión a la red eléctrica y con un conector molex para la conexión al equipo BPL, aunque tiene una variante con un conector para tomacorriente en el lado de la señal y un conector BNC en el lado de la conexión al equipo BPL.

El acoplador cumple con la directiva RoHS lo que significa que está libre de sustancias peligrosas tales como plomo, cadmio, mercurio y otros.

La figura 2.19 muestra una imagen del acoplador P-1240-014. En ella se puede observar los cables que se utilizan para las conexiones.



**Fig. 2.19** Acoplador Capacitivo P-1240-014

### 2.5.5 Acoplador Capacitivo CC1

El acoplador capacitivo CC1 es un acoplador desarrollado por la empresa Ilevó. Es un acoplador que trabaja en la red BT pero, aún cuando es un acoplador desarrollado por la empresa Ilevó, trabaja en el rango de frecuencias entre 1 MHz y 34 MHz que mejora la respuesta con respecto al acoplador P-1240-014. Esto hace que el acoplador pueda ser utilizado de manera satisfactoria.

Además, el acoplador está diseñado para optimizar la adaptación de impedancia entre la línea BT y el equipo BPL para una mejor transmisión de la señal presentando versiones con 50 ohmios y 100 ohmios. Dado que el acoplador trabaja en BT, hasta los 400 V, su instalación es segura.

El acoplador trabaja conectándose a una de las fases de la red eléctrica cerrando el circuito con una conexión a tierra. Presentan una baja pérdida de inserción que se encuentra entre por debajo de los tres decibeles.

El acoplador es una unidad compacta de muy pequeño tamaño (9.2 cm. de largo, 5.6 cm. de ancho y 2 cm. de espesor) que internamente contiene todos los elementos para realizar el acoplamiento protegiendo adecuadamente al equipo BPL.

El acoplador viene con conexiones para cables simples para la conexión a la red eléctrica y con un conector tipo micro-fit para la conexión al equipo BPL.

El acoplador está desarrollado para trabajar en ambientes hostiles. Posee un Índice de Protección de 54. El dígito 5 es el grado de protección ante el ingreso de objetos que lo puedan afectar, en este caso, el dígito 5 indica que el equipo cuenta con protección suficiente para evitar que no ingrese una cantidad de polvo al equipo que sea perjudicial para este. El dígito 4 es el grado de protección ante el ingreso de agua, en este caso, el dígito 4 indica que el equipo cuenta con protección suficiente ante el agua chorreada desde cualquier dirección.

La figura 2.20 muestra una imagen del acoplador CC1 Compacto. En ella se puede observar los conectores para los cables y el conector para la señal BPL.



**Fig. 2.20** Acoplador Capacitivo CC1 Compacto

### **2.5.6 Acopladores Inductivos IC2 e IC3**

Los acopladores inductivos IC2 e IC3 son acopladores desarrollados por la empresa Ilevo. Estos acopladores trabajan en la red BT pero, aún cuando es un acoplador desarrollado por la empresa Ilevo, trabaja en el rango de frecuencias entre 1 MHz y 30 MHz como los demás acopladores de BT. Esto hace que el acoplador se utilice de manera satisfactoria.

Dado que el acoplador trabaja en BT, hasta los 400 V, y se encuentra rodeado por una cubierta plástica aislante, su instalación es segura.

Estos acopladores trabajan en pares, al ser básicamente una ferrita, reciben la señal del cable con las señal BPL que pasa por su centro e inducen dicha señal en el cable eléctrico que también se encuentra dentro del centro de la ferrita. Debido a esto sus pérdidas de

inserción son mayores a las de los demás tipos de acopladores pudiendo llegar a los 10 decibeles.

La diferencia entre el IC2 y el IC3 es básicamente la corriente que pueden soportar, en el caso del IC2 es 100 A y en el caso del IC3 es 150 A. Este tipo de acopladores son unidades compactas de muy pequeño tamaño (el diámetro exterior es de 4.4 cm. y el ancho es 1.5 cm.) lo que facilita su instalación en espacios pequeños.

El acoplador no trae conexiones ya que tanto el cable de señal como el cable eléctrico van dentro de su centro.

La figura 2.21 muestra una imagen de los acopladores IC2 e IC3. En ella se puede observar que no cuentan con conectores y que están sujetas a una cubierta protectora plástica.



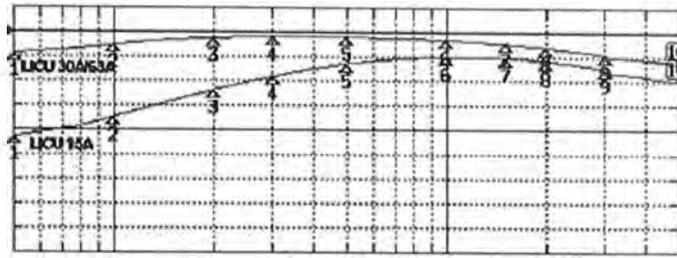
**Fig. 2.21** Acopladores Inductivos IC2 – IC3

### **2.5.7 Acoplador Inductivo LICU**

Los acopladores inductivos LICU son acopladores desarrollados por la empresa PREMO de España. Estos acopladores trabajan en la red BT y trabajan en el rango de frecuencias entre 1 MHz y 30 MHz como los demás acopladores de BT. Esto hace que el acoplador pueda ser utilizado de manera satisfactoria.

Dado que el acoplador trabaja en BT, hasta los 230 V, y se encuentra dentro de una empaquetadura plástica aislante, su instalación es segura.

Estos acopladores trabajan en pares, al ser básicamente una ferrita, reciben la señal del cable con las señal BPL que pasa por su centro e inducen dicha señal en el cable eléctrico que también se encuentra dentro del centro de la ferrita. Debido a esto sus pérdidas de inserción son mayores a las de los demás tipos de acopladores pudiendo llegar a los 12 decibeles. La figura 2.22 muestra la curva característica de pérdidas de inserción de estos acopladores.



**Fig. 2.22** Curva Característica de Pérdidas de Inserción

La tabla 2.3 muestra los valores que representan cada uno de los puntos mostrados en la figura 2.22. Se puede observar que las pérdidas de inserción en general son superiores a otros tipos de acopladores y que las pérdidas disminuyen cuando la corriente es mayor.

	Freq. (MHz)	Insertion losses (dB)	
		LICU 15A	LICU 30A/63A
1	0.5	21.271	4.369
2	1	17.338	2.563
3	2	11.808	1.162
4	3	9.048	0.935
5	5	6.437	0.988
6	10	4.92	1.538
7	15	5.153	2.275
8	20	5.792	3.059
9	30	7.646	4.652
10	50	10.041	6.136

**TABLA 2.3** Pérdidas de Inserción para los puntos de la figura 2.22

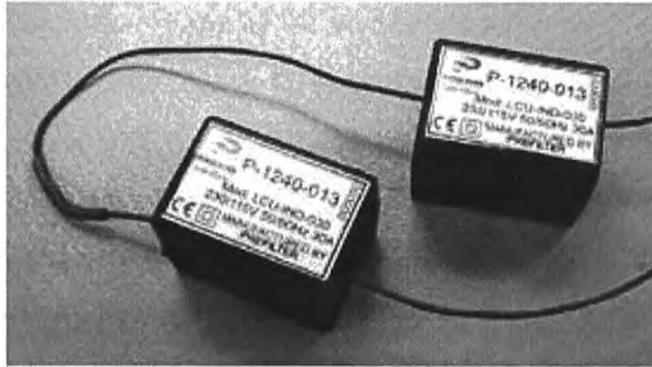
Existen varios modelos de acopladores inductivos LICU cuya principal diferencia es la corriente que pueden soportar que también influye en el tamaño del acoplador; a mayor corriente, mayor tamaño del acoplador. La tabla 2.4 muestra los distintos modelos con las características que los diferencian.

Modelo	Corriente (A)	Largo (cm.)	Ancho (cm.)	Alto (cm.)	Diámetro Interno (cm.)
LICU – 15A	15	3.2	1.9	2.0	0.65
LICU – 30A	30	3.2	2.3	2.4	1.00
LICU – 63A	63	3.2	3.1	3.0	1.30

**TABLA 2.4** Características diferentes de los acopladores LICU

El acoplador no trae conexiones ya que tanto el cable de señal como el cable eléctrico van dentro de su centro.

La figura 2.23 muestra una imagen de los acopladores LICU 30A. En ella se puede observar que no cuentan con conectores y también la forma de uso que es en parejas y con el cable de la señal BPL que será inducida en el cable eléctrico al que se conecten.



**Fig. 2.23** Acopladores LICU 30A

### 2.5.8 Filtros Bloqueadores

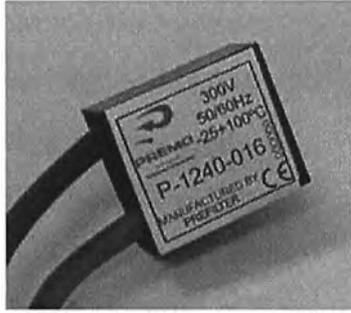
Aún cuando no es un acoplador ni un equipo BPL, los filtros bloqueadores son una parte importante de las soluciones ya que evitan que las señales BPL retornen a la red desde las instalaciones de los clientes eliminando así el ingreso de ruido adicional a la red.

Los filtros bloqueadores que se utilizan en la solución son filtros bloqueadores desarrollados por la empresa PREMO. Estos filtros trabajan en la red BT y bloquean las señales que se generan en el rango de frecuencias entre 1 MHz y 40 MHz, es decir, el filtro bloquea todas las señales BPL que se envíen al punto en donde se encuentra conectado. Dado que el acoplador trabaja en BT, hasta los 520 V, y se encuentra dentro de una empaquetadura plástica aislante, su instalación es segura.

Los filtros acopladores se utilizan para que la señal BPL se atenúe completamente en determinados puntos de la red de tal manera que la señal no circule más allá de dicho punto. Esto evita efectos indeseados tales como el retorno de la señal desde las viviendas de los usuarios.

Existen dos modelos de filtros bloqueadores cuya principal diferencia es que trabajan en circuitos monofásicos y trifásicos.

La figura 2.24 muestra una imagen del modelo de bloqueador monofásico. En esta imagen se pueden observar sus conexiones para la fase así como sus características eléctricas tales como el voltaje máximo de operación (300 V), la frecuencia de operación (50/60 Hz) y el rango de temperatura de operación (-25° a 100°C).



**Fig. 2.24** Filtro Bloqueador de una Fase

La figura 2.25 muestra una imagen del modelo de bloqueador trifásico. En esta imagen se pueden observar sus conexiones para las tres fases así como sus características eléctricas tales como el voltaje máximo de operación (520 V), la frecuencia de operación (50/60 Hz) y el rango de temperatura de operación (-25° a 100°C).



**Fig. 2.25** Filtro Bloqueador de Tres Fases

## **CAPÍTULO III**

### **ESQUEMAS DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED BPL**

En este capítulo se describirán los distintos esquemas que se tienen para implementar la red BPL en las redes de distribución eléctrica de baja tensión como media tensión. La descripción estará basada en los equipos de la solución planteada, es decir, se presentarán las distintas configuraciones de los equipos BPL de la solución para implementar la red BPL. Los esquemas incluirán además las configuraciones de los equipos acopladores requeridos para que la señal BPL se inyecte al cable eléctrico, especificándose las mejores alternativas para cada caso.

Los esquemas servirán básicamente para tener preparadas las configuraciones de equipos que se utilizarán durante la implementación de la red BPL eligiendo en cada caso el esquema que mejor se adecua a una determinada configuración de la red eléctrica.

#### **3.1 Red BPL para última milla en media tensión**

En el caso de la red BPL para media tensión el objetivo es lograr la interconexión entre dos SED sin necesidad de repetición intermedia, esto, además de reducir los costos de implementación, es necesario debido a que la posibilidad de utilizar repetidores intermedios es muy difícil dado que los cables de media tensión en la zona urbana son subterráneos pero enterrados directamente en el subsuelo. Debido a esto, para colocar un repetidor intermedio se tendría que construir una bóveda especial que incrementaría los costos de la solución de manera importante. En el próximo capítulo se verá los despliegues que se requieren para los casos en que se tenga dos SED que no pueden interconectarse sin repetición.

Por lo tanto, aunque veremos las distintas configuraciones de los equipos BPL, las configuraciones que utilizaremos serán principalmente configuraciones que no utilizan repetidores intermedios para lograr la interconexión de las SED. Las configuraciones con

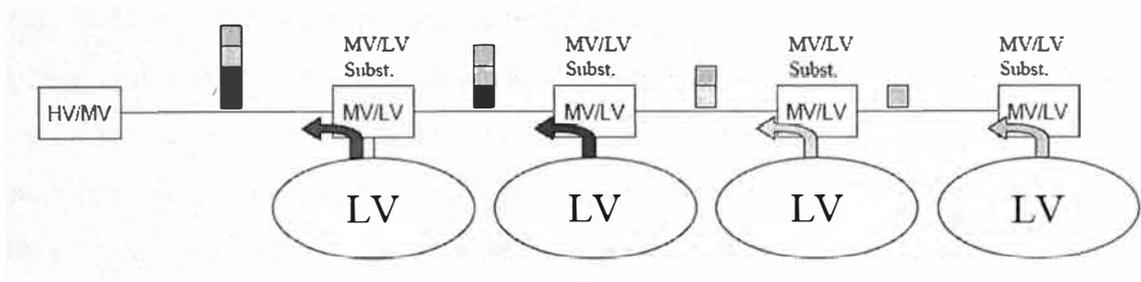
repetición que utilizaremos serán configuraciones en las cuales la repetición se realiza en una SED para interconectar a una nueva SED a la red BPL.

Básicamente, para los esquemas de configuración de los equipos BPL para media tensión, se deben tener en cuenta dos criterios:

- Funciones que realizará el conjunto de equipos BPL en la SED
- Tipo de SED en la que se conecta el equipo BPL

Las funciones que realizará el equipo BPL en la SED son importantes para determinar la cantidad de módulos que se utilizarán en la SED así como la capacidad que debe tener dicho equipo para atender una determinada cantidad de usuarios. En este punto es importante indicar que la posición de la SED en el enlace es también importante ya que dependiendo de esta, requerirá de una mayor capacidad ya que no solo requerirá soportar el tráfico de los usuarios de su SED sino también el tráfico de las SED que se encuentren posteriores a ella.

La figura 3.1 ilustra gráficamente este caso, en esta figura se puede observar como el tráfico que proviene de las redes de BT de las cuatro SED debe ser soportado por el enlace entre la SET y la primera SED. Así la SED más cercana al enlace WAN soporta una mayor cantidad de tráfico de diferentes usuarios y esta capacidad va disminuyendo conforme la posición de la SED se aleja del enlace WAN.



**Fig. 3.1** Tráfico de una Red BPL en MT.

El tipo de SED es importante ya que, dependiendo de está, se selecciona el tipo de acoplador más apropiado. Sin embargo, es importante reiterar que, por razones de facilidad de instalación y economía de espacio, siempre se tratará de utilizar acopladores inductivos en la medida de que sea factible.

Teniendo en cuenta el criterio de las funciones que realizará el conjunto de equipos BPL en la SED, se tendrán las siguientes configuraciones:

### 3.1.1 Configuración Estación Base MT – Estación Base BT

Aunque la configuración que estamos analizando es en la red MT, es necesario considerar al equipo BT ya que, al ser la solución de Ileva una solución modular, todos los equipos, que se instalen en una localización específica, comparten la misma placa base y también la fuente de poder.

Para esta configuración se tendría una placa base para 3 módulos, cuyo código es el ILV22B2, en la que instalaríamos la fuente de poder y dos módulos BPL, uno para MT y uno para BT, que requieren de consideraciones adicionales.

En el caso del módulo MT, dado que es una estación base que se va a conectar con la red WAN y va a atender a todos los usuarios que se conecten a través de la red BPL de la cual, la estación base es la cabecera; se debe tener en cuenta la cantidad de usuarios y/o servicios que serán atendidos desde dicha estación. En el caso de que la cantidad de usuarios que requieran de distinta direcciones no sea superior a 1.024, entonces se debe optar por el modelo ILV22M2 cuya capacidad es de hasta 1024 direcciones MAC, pero si la cantidad de usuarios supera los 1.024 entonces se debe utilizar el módulo ILV22M3 que tiene la capacidad de manejar hasta 262.144 direcciones MAC.

También se puede iniciar con una configuración para 1.024 direcciones MAC y si luego se excede la cantidad de usuarios se puede reemplazar el módulo por el de mayor capacidad sin tener que reconfigurar nada en la estación BT.

El tipo de conexión a la red WAN depende del tipo de equipo que se utiliza, en el caso de que se utilice un módulo ILV22M3 se tendría que utilizar una conexión GBIC mientras que si se utiliza un módulo ILV22M2 la conexión sería una conexión Ethernet 10/100. Obviamente la velocidad de la interconexión se limita de acuerdo a la cantidad de usuarios que se tienen en la red BPL.

La figura 3.2 presenta un diagrama de bloques de la configuración que se tendría para el caso de una red BPL que requiere manejar más de 1.024 direcciones MAC. Todos los módulos se colocan directamente en la placa base que ofrece interconexiones para que se comparta la fuente de poder. Ambos módulos BPL ofrecen las salidas requeridas para inyectar la señal BPL en los equipos acopladores.



**Fig. 3.2** Diagrama de Bloques de una Estación Base MT – Estación Base BT

### 3.1.2 Configuración Estación Repetidora FDD MT – Estación Base BT

Esta configuración es una de la que más se utiliza en MT dado que todas las SED que se encuentran posteriores a la SED que se encuentra en la cabecera de la red BPL deben utilizar este tipo de configuración con excepción de la última SED que pertenece a la misma red BPL, ya que esta última no requiere extender la señal BPL en MT hacia ninguna SED adicional. Además, la repetición utilizando distintos rangos de frecuencias (FDD por sus siglas en inglés “Frequency Division Duplex”) es una mejor alternativa que utilizar distintas divisiones de tiempo ya que no se reduce la capacidad del canal de frecuencia utilizado al no tener que partirlo en divisiones de tiempo para cada sentido de transmisión. Además, no hay problemas con servicios que sean afectados por la introducción de latencia, tales como el servicio de VoIP.

Para esta configuración se tendría una placa base para 4 módulos, cuyo código es el ILV22B3, en la que instalaríamos la fuente de poder y tres módulos BPL, dos para MT y uno para BT, que requieren de consideraciones adicionales.

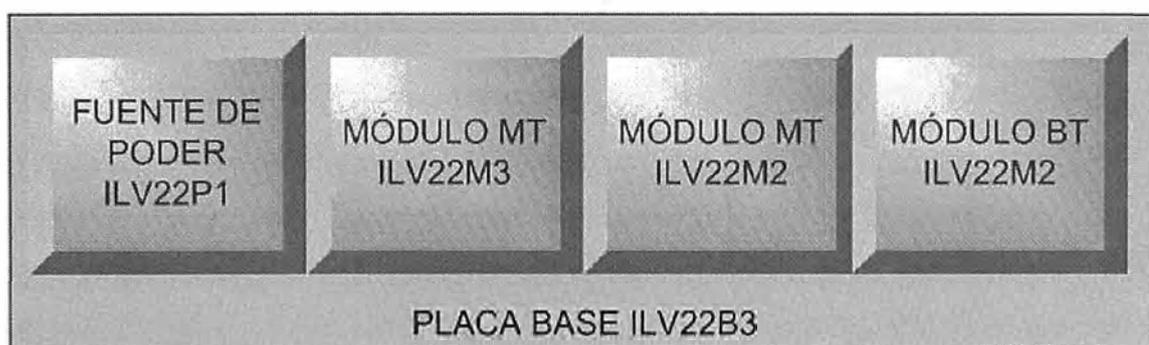
En el caso de los módulos MT, se requieren dos módulos dado que uno de ellos recibirá la señal de la estación previa en un modo de frecuencia mientras que el otro módulo enviará la señal BPL a través de la red de MT en otro modo de frecuencia. El uso de dos equipos nos permite mantener la capacidad de transmisión intacta ya que se utilizan dos modos de frecuencia de idéntica capacidad en vez de utilizar uno solo.

Por otro lado, desde el punto de vista de las consideraciones de selección para cada uno de los módulos, se tiene que uno de los módulos se conecta con la estación previa y el segundo módulo BPL extiende la red BPL a través de la red de MT; cada uno de ellos debe tener consideraciones diferentes de selección. Para el caso del módulo que se interconecta con la estación previa, debe tener las mismas consideraciones de cantidad de usuarios que la estación previa. Para el caso del módulo que extiende la red BPL, debe considerar la cantidad de usuarios que se atenderán en todas las SED adicionales que enviarán sus

señales BPL por el enlace que dicha estación está implementando. Teniendo estas consideraciones presentes, en el caso de que la cantidad de usuarios que requieran de distinta direcciones no sea superior a 1.024, entonces se debe optar por el modelo ILV22M2 cuya capacidad es de hasta 1024 direcciones MAC, pero si la cantidad de usuarios supera los 1.024 entonces se debe utilizar el módulo ILV22M3 que tiene la capacidad de manejar hasta 262.144 direcciones MAC.

También se puede iniciar con una configuración para 1.024 direcciones MAC y si luego se excede la cantidad de usuarios se puede reemplazar el módulo por el de mayor capacidad sin tener que reconfigurar nada en la estación BT.

La figura 3.3 presenta un diagrama de bloques de la configuración que se tendría para el caso de una red BPL que requiere manejar más de 1.024 direcciones MAC para el lado que se interconecta con la estación previa y menos de 1.024 direcciones MAC para el lado que extiende la red BPL a través de la red de MT. Todos los módulos se colocan directamente en la placa base que ofrece interconexiones para que se comparta la fuente de poder. Además, todos los módulos BPL ofrecen las salidas requeridas para inyectar la señal BPL en los equipos acopladores.



**Fig. 3.3** Estación Repetidora FDD MT – Estación Base MT

### 3.1.3 Configuración Estación Repetidora TDD MT – Estación Base BT

Esta configuración también puede utilizarse en todas las SED, con excepción de la última como vimos en el punto anterior, que se encuentran posteriores a la SED que se encuentra en la cabecera de la red BPL, ya que todas estas SED requieren de repetición para poder extender la red BPL. En este caso se utiliza la repetición utilizando distintas divisiones de tiempo (TDD por su siglas en inglés “Time Division Duplex”), sin embargo, la división en el tiempo no es recomendable en MT ya que, como dijimos en el punto anterior, se reduce la capacidad del canal de transmisión al tener que partirlo en divisiones de tiempo para utilizar en ambos sentidos del tráfico, además, se introduce una latencia mayor para todas

las señales de los clientes de cada una de las estaciones base BT que utilizan dicho enlace afectando servicios sensibles tales como el servicio de VoIP.

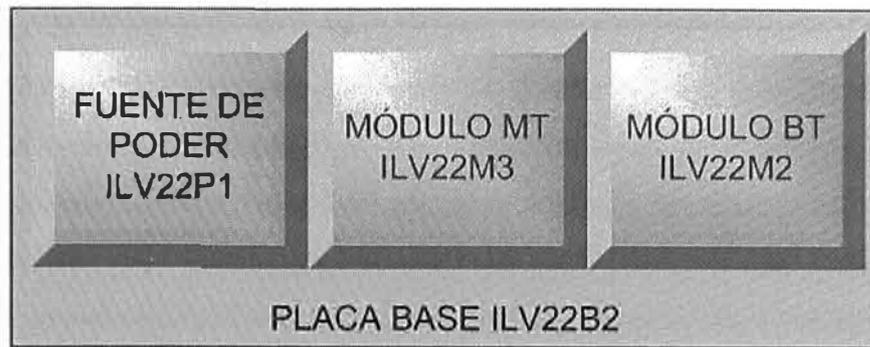
Para esta configuración se tendría una placa base para 3 módulos, cuyo código es el ILV22B2, en la que instalaríamos la fuente de poder y dos módulos BPL, uno para MT y uno para BT, que requieren de consideraciones adicionales.

En este caso, solo se requiere un módulo BPL para la repetición en MT ya que la misma señal BPL que se recibe de la estación previa es la que se inyecta en el otro cable eléctrico para extender la cobertura de la red BPL pero perdiéndose capacidad ya que se utiliza la misma capacidad para atender ambos sentidos del tráfico.

En el caso del módulo MT, se debe tener en consideración a todos los usuarios que se conecten a la red BPL y que tienen que utilizar el enlace, del que el módulo MT es la cabecera, para trasladar su tráfico a la red WAN. En el caso de que la cantidad de usuarios que requieran de distintas direcciones no sea superior a 1.024, entonces se debe optar por el modelo ILV22M2 cuya capacidad es de hasta 1024 direcciones MAC, pero si la cantidad de usuarios supera los 1.024 entonces se debe utilizar el módulo ILV22M3 que tiene la capacidad de manejar hasta 262.144 direcciones MAC. Obviamente que también debe tenerse en cuenta la reducción de la capacidad del enlace de tal manera de que se verifique que la capacidad puede soportar los servicios contratados por los usuarios.

También se puede iniciar con una configuración para 1.024 direcciones MAC y si luego se excede la cantidad de usuarios se puede reemplazar el módulo por el de mayor capacidad sin tener que reconfigurar nada en la estación BT.

La figura 3.4 presenta un diagrama de bloques de la configuración que se tendría para el caso de una red BPL que requiere manejar más de 1.024 direcciones MAC. Todos los módulos se colocan directamente en la placa base que ofrece interconexiones para que se comparta la fuente de poder. Ambos módulos BPL ofrecen las salidas requeridas para inyectar la señal BPL en los equipos acopladores. La figura es similar a cualquier equipo BPL que se implemente en una placa base de tres módulos, inclusive es similar a la figura 3.2, esto se debe a que la configuración de la forma de transmisión de datos así como del canal de transmisión a utilizar se realiza internamente en el equipo.



**Fig. 3.4** Estación Repetidora TDD MT – Estación Base BT

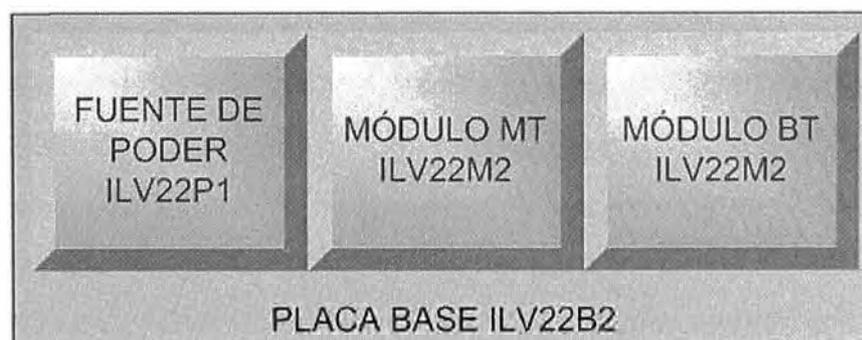
### 3.1.4 Configuración Estación Esclava BT – Estación Base BT

Esta es la configuración que se utiliza para las SED que se encuentran en los extremos de la red BPL. En estas SED ya no se requiere extender la señal BPL a través de la red de MT ya que es la última SED del circuito. Dependiendo de la topología de la red eléctrica puede haber más de una o dos SED con esta configuración en una misma red BPL.

Para esta configuración se tendría una placa base para 3 módulos, cuyo código es el ILV22B2, en la que instalaríamos la fuente de poder y dos módulos BPL, uno para MT y uno para BT, que, en este caso tienen las mismas consideraciones para su elección ya que ambos atienden a la misma cantidad de usuarios.

Por lo tanto, la elección del equipo se basa en la cantidad de usuarios de BT que atiende la SED en la que está instalada la configuración. La cantidad de usuarios en una SED no excede no excede los mil usuarios por lo que se debe optar por el modelo ILV22M2 cuya capacidad es de hasta 1024 direcciones MAC, este módulo será utilizado tanto para el módulo de MT como el de BT.

La figura 3.5 presenta un diagrama de bloques de la configuración que se tendría para el caso típico de una SED con menos de mil usuarios. Todos los módulos se colocan directamente en la placa base que ofrece interconexiones para que se comparta la fuente de poder. Ambos módulos BPL ofrecen las salidas requeridas para inyectar la señal BPL en los equipos acopladores.



**Fig. 3.5** Estación Esclava MT – Estación Base BT

### 3.1.5 Configuración Repetidor en modo FDD

Esta configuración se utiliza cuando se requiere, en la red MT, cuando la distancia entre las SED es demasiado larga (dependiendo de las condiciones de la red MT esta distancia puede estar entre los 700 a 900 metros de distancia, las condiciones que más afectan son la cantidad de bifurcaciones en la red, la antigüedad del cable y la cantidad de empalmes en el cable) o cuando existe una SED dentro de una red BPL que no atiende a ningún cliente en BT. Como hemos visto, en el primer caso se tiende a separar las SED en redes BPL diferentes debido a que los cables están directamente enterrados por lo que la instalación del repetidor es costosa. Sin embargo, en el segundo caso es posible realizar la instalación ya que existe un espacio físico ocupado por la SED en la que puede instalarse el repetidor en dicha SED. Este caso se da cuando existe un cliente que ha solicitado una carga eléctrica elevada que se atiende con una SED exclusiva para dicho cliente.

El concepto de la repetición es similar al explicado para la configuración con repetidor FDD por lo que no volveremos a explicarla.

Para esta configuración se tendría una placa base para 3 módulos, cuyo código es el ILV22B2, en la que instalaríamos la fuente de poder y dos módulos BPL, ambos para MT.

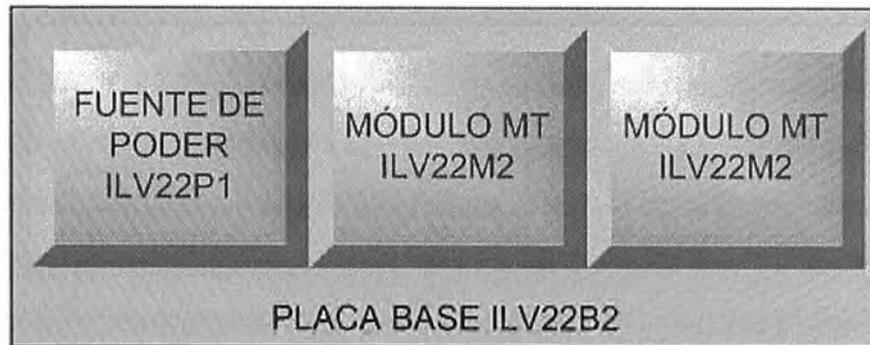
En el caso de los módulos MT, se requieren dos módulos dado que uno de ellos recibirá la señal de la estación previa en un modo de frecuencia mientras que el otro módulo enviará la señal BPL a través de la red de MT en otro modo de frecuencia. El uso de dos equipos nos permite mantener la capacidad transmisión intacta ya que se utilizan dos modos de frecuencia de idéntica capacidad en vez de utilizar uno solo como en la transmisión TDD.

Por otro lado, desde el punto de vista de las consideraciones de selección para cada uno de los módulos, se tiene que las consideraciones son similares para ambos ya que la SED o punto en la que están instalados no atiende a ningún usuario en BT. Por lo tanto, en el caso de que la cantidad de usuarios que requieran de distinta direcciones no sea superior a 1.024, entonces se debe optar por el modelo ILV22M2 cuya capacidad es de hasta 1024 direcciones MAC, pero si la cantidad de usuarios supera los 1.024 entonces se debe utilizar el módulo ILV22M3 que tiene la capacidad de manejar hasta 262.144 direcciones MAC.

También se puede iniciar con una configuración para 1.024 direcciones MAC y si luego se excede la cantidad de usuarios se puede reemplazar el módulo por el de mayor capacidad sin tener que reconfigurar nada en la estación BT.

La figura 3.6 presenta un diagrama de bloques de la configuración que se tendría para el caso de una red BPL que requiere manejar más de 1.024 direcciones MAC. Todos los

módulos se colocan directamente en la placa base que ofrece interconexiones para que se comparta la fuente de poder. Además, todos los módulos BPL ofrecen las salidas requeridas para inyectar la señal BPL en los equipos acopladores.



**Fig. 3.6** Repetidor en modo FDD

### 3.1.6 Configuración Repetidor en modo TDD

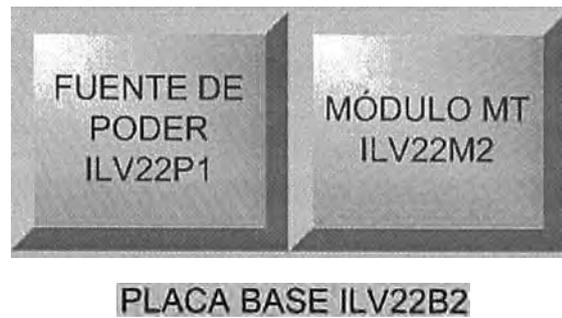
Esta configuración también puede utilizarse en la situación indicada en el punto anterior en la que la distancia entre las dos SED es demasiado larga o existe una SED que no atiende clientes. Sin embargo, también aplican las restricciones indicadas para la configuración como estación repetidora TDD MT sobre las desventajas que incorpora el uso de la división en el tiempo en la capacidad de la red BPL.

Para esta configuración se tendría una placa base para 2 módulos, cuyo código es el ILV22B1, en la que instalaríamos la fuente de poder y un módulo BPL que trabajaría en la línea MT.

En este caso, solo se requiere un módulo BPL para la repetición en MT ya que la misma señal BPL que se recibe de la estación previa es la que se inyecta en el otro cable eléctrico, para extender la cobertura de la red BPL, sin embargo, se pierde capacidad ya que se utiliza la misma capacidad para atender ambos sentidos del tráfico.

En el caso del módulo MT, se debe tener en consideración a todos los usuarios que se conecten a la red BPL y que tienen que utilizar el enlace, del que el módulo MT es la cabecera, para trasladar su tráfico a la red WAN. En el caso de que la cantidad de usuarios que requieran de distinta direcciones no sea superior a 1.024, entonces se debe optar por el modelo ILV22M2 cuya capacidad es de hasta 1024 direcciones MAC, pero si la cantidad de usuarios supera los 1.024 entonces se debe utilizar el módulo ILV22M3 que tiene la capacidad de manejar hasta 262.144 direcciones MAC. Obviamente que también debe tenerse en cuenta la reducción de la capacidad del enlace de tal manera de que se verifique que la capacidad puede soportar los servicios contratados por los usuarios.

También se puede iniciar con una configuración para 1.024 direcciones MAC y si luego se excede la cantidad de usuarios se puede reemplazar el módulo por el de mayor capacidad. La figura 3.7 presenta un diagrama de bloques de la configuración que se tendría para el caso de una red BPL que requiere manejar más de 1.024 direcciones MAC. Todos los módulos se colocan directamente en la placa base que ofrece interconexiones para que se comparta la fuente de poder.



**Fig. 3.7** Repetidor en modo TDD

A continuación, analizaremos las configuraciones que se tienen para el empleo de los acopladores. En principio veremos cada una de las distintas configuraciones que pueden tenerse para que todos los módulos BPL de una configuración inyecten sus señales eficientemente en los cables. Sin embargo, debemos tener presente que las configuraciones se elaboran de acuerdo al tipo de SED, por lo que el desarrollo se realizará de acuerdo a cada uno de los tipos de SED, es decir, para cada uno de los tipos de SED se especificará los tipos de configuraciones que pueden utilizarse. Las configuraciones también dependen de las frecuencias utilizadas para la transmisión de datos, esto sobre todo cuando se utilizan acopladores inductivos que inducen la señal en el cable, debido a esto, en el caso de cercanía de los cables, resulta en una interferencia de las señales de un mismo modo de frecuencia limitando la comunicación.

### **3.1.7 Configuración Interior Capacitivo MT – Capacitivo BT**

En este caso se utiliza un acoplador capacitivo CAMT diseñado para interiores para inyectar la señal en la red de MT y un acoplador capacitivo P-1240-014 de la empresa PREMO para inyectar la señal en la red de BT.

Este tipo de configuración se utiliza conjuntamente, con la configuración estación base MT – estación base BT o con la configuración estación esclava MT – estación base BT, en subestaciones que posean espacio interior techado para la colocación de los acopladores. La cantidad de espacio que requiere el acoplador CAMT reduce los tipos de SED

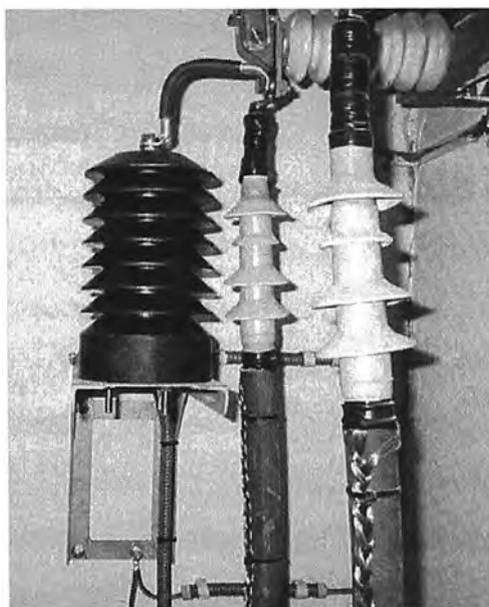
permitidos a solo las SED convencionales dado que estas son las únicas que cuentan con espacio suficiente para la instalación de los acopladores CAMT.

La selección de esta configuración sobre otras también factibles para las SED convencionales dependen básicamente de las condiciones de capacidad de la SED y condiciones de seguridad que ofrezca la SED tanto durante la instalación de los equipos como durante la operación de la red eléctrica y de la red BPL.

Las figuras 3.8 y 3.9 muestran la instalación de un acoplador CAMT en una SED. En la figura 3.8 se muestra el uso de una base prefabricada que se utiliza como base del acoplador, también se observa la conexión al cable MT utilizando pernos para mayor seguridad. En la figura 3.9 se utiliza una base empotrada a una pared como base para la instalación del acoplador.



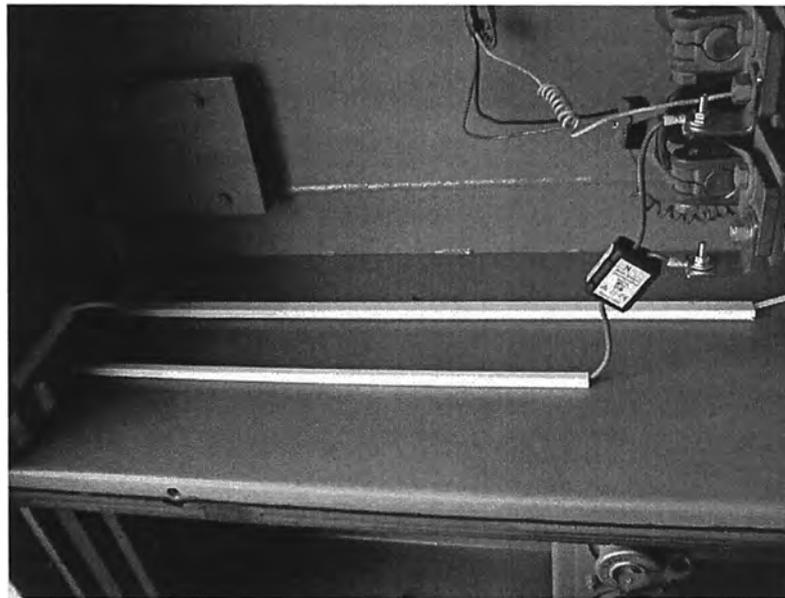
**Fig. 3.8** Instalación Acoplador CAMT utilizando Base



**Fig. 3.9** Instalación Acoplador CAMT adosado a la pared

En el caso del acoplador capacitivo P-1240-014, su instalación es mucho más simple, no solo por estar instalado en la red de BT sino también por el tamaño del acoplador. El acoplador básicamente se instala en dos de las fases de las barras de BT, por lo general se realizan orificios en los conductores metálicos a los cuales se ajusta el acoplador utilizando pernos y tuercas.

La figura 3.10 muestra la instalación de un acoplador capacitivo en las llaves de baja tensión de una SED compacta. Se pueden observar los pernos que se han instalado en unas terminaciones de cobre para asegurar el acoplador a las barras de BT. Además se observa las adecuaciones realizadas en la SED para llevar las señales de los equipos BPL hacia la parte de MT y BT de la SED.



**Fig. 3.10** Instalación Acoplador Capacitivo en Llaves de BT

### **3.1.8 Configuración Interior Acoplador Inductivo MT – Capacitivo BT**

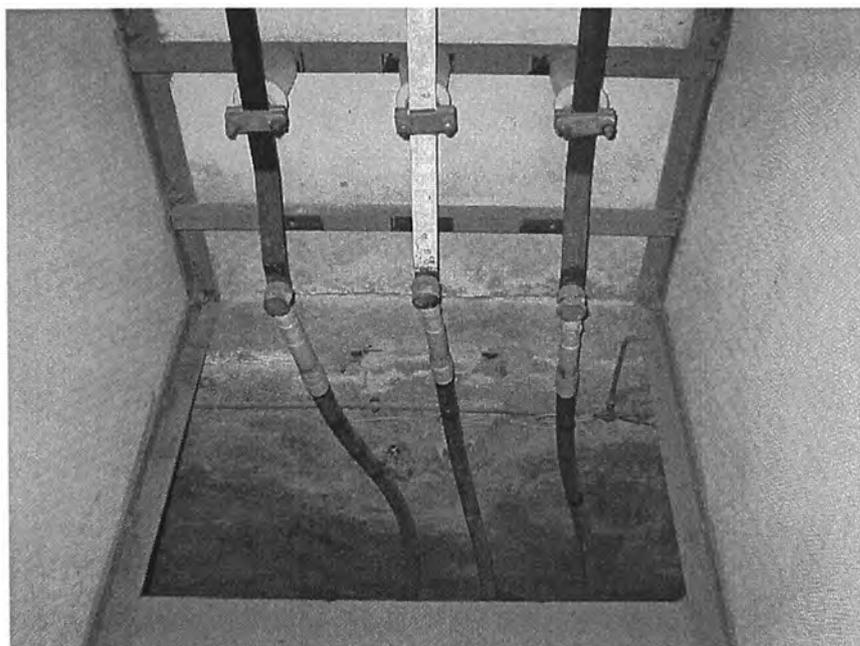
En este caso se utiliza un acoplador inductivo UNIC para inyectar la señal en la red de MT y un acoplador capacitivo P-1240-014 de la empresa PREMO para inyectar la señal en la red de BT.

Este tipo de configuración se utiliza, conjuntamente con la configuración estación base MT – estación base BT o con la configuración estación esclava MT – estación base BT, en subestaciones que posean espacio interior techado para la colocación de los acopladores. La cantidad de espacio que requiere el acoplador UNIC es mínima dado que el acoplador se coloca alrededor del cable de MT por lo que este tipo de acopladores puede utilizarse tanto en SED convencionales como en SED compactas.

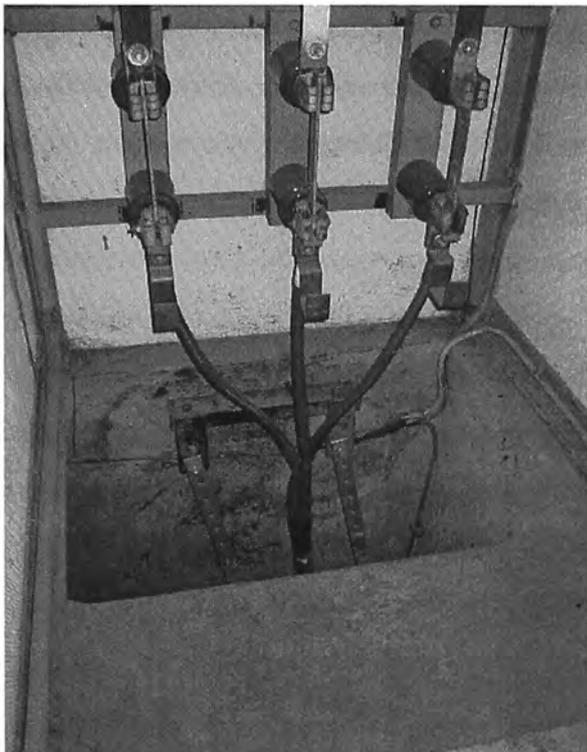
Las primeras restricciones que se tienen para utilizar este acoplador es que el cable no debe transportar una corriente superior a los 360 amperios y el diámetro del cable más el cable de tierra no debe exceder los 44 milímetros que tiene el diámetro interior del acoplador, es decir, el acoplador debe poder abrazar tanto al cable eléctrico como al cable de tierra. Estas restricciones aplican sobre todo para las SED convencionales ya que estas están diseñadas para soportar una mayor carga que las SED compactas.

Además, en el caso de las SED convencionales, se debe tener presente las condiciones de seguridad para la instalación del acoplador. Debe identificarse dentro de la SED los lugares adecuados para la instalación de tal manera de que el contacto del personal con los equipos eléctricos ofrezca riesgos mínimos de interferencia y evite accidentes.

Las figuras 3.11 y 3.12 muestran celdas de una SED convencional en las que los cables de MT no tienen cerca otros elementos eléctricos que impidan la instalación del acoplador. Sin embargo, la factibilidad de instalación del acoplador se tiene solo en el caso de la figura 3.11 en la que los cables MT están separados durante todo el recorrido hacia abajo con dirección a la salida MT de la SED. En el caso de la figura 3.12, la cercanía de los cables así como la existencia de elementos conductores sin aislamiento hacen peligrosa la instalación no solo desde el punto de la seguridad del personal sino también de la correcta instalación del acoplador ya que este requiere de condiciones específicas de distancia con respecto al primer punto sin aislamiento y también sobre las corrientes que pueden hacer contacto con el acoplador.

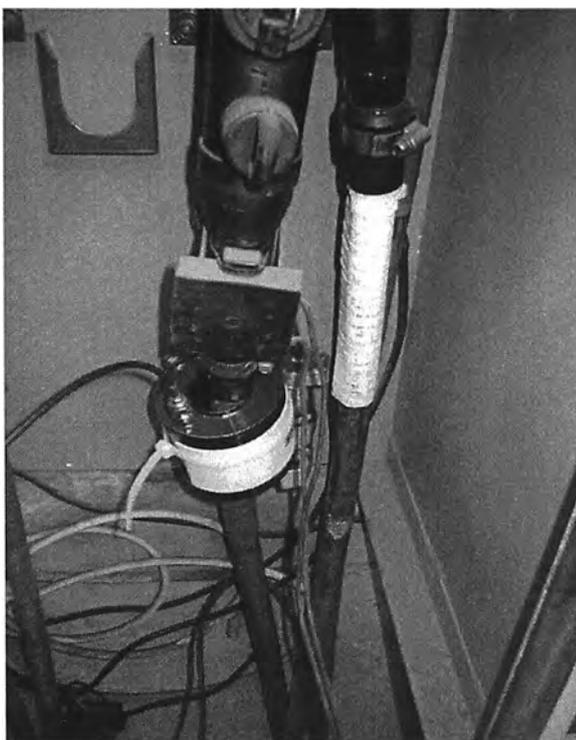


**Fig. 3.11** Cables MT en una SED convencional para Acoplador Inductivo



**Fig. 3.12** Cables MT en una SED Convencional sin espacio para Acoplador Inductivo

La figura 3.13 muestra la instalación del acoplador inductivo en una SED compacta. Se puede observar como el acoplador abraza al cable de MT a una distancia mayor a 10 cm de las terminaciones, aunque en este caso, el cable cuenta con protecciones adicionales para la terminación. Además, podemos observar el cable coaxial que inyecta la señal BPL.



**Fig. 3.13** Instalación de Acoplador Capacitivo UNIC

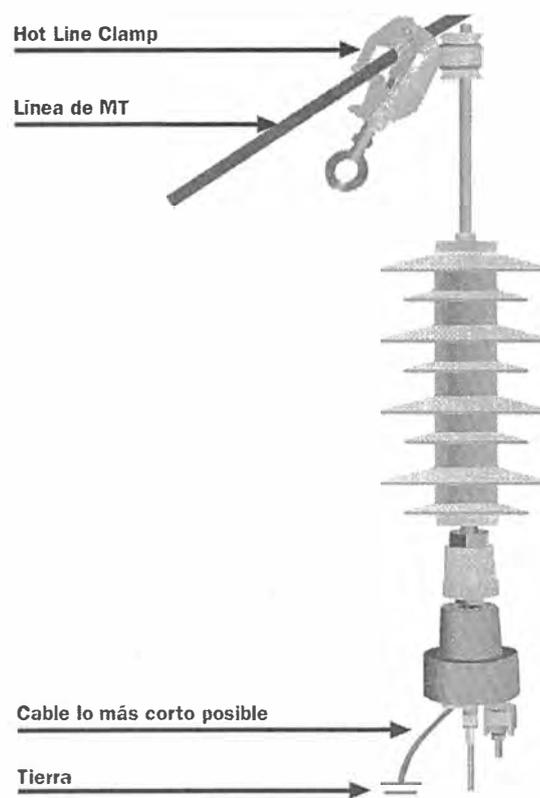
En el caso del acoplador capacitivo P-1240-014 para la parte de BT, su instalación es de manera similar a la indicada en el punto anterior, es decir, la que se muestra en la figura 3.10.

### 3.1.9 Configuración Exterior Capacitivo MT – Capacitivo BT

En este caso se utiliza un acoplador capacitivo OVERCAP, diseñado para trabajar en exteriores, para inyectar la señal en la red de MT y un acoplador capacitivo P-1240-014 de la empresa PREMO para inyectar la señal en la red de BT.

Este tipo de configuración se utiliza, conjuntamente con la configuración estación base MT – estación base BT o con la configuración estación esclava MT – estación BT, en subestaciones que se encuentren a la intemperie, es decir, específicamente en las SED aéreas.

La figura 3.14 muestra la forma de instalación de un acoplador capacitivo OVERCAP directamente sobre el cable aéreo de MT. Como se observa la grapa se conecta directamente al cable y es la que sostiene al acoplador que se encuentra en el aire. Además, en la parte inferior se aprecia la conexión a tierra así como lo conexión del cable con la señal BPL.



**Fig. 3.14** Forma de Instalación de un Acoplador OVERCAP

En el caso del acoplador capacitivo P-1240-014 para la parte de BT, su instalación es de manera similar a la indicada en el punto anterior, es decir, la que se muestra en la figura 3.10.

### **3.1.10 Configuración Interior Doble Acoplador Capacitivo MT – Acoplador Capacitivo BT**

En este caso se utilizan dos acopladores capacitivos CAMT, diseñado para trabajar en interiores, para inyectar la señal en la red de MT y un acoplador capacitivo P-1240-014 de la empresa PREMO para inyectar la señal en la red de BT.

Esta configuración se utiliza en SED convencionales cuando se tienen configuraciones de equipos BPL con funciones de repetición en MT y con estación base en BT. Esto debido a que, las facilidades y/o restricciones eléctricas y de espacio que se tienen en una SED convencional, solo permiten el uso de acoplamiento capacitivo tanto en la parte de llegada de la red MT a la SED como en la parte de salida de la red MT desde la SED.

En el caso de los acopladores capacitivos MT, su instalación puede observarse en las figuras 3.8 y 3.9. En el caso del acoplador de BT, su instalación puede observarse en la figura 3.10.

### **3.1.11 Configuración Interior Acoplador Capacitivo MT – Acoplador Inductivo MT – Acoplador Capacitivo BT**

En este caso se utilizan un acoplador capacitivo CAMT y un acoplador inductivo UNIC, ambos diseñados para trabajar en interiores, para inyectar la señal en la red de MT y un acoplador capacitivo P-1240-014 de la empresa PREMO para inyectar la señal en la red de BT.

Esta configuración se utiliza en SED convencionales cuando se tienen configuraciones de equipos BPL con funciones de repetición en MT y con estación base en BT. Esto debido a que, las facilidades y/o restricciones eléctricas y de espacio que se tienen en una SED convencional, permiten el uso de acoplamiento capacitivo en una parte (llegada o salida) de la red MT de la SED y el uso de acoplamiento inductivo en la otra parte (llegada o salida) de la red MT de la SED.

En el caso del acoplador capacitivo MT, su instalación puede observarse en las figuras 3.8 y 3.9. En el caso del acoplador inductivo MT, su instalación puede observarse en la figura 3.13. En el caso del acoplador de BT, su instalación puede observarse en la figura 3.10.

### **3.1.12 Configuración Interior Doble Acoplador Inductivo MT – Acoplador Capacitivo BT**

En este caso se utilizan dos acopladores capacitivos UNIC, diseñado para trabajar en interiores, para inyectar la señal en la red de MT y un acoplador capacitivo P-1240-014 de la empresa PREMO para inyectar la señal en la red de BT.

Esta configuración se puede utilizar en SED convencionales y en SED compactas cuando se tienen configuraciones de equipos BPL con funciones de repetición en MT y con estación base en BT. En el caso de las SED convencionales se debe verificar que las facilidades y/o restricciones eléctricas y de espacio que se tienen en una SED convencional, permitan el uso de acoplamiento inductivo tanto en la parte de llegada de la red MT a la SED como en la parte de salida de la red MT desde la SED.

En el caso de los acopladores inductivos MT, su instalación puede observarse en la figura 3.13. En el caso del acoplador de BT, su instalación puede observarse en la figura 3.10.

### **3.1.13 Configuración Exterior Doble Acoplador Capacitivo MT – Acoplador Capacitivo BT**

En este caso se utilizan dos acopladores capacitivos OVERCAP, diseñados para trabajar en exteriores, para inyectar la señal en la red de MT y un acoplador capacitivo P-1240-014 de la empresa PREMO para inyectar la señal en la red de BT.

Esta configuración se utiliza en las SED aéreas cuando se tienen configuraciones de equipos BPL con funciones de repetición en MT y con estación base en BT. En este caso se instalan los acopladores colgados en ambas partes de la línea.

En el caso de los acopladores capacitivos MT, su instalación puede observarse en la figura 3.14. En el caso del acoplador de BT, su instalación puede observarse en la figura 3.10.

## **3.2 Red BPL para última milla en baja tensión**

En el caso de la red BPL para baja tensión el objetivo es que todos los clientes que se alimentan de una SED determinada tengan acceso a la red BPL a través de la estación base BT instalada en la SED con la menor cantidad posible de equipos BPL y con una señal que tenga el ancho de banda adecuado para que los clientes puedan acceder a diferentes servicios sin tener problemas con la calidad de la señal. En el caso de la red BT, no hay problemas con la instalación de equipos repetición ya que pueden ser instalados dentro de las cajas de los medidores de los clientes o, en su defecto, en una caja adicional colocada específicamente para albergar a los equipos BPL. Dado que el costo de instalación de estas cajas no es elevado, el uso de repetidores es factible.

Por lo tanto, todas configuraciones de equipos que veremos serán factibles de utilizar en la implementación de la red BPL en la red BT.

Aunque cada red BT de cada SED es un caso único en el cual debe realizarse el análisis de la topología así como las mediciones necesarias para verificar las condiciones de la red, pueden establecerse configuraciones a utilizar en cada punto de la red de la red eléctrica en donde la señal BPL reduzca los niveles deseados de comunicación.

Por otro lado, dado que en el subcapítulo anterior hemos incluido al equipo que se utiliza en la estación base BT debido a que es parte modular del conjunto de equipos BPL que se instalan en cada SED, no volveremos a desarrollar este tema. Más aún cuando solo existe una configuración para equipo en la cabecera de la SED, ya que para alcanzar la cobertura requerida solo se requiere del uso de repetidores.

Básicamente, para los esquemas de configuración de los equipos BPL para baja tensión, se deben tener en cuenta principalmente los siguientes criterios:

- Cantidad de llaves en la SED
- Cantidad de edificios en la SED
- Distancia de la red entre edificios contiguos

La cantidad de llaves en la SED es importante ya que la señal BPL se inyecta en las barras de BT y de ahí debe realizar el recorrido por cada una de las llaves por lo que a medida que se incrementa la cantidad de llaves se reduce la cobertura de la señal y se requerirán de repetidores para ampliar dicha cobertura.

La cantidad de edificios en la SED es importante ya que, por lo general, los edificios cuentan con un banco de medidores desde el cual se abastece a cada uno de los inquilinos del edificio, esto hace que las longitudes de los cables de acceso desde el medidor hacia las instalaciones internas del cliente sea inusualmente larga generando la necesidad de colocar un repetidor en el banco de medidores para atender a todo el edificio.

La distancia de la red entre edificios contiguos, así como la distancia entre la SED y el primer cliente de una llave si este es un edificio es importante, ya que, por lo general esta distancia es larga y requerirá de repetidores adicionales.

Todos estos criterios deben tenerse en cuenta cuando se prepara el plan para la revisión de las condiciones de la red eléctrica en las que se verificará o descartará el uso de los repetidores dependiendo de las condiciones reales de la red y de los resultados de las mediciones utilizando equipos BPL.

Como se indica en los párrafos anteriores, las configuraciones en el caso de la red BT son mucho más simples ya que básicamente se tiene el uso de repetidores en distintos puntos de la red.

Por otro lado, el uso de acopladores también es simple dado que todos los puntos de acceso son visibles y, al ser los acopladores capacitivos e inductivos de tamaño reducido, el uso de ambos es factible en cualquiera de las situaciones. Sin embargo, existen configuraciones diferenciadas para el uso en caso de repetidores y para el uso en caso de acceso a los clientes.

A continuación veremos las configuraciones existentes en BT:

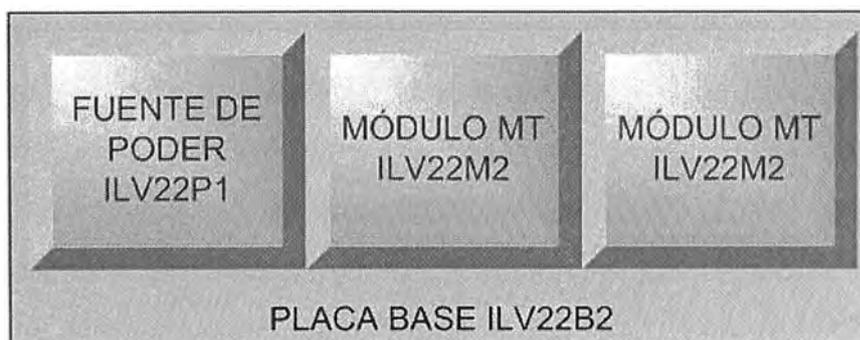
### 3.2.1 Configuración Repetidor BT FDD

Esta configuración se utiliza cuando se requiere ampliar la cobertura de la señal BPL sin perder capacidad en el canal de comunicación establecido. En este caso, la repetición se realiza utilizando distintos rangos de frecuencias (FDD por sus siglas en inglés “Frequency Division Duplex”). Como indicamos anteriormente, con este tipo de repetición no hay problemas con servicios que sean afectados por la introducción de latencia, tales como el servicio de VoIP.

La solución de Ileva cuenta con un modelo de repetidor FDD para exteriores, que es el modelo ILV2120 descrito en el punto 2.4.8. Sin embargo, para el caso de interiores no cuenta con un modelo de repetidor específico para la repetición FDD sino que se utilizan los mismos equipos modulares utilizados para las configuraciones en la red MT. En este caso, se tendría una placa base para 3 módulos, cuyo código es el ILV22B2, en la que instalaríamos la fuente de poder y dos módulos BPL que realizarían la repetición.

Dado que estamos implementando la red en una SED de BT en donde la cantidad de clientes no excede de mil y, más aún, estamos realizando repetición para una parte de los clientes de la SED; los módulos BPL que se utilizan son los módulos ILV22M2 cuya capacidad es de hasta 1024 direcciones MAC.

La figura 3.15 presenta un diagrama de bloques de la configuración que tendría el repetidor. Todos los módulos se colocan directamente en la placa base que ofrece interconexiones para que se comparta la fuente de poder. Además, todos los módulos BPL ofrecen las salidas requeridas para inyectar la señal BPL en los equipos acopladores.



**Fig. 3.15** Diagrama de Bloques de un Repetidor FDD BT

La figura 3.16 muestra la instalación de un repetidor FDD BT en una caja para medidor. En este caso, se está utilizando el repetidor para ampliar la cobertura de la señal para todo un edificio de apartamentos. Se pueden observar los tres módulos del repetidor así como las conexiones requeridas para la parte eléctrica y la parte de la señal BPL. Además, se observa el uso de un componente que permite dividir la señal entre varios conectores de tal manera que se facilita la inyección de la señal en los cables eléctricos de cada uno de los inquilinos del edificio. Dado que las instalaciones se realizan principalmente en las zonas con alta densidad de población, el tipo de instalaciones a utilizar será principalmente el mostrado en la figura 3.16.



**Fig. 3.16** Repetidor BT FDD en caja de medidor

En este caso se utiliza un acoplador capacitivo P-1240-014 o un acoplador capacitivo CC1 para uno de los módulos BPL y un acoplador inductivo IC2 o IC3 (dependiendo del amperaje en el cable) para el otro módulo BPL.

### **3.2.2 Configuración Repetidor BT TDD**

Esta configuración se utiliza cuando se requiere ampliar la cobertura de la señal BPL en zonas donde las condiciones del sistema eléctrico limitan el ancho de banda o la cantidad de clientes a atender es pequeña. En este caso, la repetición se realiza utilizando distintos rangos de tiempo (TDD por sus siglas en inglés “Time Division Duplex”). Como indicamos anteriormente, con este tipo de repetición puede haber problemas con servicios que sean afectados por la introducción de latencia, tales como el servicio de VoIP. Debido a esto se debe limitar su utilización a los casos mencionados líneas arriba.

La solución de Ileva cuenta con un modelo de repetidor específico para la repetición FDD tanto para exteriores como para interiores. En el caso de exteriores, se tiene el modelo ILV2110 descrito en el punto 2.4.7. En el caso de interiores, se tiene el modelo ILV2100 descrito en el punto 2.4.9.

Dado que, en nuestro caso, las instalaciones se realizan principalmente en zonas de alta densidad de población, el tipo de equipo que se utiliza es el ILV2100 ya que se puede instalar fácilmente en una caja de medidor.

La figura 3.17 muestra la instalación de un repetidor TDD para interiores en una caja de medidor. Se puede observar que el equipo se puede instalar inclusive cohabitando la caja con el medidor del cliente sin ocasionar problemas. El repetidor solo requiere de una conexión a la red para recibir y enviar las señales BPL que recibe en ambos sentidos de transmisión. En este caso se utiliza un acoplador capacitivo P-1240-014 para la inyección de la señal BPL al cable eléctrico.



**Fig. 3.17** Repetidor BT TDD en caja de medidor

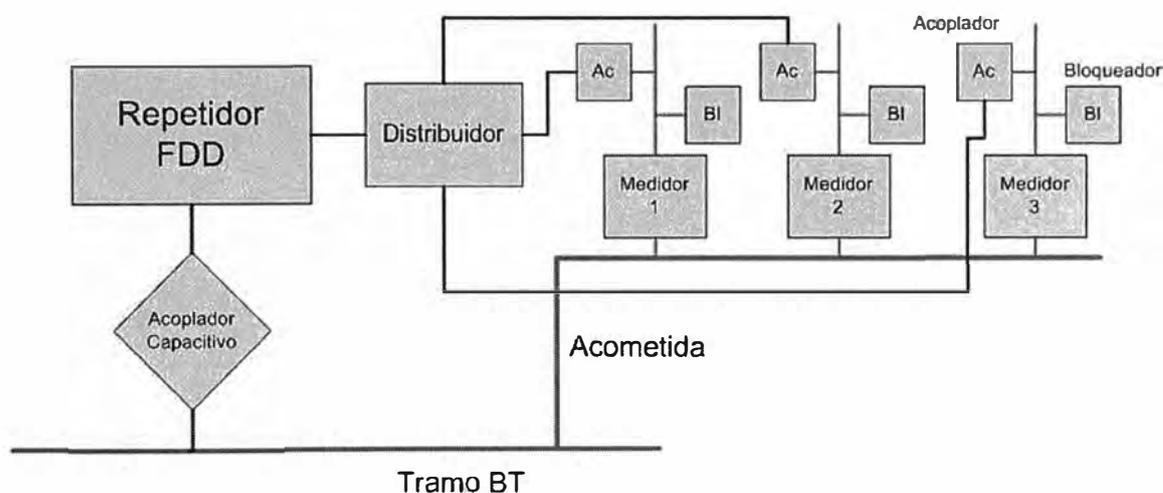
### **3.2.3 Configuración Inyección Señal BPL en Clientes**

Esta configuración se utiliza para los casos en que las instalaciones de los clientes se encuentran alejadas de los medidores de energía eléctrica lo que resulta en una atenuación importante de la señal BPL. Estos casos se observan en los edificios con apartamentos y que cuentan con un banco de medidores en el primer piso. Debido a esto cada uno de los apartamentos cuenta con un circuito independiente que va desde el medidor de energía eléctrica hasta cada uno de los apartamentos de cada uno de los pisos. A mayor cantidad de

pisos, mayor la distancia del circuito por lo que la atenuación de la señal BPL también es mayor.

Para solucionar este problema se utiliza un repetidor FDD antes del banco de medidores y, mediante un distribuidor de circuitos, se lleva un cable con la señal BPL a cada uno de los circuitos independientes haciendo que la señal se inyecte en cada uno de ellos en un punto posterior al medidor de energía eléctrica, de tal manera de que se evite la atenuación adicional que el medidor introduce en la señal BPL. Para evitar el problema del retorno de la señal BPL, que puede interferir con las señales BPL de los demás clientes así como del canal de transmisión, se utilizan filtros bloqueadores de la señal BPL que evitan que esta reingrese al sistema a través del medidor de energía eléctrica.

La figura 3.18 muestra un diagrama de bloques con la posición de cada uno de los equipos en la red eléctrica. Aquí se puede observar como el distribuidor permite llevar la señal a cada uno de los circuitos independientes de cada uno de los clientes y como el bloqueador aísla la señal BPL dentro de cada circuito impidiendo que esta retorne a la red eléctrica a través del medidor de energía eléctrica. Por otro lado, al tenerse un repetidor FDD, este recibe la señal mediante el acoplador capacitivo en un determinado rango de frecuencias y la entrega al distribuidor en otro rango de frecuencias.



**Fig. 3.18** Diagrama de Bloques de Inyección de Señal BPL en Banco de Medidores

La figura 3.19 muestra el detalle de la instalación del acoplador capacitivo así como del filtro bloqueador de la señal BPL. Se puede observar que, dado el pequeño tamaño de los componentes la instalación es muy simple. En este caso se está utilizando el acoplador inductivo LICU que se encuentran encima y a la derecha del filtro bloqueador.



**Fig. 3.19** Inyección de Señal BPL en Banco de Medidores BT

### **3.2.4 Configuración Módem Cliente**

En el caso de la instalación interna de los módem, esta es muy simple ya que lo único que hay que ejecutar es la conexión del cable de alimentación del módem a cualquier tomacorriente dentro de las instalaciones internas del cliente.

Sin embargo, la factibilidad de que la señal BPL se encuentre presente en todos los tomacorrientes con niveles de calidad adecuados, dependerá de las condiciones de la red eléctrica por lo que siempre es importante realizar mediciones internas de la calidad de la señal para indicar al cliente en qué zonas de su vivienda puede utilizar el equipo sin ningún tipo de problema.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESPLIEGUE DE LA RED BPL**

En este capítulo describiremos el proceso de despliegue de la red BPL sobre la red eléctrica tanto en MT como en BT. Además, veremos la implementación de pruebas piloto que son necesarias para conocer el comportamiento de la solución en una red eléctrica determinada ya que cada red eléctrica es única e inclusive cada parte de la red eléctrica que se implemente es única por lo que se requerirá de mediciones para saber qué configuración utilizar en cada caso particular.

#### **4.1 Implementación de Pilotos de Prueba**

Los pilotos de prueba son requeridos para verificar que la solución a implementar funciona de acuerdo a lo esperado y es factible brindar servicios que utilicen la red BPL. Para implementar un piloto de pruebas se deben realizar varios pasos. A continuación, desarrollaremos los pasos requeridos para un piloto de pruebas.

##### **4.1.1 Selección de la Zona del Piloto**

La selección del lugar para el piloto de prueba debe realizarse en base a las facilidades técnicas que se tengan en la zona por parte del proveedor de servicios de telecomunicaciones que nos proveerá del enlace WAN, el mercado objetivo al cual ofreceremos nuestros productos y la cantidad de clientes que pueden cubrirse con las instalaciones que se realizarán.

Además, debe verificarse la facilidad para la instalación de los equipos BPL en la zona por lo que debe realizarse una inspección previa de las posibles zonas en las que se pueda realizar el piloto para descartar aquellas que requieran de trabajos especiales para la implementación de la red BPL.

Por lo general la cantidad de SED que se implementan en esta etapa es entre tres y cuatro SED entre las que se tengan entre trescientos y quinientos clientes de tal manera de que se

obtenga entre treinta y cincuenta usuarios para que utilicen gratuitamente los servicios ofrecidos con la condición de que los utilicen al menos una determinada cantidad de días a la semana y que contesten las encuestas que se les envía sobre la calidad de los servicios.

En el caso del piloto realizado en Lima, se seleccionó un área de San Isidro con varios edificios de apartamentos que sumaban alrededor de 400 clientes y que eran atendidos por tres SED compactas que no se encontraban muy distantes una de otra y, además, el proveedor de los servicios de telecomunicaciones tenía facilidades para interconectar una de las SED a su red WAN mediante fibra óptica.

#### **4.1.2 Selección de los Clientes**

Una vez determinada la zona para el piloto, debe verificarse que los clientes de dicha zona están dispuestos a participar del piloto. Ya que sería riesgoso primero implementar la red BPL y luego buscar a los clientes que deseen participar en el piloto.

Es importante indicarles a los clientes los servicios que se brindarán durante el piloto de prueba ya que si no se les indica los servicios a los que tendrán acceso, los clientes no tendrán interés en participar en el piloto de prueba. Por otro lado, si se ofrece una serie de servicios y luego no se cumple con los servicios ofrecidos, esto generará insatisfacción en los clientes lo que podría traducirse en una mala calificación del servicio aún cuando lo que se ofrezca tenga la calidad esperada.

Para contactar a los clientes se pueden utilizar distintos medios tales como llamadas telefónicas, visitas personales, difusión mediante volantes para que se inscriban, etc. La selección del medio de contacto depende de las facilidades que se tenga así como el patrón de comportamiento de los clientes, por ejemplo, algunos siempre salen y regresan a sus hogares a determinadas horas.

En el caso del piloto desarrollado se optó por el envío de volantes en los que se le indicaba que llamaran a un número si estaban interesados en el piloto de prueba durante el cual se les brindaría el servicio de acceso a Internet gratuitamente con velocidades iguales o superiores a las que tuvieran instaladas en sus hogares. Con esta estrategia de contacto se obtuvo aproximadamente a cuarenta clientes que deseaban participar del piloto.

#### **4.1.3 Diseño de la Red BPL**

Este paso puede irse realizando de manera paralela con la selección de los clientes, dado que básicamente son las mediciones que deben realizarse en la red eléctrica para determinar el comportamiento de los equipos BPL.

Las mediciones que se realicen servirán para determinar las configuraciones de la red BPL tanto en MT como en BT. En el caso de MT la configuración es simple ya que son pocas SED, sin embargo siempre debe establecerse los modos de frecuencia que se utilizarán para un adecuado funcionamiento de la red. En el caso de BT se deben realizar las mediciones para determinar la cantidad de repetidores que deben utilizarse.

En el caso del piloto, para la parte de la red de MT, como se seleccionaron tres SED compactas, la instalación de los equipos BPL utilizando acopladores inductivos fue factible, este hecho facilitó las mediciones. En las mediciones de capacidad de los canales entre las SED, se verificó que se lograban velocidades de hasta 80 Mbps.

Además, se interconectó a la red WAN la SED que estaba en el medio de las otras dos, de tal manera que solo se requirió de dos configuraciones para los equipos en la SED, en la SED central se utilizó la configuración Estación Base MT – Estación Base BT y las SED de los extremos se utilizó la configuración Estación Esclava MT – Estación Base BT. Dado que la SED intermedia era la que inyectaba la señal de la WAN se utilizó un solo modo de frecuencia para enviar la señal a las dos SED adicionales.

En el caso de la red de BT, se realizaron mediciones en cada una de las redes y se dimensionó la cantidad de repetidores que se requerirían para cubrir a todos los clientes de las tres redes de BT. Dado que se tenía básicamente edificios con apartamentos, se determinó utilizar las configuraciones con repetidor FDD para brindarles el servicio.

#### **4.1.4 Implementación de la Red BPL**

En esta etapa se instalan los equipos BPL en cada uno de los puntos que se han determinado mediante las mediciones realizadas en la etapa de diseño. Además, con la información de la ubicación de los clientes se realizan los ajustes necesarios para no utilizar equipos adicionales en zonas en donde no se atenderá a ningún cliente.

Para realizar la instalación se deben realizar adecuaciones adicionales en las instalaciones eléctricas para la protección de los equipos BPL.

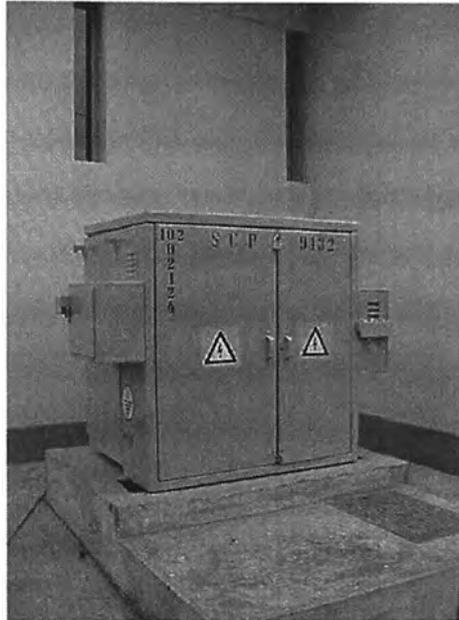
En el caso de MT, una forma de proteger a los equipos es con el uso de cajas metálicas en donde se ubica el modulo BPL con todos los componentes que requiera.

En el caso de BT, la instalación es más simple ya que se puede ubicar a los equipos dentro de las cajas que utilizan los medidores de energía eléctrica. En los casos de bancos de medidores se implementa una caja adicional para la instalación de los equipos.

Para la implementación de la red en el piloto de pruebas, en el caso de MT, dado que las subestaciones eran compactas, se adosaron cajas metálicas a una de las paredes laterales de

las SED, con un orificio interior que comunicaba ambos ambientes de tal manera que las conexiones requeridas para la inyección de la señal BPL en la red eléctrica y para la alimentación eléctrica de los equipos BPL utilizaban el orificio para su instalación.

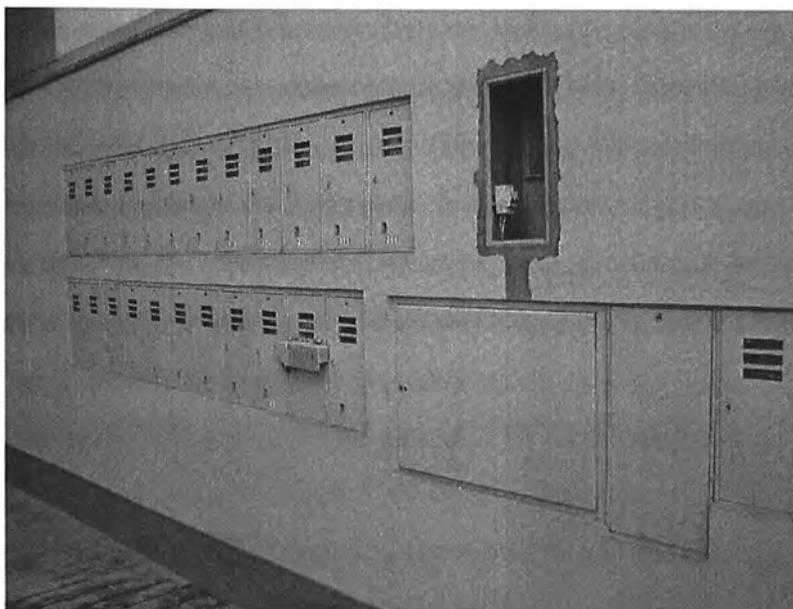
La figura 4.1 muestra una SED con la caja para los equipos BPL ya instalada en una de sus paredes laterales. Se puede observar que la caja encaja adecuadamente en la pared lateral izquierda y cuenta con mecanismos de seguridad para evitar el acceso a los equipos BPL una vez estos se encuentren instalados.



**Fig. 4.1** SED con caja metálica para equipos BPL

En el caso de la red BT, se instalaron cajas para medidores de energía eléctrica adicionales en los edificios de apartamento. Las cajas se ubicaron al costado del banco de medidores de tal manera que se facilite la instalación de las conexiones a cada uno de los circuitos independientes de los clientes.

La figura 4.2 muestra la ubicación de una caja instalada específicamente para la instalación de un repetidor FDD. Se observa que la caja se encuentra próxima al banco de medidores de tal manera de que se puede llevar los cables de inyección de la señal BPL desde dicha caja hasta las cajas de cada uno de los clientes. Obviamente que se prioriza la instalación en las cajas de los clientes que participan como usuarios durante el piloto de prueba.



**Fig. 4.2** Ubicación de caja metálica para instalación de repetidor

Para el caso de las instalaciones internas de los clientes, una vez implementada la red BPL, se realizan mediciones internas en cada uno de los usuarios del piloto de prueba y se les indica en qué zonas de la vivienda pueden utilizar el servicio sin ningún problema.

Generalmente se les entrega el módem BPL instalado y conectado en sus equipos de cómputo y con el servicio configurado para el acceso a Internet ofrecido.

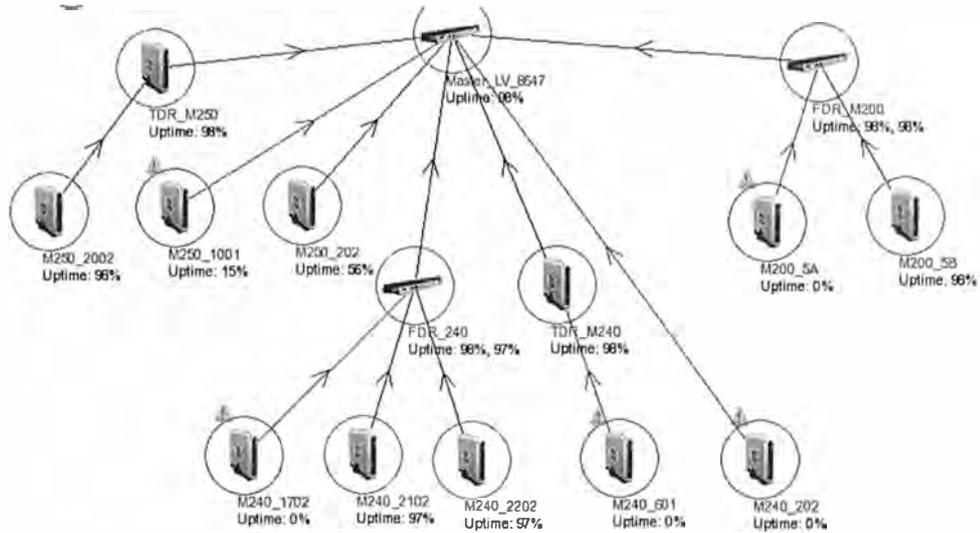
#### **4.1.5 Monitoreo del Servicio con la Red BPL**

Cuando se tiene implementada la red BPL con todos los servicios de los usuarios instalados se debe mantener un monitoreo continuo de la red para verificar que todos los equipos se encuentran funcionando de manera adecuada y con velocidades dentro de los parámetros de calidad especificados.

Dado que los equipos BPL han sido diseñados con soporte para el protocolo de gestión de redes simple (SNMP) es factible implementar una red de monitoreo con cualquier software de gestión que soporte dicho protocolo, uno de ellos, de fuentes libres, es el Nagios®. Con este tipo de software se puede tener monitoreada toda la red BPL, pudiendo verificar las velocidades de acceso en el tiempo así como la disponibilidad de los enlaces. Además, se tienen las alertas necesarias para saber que enlaces o dispositivos salen fuera de servicio en un momento determinado.

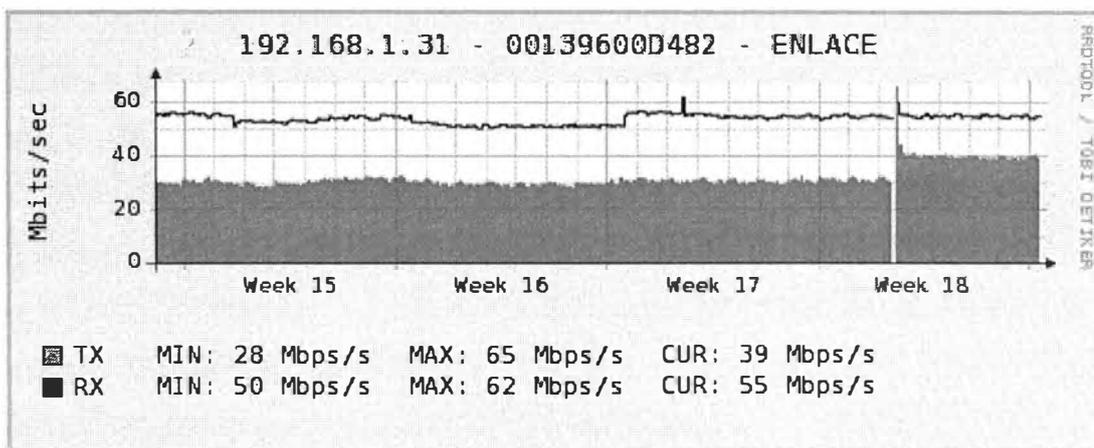
La figura 4.3 muestra un gráfico de la disposición de una red BPL en BT para una SED específica. Se puede observar la disposición de los equipos así como el uso de los distintos tipos de repetidores de acuerdo a las necesidades de cada caso. Además, el color de los enlaces entre equipos indican si el enlace está disponible o no, en este caso los enlaces

verdes están disponibles mientras que los enlaces rojos no lo están. Esto último ocurre en este caso sólo en los equipos de los usuarios del servicio y se debe a que dichos equipos se encuentran apagados.



**Fig. 4.3** Gráfico de Topología de Equipos en una SED

La figura 4.4 muestra un gráfico con el monitoreo de un enlace de MT. Se puede observar la estabilidad del enlace a través del tiempo así como las velocidades de acceso tanto para la transmisión como para la recepción. Las velocidades alcanzadas también se muestran en la gráfica, estando las velocidades en el orden de los 40 Mbps para la transmisión y 55 Mbps para la recepción.



**Fig. 4.4** Gráfico de monitoreo de un enlace de MT

La figura 4.5 muestra un gráfico con el monitoreo de un enlace de BT. Aquí también se puede observar la estabilidad del enlace a través del tiempo así como las velocidades de acceso tanto para la transmisión como para la recepción. Las velocidades alcanzadas también se muestran en la gráfica, estando las velocidades en el orden de los 42 Mbps

tanto para la transmisión como para la recepción. En el caso de las caídas totales del enlace, estas se deben al apagado del equipo ubicado en las instalaciones del cliente.

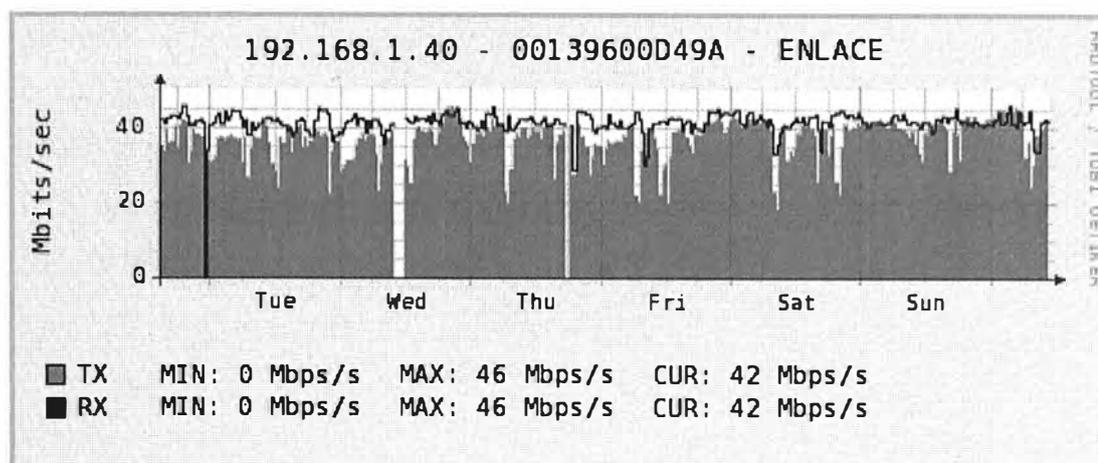


Fig. 4.5 Gráfico de monitoreo de un enlace de BT

#### 4.1.6 Evaluación de resultados del Piloto

Con los resultados obtenidos durante el piloto de prueba, se deben realizar los ajustes en las premisas para el despliegue de la red BPL tanto en BT como en MT. Aunque, como hemos dicho anteriormente, cada parte de la red eléctrica es única y presenta sus características particulares, los resultados del nos ayudan a verificar el impacto de cada de las características de la red presentes en la red utilizada para el piloto y utilizar los resultados para el análisis de este tipo de redes cuando se presenten.

Entre las características que se verifican entre otros están la distancia entre SED, la existencia de empalmes en los cables de MT, la existencia de derivaciones tanto en MT como en BT, la cantidad de llaves de BT en las SED, la longitud de cada uno de los tramos de las redes de BT.

Además, con las respuestas de los clientes a las distintas encuestas sobre la calidad y la velocidad del servicio ofrecido se deben realizar los ajustes a las ofertas comerciales que se definirán cuando se empiece a brindar el servicio formalmente.

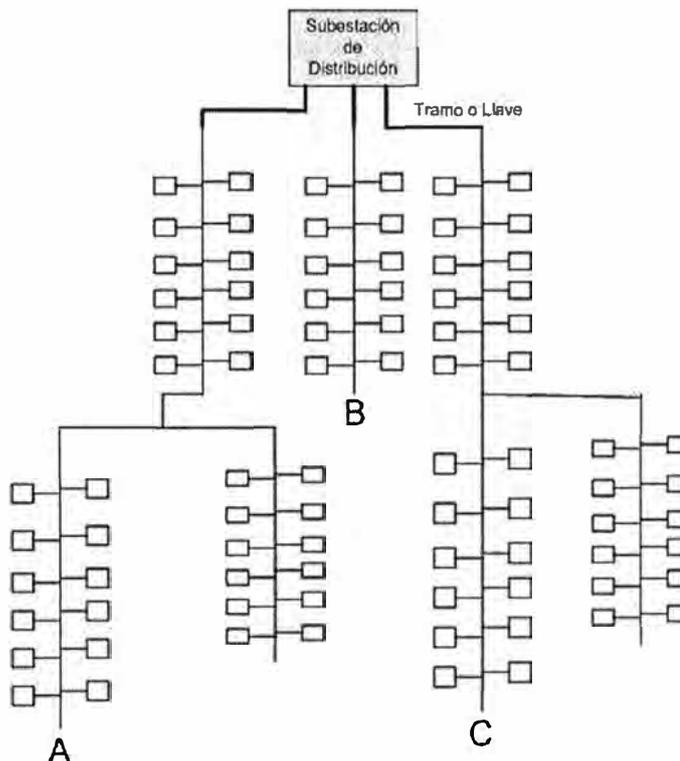
#### 4.2 Despliegue de la Red BPL en baja tensión

El despliegue de la red BPL en BT se realiza para cada SED de la red eléctrica, es decir, cada SED es un circuito BPL independiente con respecto a las otras SED existentes en la red eléctrica. En este caso, el objetivo es desplegar la señal BPL a todos los clientes de la SED con la menor cantidad de equipos BPL.

Para obtener esto, en primer lugar, cada uno de los circuitos BPL en BT debe tener la estación base BT instalada en la SED tanto para facilitar la interconexión entre los equipos BPL de MT con los equipos BPL de BT como para poder inyectar la señal BPL en las

barras de BT de tal manera de que la señal BPL se propague por todas las llaves de la SED, con la menor distancia entre cualquier punto extremo de la red y la ubicación de la estación base BT.

La figura 4.6 muestra una SED con tres llaves siendo los puntos extremos A, B y C. Se puede observar que si colocamos la estación base en un punto diferente a la SED, es decir, en un punto cualquiera de las llaves, la distancia entre dicho punto y los otros dos puntos extremos es mayor a la distancia entre la SED y ambos puntos.



**Fig. 4.6** SED con tres tramos o llaves

Por otro lado, como hemos explicado anteriormente, en cada SED debe realizarse las mediciones necesarias para determinar las condiciones de la red eléctrica con respecto a la calidad de la señal BPL. Dado que se requiere cubrir a todos los clientes de la SED con la menor cantidad posible de equipos, por lo general se opta por utilizar los modos de baja frecuencia para la red BT, tales como el modo 1 que se observa en la figura 2.2 ya que con estos modos se tiene un mayor alcance que con los modos de frecuencias altas.

Además, para determinar la ubicación de los repetidores adicionales que deben instalarse en el circuito eléctrico de la SED, deben considerarse una serie de aspectos durante el planeamiento de la red así como durante la realización de las mediciones.

Entre los principales aspectos, que deben considerarse durante el análisis y planificación del despliegue de la red BPL en una SED, debe tenerse en cuenta:

- Topología de la red eléctrica
- Cantidad de llaves o tramos por SED
- Tipo de área residencial
- Tipo de edificaciones
- Topología dentro de los edificios
- Distancias entre la SED y las edificaciones y entre edificaciones

La topología de la red eléctrica es importante ya que esta nos indica características de la red eléctrica como la cantidad de bifurcaciones o derivaciones existentes así como las longitudes los cables. En este caso, las derivaciones por lo general debilitan la señal BPL por lo que se requiere de la instalación de un equipo repetidor, por lo general se utiliza un repetidor FDD dado que los repetidores TDD limitan la cantidad de usuarios a atender y se utilizan para los casos mencionados anteriormente en la descripción de dicha configuración. La longitud de las llaves es también importante ya que la señal BPL tiene un límite de alcance de la señal, por lo que en el caso de longitudes largas se requerirá de repetidores para cubrir todo el tramo o llave.

La cantidad de tramos o llaves por SED es también importante ya que, a mayor cantidad de llaves, menor será la distancia que cubrirá la señal BPL inyectada en las barras BT de la SED. Esta menor distancia se traducirá en el uso de repetidores adicionales por lo que, como parte del análisis, debe establecerse que la señal se inyecte cerca de la llave de mayor longitud.

El tipo de área es importante ya que esta puede ser un área densa o con separaciones entre los clientes, la idea es tener áreas densas que permitan cubrir una mayor cantidad de cliente en distancias cortas ya que esto reduce la cantidad de repetidores a utilizar.

El tipo de edificaciones es también importante ya que, conjuntamente con el aspecto anterior, definen la cantidad de repetidores a utilizar. En una SED puede haber edificios o viviendas unifamiliares y dependiendo de la existencia de cada una de estas se varía la cantidad de repetidores requeridos en la SED.

La topología dentro de los edificios puede ser con un banco de medidores en una zona específica del edificio o con medidores en cada uno de los apartamentos de los clientes. En el primer caso ha sido visto para la definición de las configuraciones ya que se le instala un repetidor FDD para atender a todos los clientes. En el segundo caso, dependerá de la cantidad de pisos y la distancia desde la acometida hasta las instalaciones de cada uno de los clientes que se requiera de un repetidor, sin embargo, dado que sería un repetidor para

la atención de un solo cliente, se opta por utilizar un repetidor TDD para llevar la señal hasta las instalaciones del cliente que lo requiera.

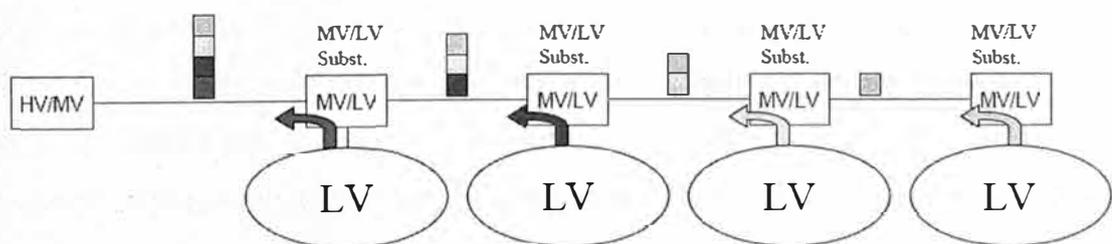
La distancia entre la SED y las edificaciones así como entre edificaciones, en ambos casos sobre todo en el caso de edificios, puede ser tan larga que requiera de la instalación de un repetidor para que la señal BPL cubra a todos los clientes.

Como se observa de lo explicado anteriormente, el despliegue de la red BPL en BT requiere básicamente del análisis de la red eléctrica de cada SED y de la realización de las mediciones necesarias para verificar que lo planificado cumple con cubrir a todos los clientes de la SED con una cantidad mínima de repetidores.

### 4.3 Despliegue de la Red BPL en media tensión

Como se dijo anteriormente, en el caso de la red BPL para media tensión, el objetivo primario es lograr intercomunicar dos SED y el objetivo final es lograr comunicar la mayor cantidad de SED en una misma red BPL. Esto se debe a que las redes BPL deben minimizar la cantidad de accesos a la WAN ya que estos accesos son mucho más costosos que los accesos utilizando la red eléctrica existente.

Dado que las SED se encuentran a lo largo de los alimentadores, con pocas bifurcaciones de alimentadores troncales, las interconexiones están supeditadas al ancho de banda disponible en cada uno de los enlaces ya que la necesidad de ancho de banda se va acumulando conforme se incrementa la cantidad de SED interconectadas, un efecto conocido como “bola de nieve”. Así, el primer enlace, desde la WAN a la primera SED, debe soportar las necesidades de ancho de banda de todas las SED que están interconectadas a dicho enlace. La figura 4.7 ilustra gráficamente este caso, en esta figura se puede observar como el tráfico que proviene de las redes de BT de las cuatro SED debe ser soportado por el enlace entre la SET y la primera SED.



**Fig. 4.7** Tráfico de una Red BPL en MT.

Debido a la naturaleza radial o lineal de las redes eléctricas de MT y BT, las configuraciones que se presentan no son tan variadas como las que se presentarían en una red mallada en la que, una misma SED, puede ser alimentada desde distintos puntos.

Por lo tanto, los principales aspectos que deben considerarse para el despliegue de la red BPL en MT son los siguientes:

- Cantidad de SED por alimentador.
- Tipos de SED.
- Longitud de los cables eléctricos entre SED.
- Existencia de bifurcaciones o derivaciones.
- Existencia de alimentadores laterales.
- Tipo de Área (Residencial o Urbana).

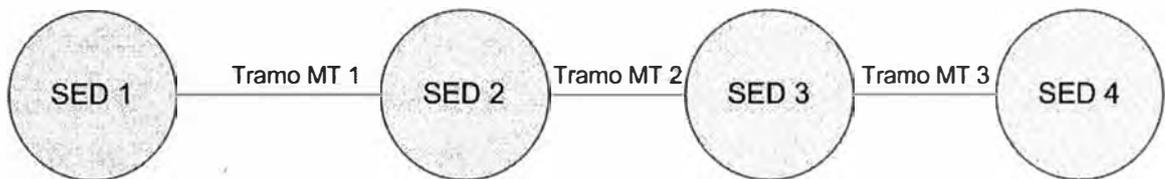
La cantidad de SED en un enlace es importante ya que nos permite conocer el límite de SED que pueden ser interconectadas por un solo enlace BPL. El ideal de un red BPL en MT es tener un enlace por cada alimentador; sin embargo, debido a la restricción del ancho de banda (ya que como hemos visto, debido al efecto bola de nieve, a mayor cantidad de SED, mayor será el ancho de banda requerido para llevar todos los enlaces a la WAN y viceversa), esto es solo posible cuando se tienen no más de un número dado de SED que depende de la cantidad de clientes por SED y de los servicios que se brindarán a los usuarios. En el caso de la red de distribución de Lima, los alimentadores tienen en promedio más de veinte SED y cada una de las SED tiene más de ciento cincuenta clientes. Por lo tanto, se requerirá de más de un circuito BPL por cada alimentador, dependiendo obviamente de las necesidades de ancho de banda de las SED asociadas. En este caso, a cada uno de los circuitos BPL existentes en el alimentador se le denomina “Celda BPL”.

El parámetro del tipo de SED, básicamente nos afecta en los modos de frecuencia que pueden utilizarse y en el tipo de acopladores a utilizar. En el caso de los modos de frecuencia lo que afecta es la distancia de separación entre las partes de MT y BT de la SED, si están se encuentran más separadas hay menor posibilidad de interferencias entre las señales inyectadas a los cables. En el caso de los acopladores, el espacio existente en la SED así como la exposición de los elementos son los factores principales que determinan el uso de acopladores capacitivos o inductivos.

El parámetro longitud de los cables eléctricos es uno de los puntos más restrictivos ya que dependiendo de la distancia entre las SED será necesario el uso de repetidores adicionales en el cable para lograr la comunicación entre las SED. Este hecho se agrava en el caso de Lima ya que las instalaciones de cables eléctricos de MT se realizan directamente enterradas en el subsuelo, es decir, sin el uso de ductos que faciliten la instalación de equipos adicionales. Debido a esto, el uso de repetidores en MT es una posibilidad remota

ya que se tendría que realizar la construcción adicional de un buzón, especialmente para la instalación de la estación repetidora, que incrementaría los costos de la solución. Sin embargo, dado que el mercado objetivo de la red BPL es en la zona urbana de alta densidad, la cantidad de cables con longitudes largas es mínima. Se considera longitudes largas a aquellas por encima generalmente de los 300 metros, sin embargo, esta distancia varía dependiendo de condiciones tales como los modos de transmisión utilizados, las condiciones del cable y las bifurcaciones existentes. En la práctica se han conseguido transmisiones de hasta 800 metros.

Por otro lado, el parámetro longitud de cables también debe ser considerado cuando las distancias entre las SED es muy corta ya que podrían causarse interferencias si se utiliza el mismo modo de frecuencia (los modos de frecuencia pueden ser visualizados en la figura 2.2) en los enlaces extremos entre dos SED contiguas. La figura 4.8 muestra gráficamente como podría tenerse interferencias entre los enlaces, en este caso, dado que la distancia entre la SED 2 y la SED 3 es pequeña, debemos tener cuidado en la selección de los modos de frecuencia para la transmisión de la señal BPL en los tramos MT 1 y MT 3, si elegimos el mismo modo de frecuencia o modos de frecuencia que se traslapan, entonces podríamos tener interferencias entre la señal BPL del tramo MT 1 y la señal BPL del tramo MT 3.



**Fig. 4.8** Interferencias por Distancia entre SED y uso de Modos de Frecuencia Iguales

El parámetro existencia de bifurcaciones o derivaciones es importante ya que las bifurcaciones hacen que la señal se bifurque hacia dos SED, en vez de ir a una sola SED como los enlaces normales, esto crea una situación en la que dos SED reciben la misma señal. En este caso se puede configurar los equipos para compartir el rango de frecuencias pero se tendría un ancho de banda reducido por lo que se debería minimizar este tipo de configuraciones separando las SED en diferentes celdas BPL.

El parámetro existencia de alimentadores laterales influye tanto en la configuración de los equipos BPL como en la asignación de frecuencias ya que en este caso se tiene una SED desde la que se tiene conexiones para dos o más SED, para este tipo de configuraciones se utilizan SED convencionales. Este caso difiere del anterior, ya que aquí se cuenta con más de una bifurcación desde el sistema de barras de la SED que recibirán la señal BPL que se inyecte al sistema de barras. Por lo tanto, deberá tenerse en cuenta la cantidad de

bifurcaciones ya que la señal recorrerá menor distancia y se tendrá menor capacidad de ancho de banda ya que deberá repartirse entre todas las SED que se interconectarán a través del enlace que se genere.

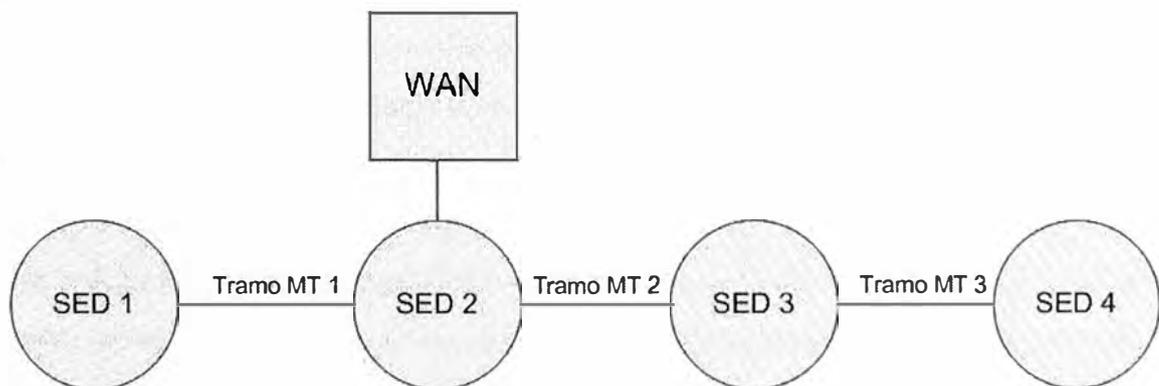
El parámetro tipo de área influye en las características de la red eléctrica y por ende en la red BPL. Las áreas urbanas tienen una mayor densidad poblacional que las áreas rurales lo que hace que las redes MT en las áreas urbanas tengan enlaces entre SED mucho más cortos que los enlaces entre SED de las áreas rurales. Además, los alimentadores rurales son por lo general lineales ya que no requieren de derivaciones para atender a los clientes que se encuentran dispersos en la zona que atienden. Debido a esto las soluciones BPL se orientan a brindar última milla en zonas urbanas no solo por tener el mercado objetivo sino también por las facilidades técnicas que brinda la concentración de los clientes.

Por lo tanto, para el caso del despliegue en la red eléctrica MT de Lima, se requiere del análisis de cada alimentador para planificar la cantidad de celdas BPL que se requieren para cubrir todo el alimentador con la menor cantidad de enlaces a la red WAN, ya que, como hemos dicho, son más costosos que los enlaces utilizando equipos BPL.

Para realizar el análisis definiremos el concepto de celda BPL así como el proceso de diseño que debe seguirse para la implementación de cada celda BPL.

#### 4.3.1 Celda BPL

Una celda BPL puede ser definida como una red BPL que enlaza a varias SED que están conectadas a un solo enlace WAN para la atención de todos los clientes que son alimentados por las SED interconectadas a dicha red BPL. La figura 4.9 muestra una celda BPL que está constituida por cuatro SED. En este caso la red WAN está conectada a la SED 2 y a través de la red BPL se llevan las señales de los clientes de las cuatro SED hacia la red WAN.



**Fig. 4.9** Celda BPL

La cantidad de SED que puede tener una celda BPL depende principalmente del ancho de banda que se requiera para atender a los usuarios de los servicios brindados a través de la red BPL ya que, como explicamos anteriormente, por el efecto “bola de nieve” la SED que se conecta a la red WAN debe tener el ancho de banda necesario para poder soportar los anchos de banda requeridos en los demás enlaces de la red BPL de MT. En el caso mostrado en la figura 4.9, la SED 2 es la que soporta todo el ancho de banda requerido por las demás SED que constituyen la celda.

Por otro lado, la topología de la red eléctrica y la longitud de los enlaces también limita la cantidad de SED en la celda BPL, ya que si las distancias entre las SED son demasiado largas, es preferible que las SED que no pueden interconectarse formen parte de dos celdas BPL diferentes.

Por lo general, las celdas BPL que se implementan tienen entre cuatro y cinco SED, esta cantidad puede incrementarse si se disminuyen los requerimientos de ancho de banda para la red BPL.

#### **4.3.2 Diseño de Celdas BPL por Alimentador**

Como indicamos previamente, el diseño de las celdas BPL debe realizarse sobre la base de un alimentador determinado y no de manera aislada para celda, es decir, cuando diseñemos las celdas debemos analizar todo un alimentador y definir las posibles celdas que se tendrán en el alimentador considerando todas las limitaciones indicadas anteriormente (ancho de banda requerido, distancia entre SED, cantidad de bifurcaciones, multiplicidad de bifurcaciones, etc.) de tal manera que se pueda implementar la red BPL con la menor cantidad de accesos a la red WAN.

Un punto importante que debe tenerse en cuenta es que, aún cuando teóricamente un punto ideal para que sea la cabecera de una celda es la SET desde donde sale el alimentador, en el caso de las redes de Lima este punto está por lo general alejado de la primera SED que forma parte del alimentador. Además, la seguridad que se requiere en las operaciones que se realizan en una SET tales como el acceso restringido, los riesgos eléctricos por tener redes de alta tensión y otros limitan las operaciones que se requerirían para implementar la red BPL. Debido a esto, no se debe considerar a la SET, como una cabecera de celda BPL, durante el proceso de análisis.

Por otro lado, es importante realizar el análisis con diferentes requerimientos de ancho de banda esto debido a que, inicialmente, la red BPL será utilizada por una pequeña cantidad de usuarios que se irán incrementando conforme pase el tiempo. Por lo tanto, si realizamos

el análisis con distintos requerimientos de ancho de banda podremos minimizar la cantidad de enlaces WAN e irla incrementando conforme pase el tiempo de acuerdo al crecimiento de requerimientos de ancho de banda en cada alimentador y en cada celda definida dentro del alimentador. Esto podría formar parte de un plan de crecimiento de la red que reduciría los costos de implementación de la red BPL.

Durante el diseño de las celdas que tendrá el alimentador deberá utilizarse como herramienta el diseño de una celda que se explicará en el siguiente punto.

No debemos olvidar que todos los diseños que se realicen deben ser validados en el campo con las mediciones necesarias que sustenten que nuestro diseño puede ser implementado sin ningún tipo de problema. Por ejemplo, podemos haber dispuesto que una SED determinada sea parte de una celda específica pero en las mediciones podemos encontrarnos con que la interconexión hacia dicha SED no tiene la calidad de señal adecuada para establecer un enlace con el ancho de banda requerido, debido a esto, dicha SED debe pertenecer a otra celda y el diseño de las celdas del alimentador cambiará por el resultado de las mediciones en el campo.

### 4.3.3 Diseño de una Celda BPL

Para realizar el diseño de una celda BPL, debemos considerar los requerimientos de ancho de banda que nos permitan dimensionar que modos de frecuencia debemos utilizar para interconectar cada una de las SED sin ocasionar interferencias tanto en la red MT como en la red BT.

Dado que utilizaremos los datos de los modos de frecuencia, la figura 4.10 muestra el mismo gráfico que se presenta en la figura 2.2 con los modos de frecuencia existentes en los equipos BPL de la solución.

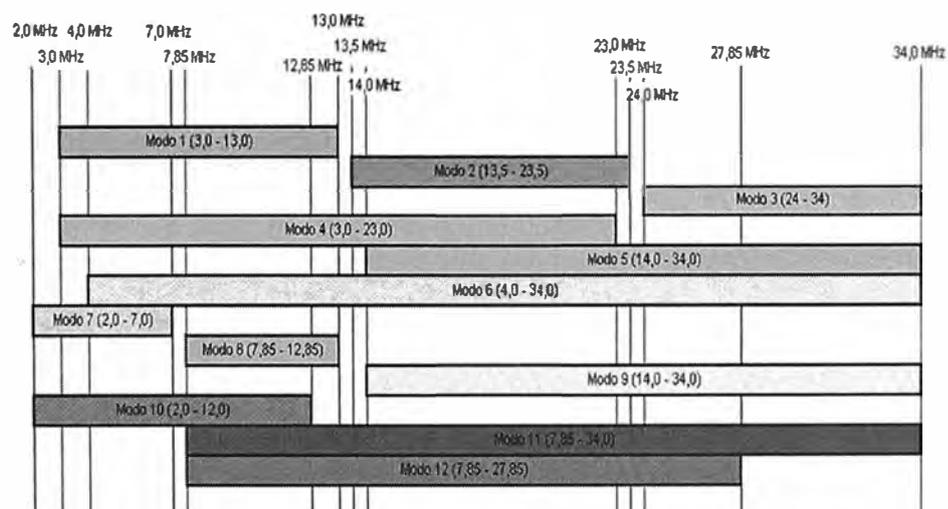


Fig. 4.10 Modos de Frecuencia de Transmisión en una red BPL

El punto principal del diseño de una celda BPL es definir el plan de frecuencias que me permitirá interconectar a todas las SED de la celda sin tener interferencias entre cada uno de los enlaces BPL definidos en la red. Las decisiones que se tomen sobre los modos de frecuencia que se utilizarán en cada uno de los puntos de la red BPL tendrán un gran impacto en el rendimiento de la celda BPL así como en la cantidad de SED que esta puede abarcar.

El plan de frecuencias se define teniendo como base a la celda BPL en la red MT, es decir, a los enlaces con señal BPL en los tramos MT que se deban implementar en cada SED. Sin embargo, debe también considerar los modos de frecuencia que se utilizarán en la red BT ya que debe evitarse la interferencia entre los modos que se tienen en una SED tanto para la red MT como la red BT.

El análisis del plan de frecuencias se realiza como herramienta de apoyo al análisis del alimentador para una definición previa de las posibles celdas BPL que se tendrán en el alimentador con los distintos escenarios de requerimientos de ancho de banda.

Por otro lado, debemos también considerar los siguientes conceptos para establecer el plan de frecuencias:

- Los modos de frecuencia con rangos de frecuencia más bajos tienen un mayor alcance que los modos de frecuencia con rangos de frecuencia más altos.
- Los modos de frecuencia se agrupan en cuatro modos diferentes de ancho de banda con diferentes rendimientos en su aplicación.
- En una celda BPL, la SED más cercana a la red WAN tiene el mayor requerimiento de ancho de banda.

Los modos de frecuencia, tal como se muestra en la figura 4.10, están definidos sobre todo el espectro de frecuencias que utiliza la solución y que va desde los 2 MHz hasta los 34 MHz. Además, tienen cuatro diferentes tipos de bandas de frecuencia, estas son:

- 5 MHz
- 10 MHz
- 20 MHz
- 30 MHz

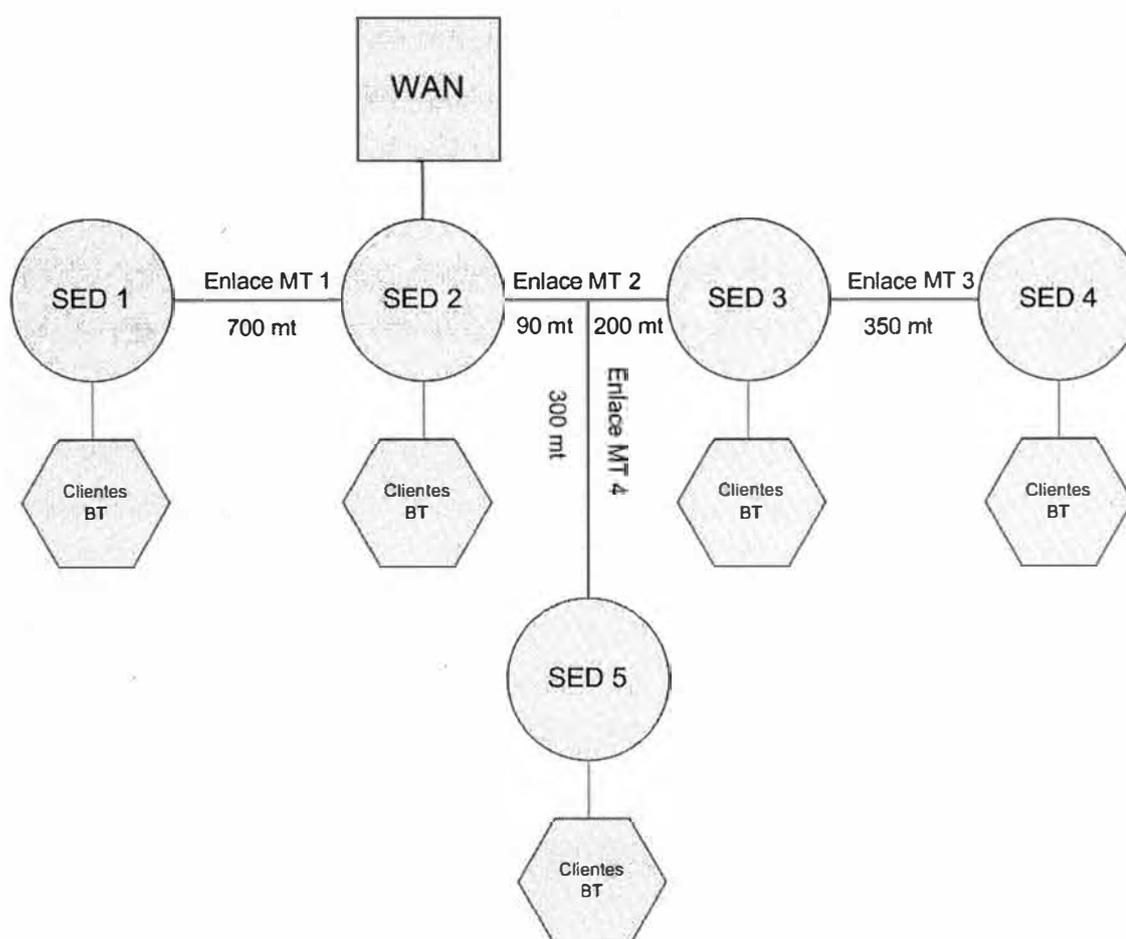
Estas bandas de frecuencia, en términos de rendimientos físicos, tienen los límites máximos teóricos de:

- 40 Mbps para 5 MHz
- 80 Mbps para 10 MHz

- 145 Mbps para 20 MHz
- 200 Mbps para 30 MHz

Con estos datos podemos realizar el diseño de una celda BPL. Para explicar adecuadamente el proceso de diseño tomaremos una parte de un alimentador y realizaremos el análisis del plan de frecuencias. En nuestro ejemplo asumiremos que todos los usuarios de cada SED tendrán un requerimiento de ancho de banda de 10 MHz.

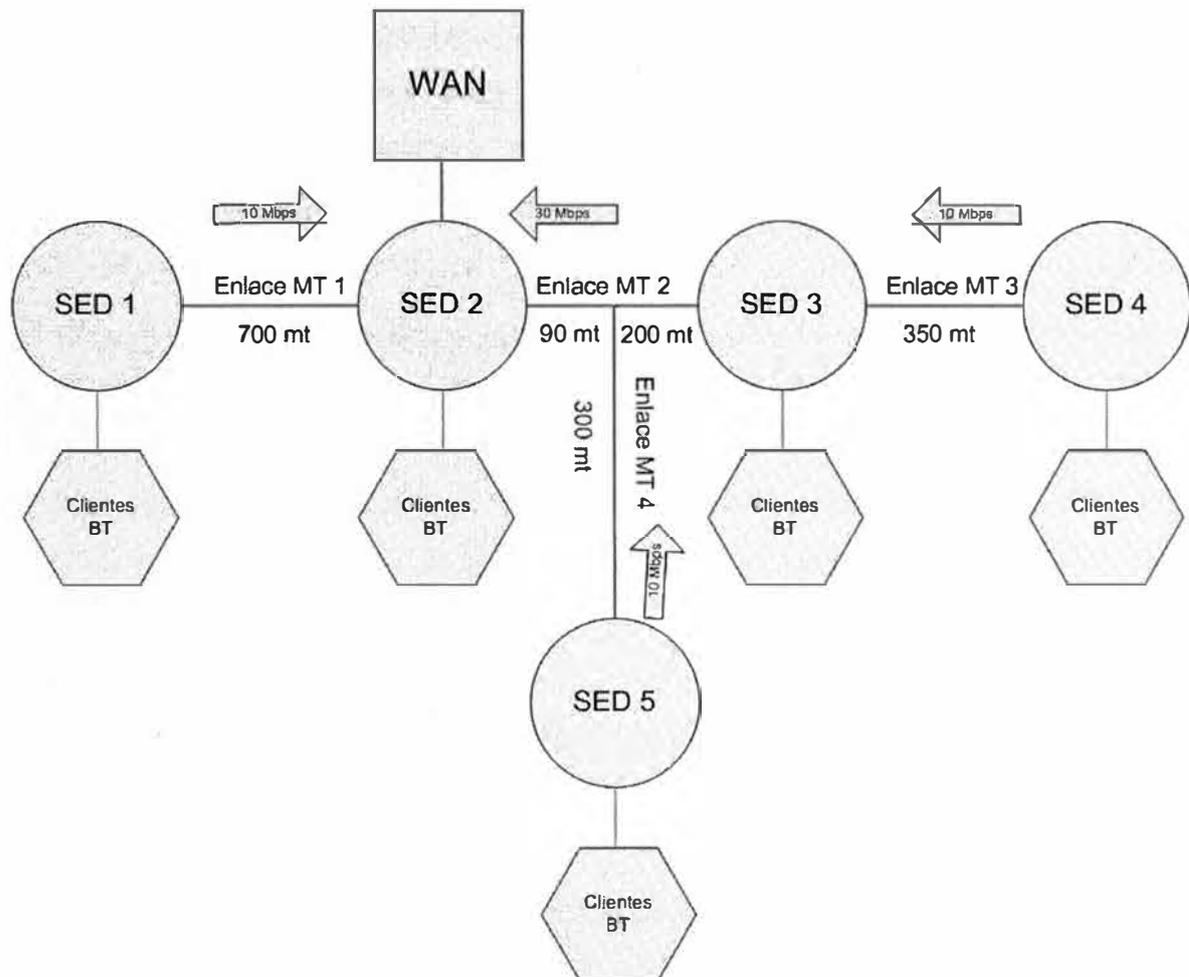
La figura 4.11 muestra una gráfica con la sección del alimentador que hemos elegido para implementar una celda BPL luego de realizar el análisis del alimentador. En este caso se ha decidido en principio que la celda cubrirá cinco SED. Solo para fines explicativos se ha colocado una distancia larga entre la SED 1 y la SED 2, ya que las distancias normales entre SED en zonas urbanas no exceden de los 500 metros. Además se ha colocado una bifurcación entre la SED 2 y la SED 3 y se ha decidido que la SED 5 también forme parte de la misma celda ya que las distancias desde la SED 2 a la SED 3 y a la SED 5 son cortas por lo que la señal BPL podrá interconectar a ambas SED. Por otro lado, se ha decidido que la SED 2 sea la cabecera de la celda asumiendo que las facilidades del proveedor de la red WAN hacen que dicha SED sea la adecuada para interconectarse a la red WAN.



**Fig. 4.11** Sección de SED de un Alimentador para Diseño de una Celda BPL

Lo primero que hay que revisar son las necesidades de ancho de banda en cada uno de los enlaces MT de la red BPL para verificar que tipos de bandas de frecuencia podremos utilizar en cada uno de los enlaces.

Dado que la cada una de las SED aporta una demanda de ancho de bando de 10 Mbps, se tienen distintas necesidades de ancho de banda para cada uno de los enlaces MT de la red BPL. La figura 4.12 muestra las necesidades de ancho de banda que se tienen en cada enlace MT. En este caso se observa que se cumple lo indicado anteriormente sobre que la SED que es la cabecera de la celda BPL tiene la mayor necesidad de ancho de banda, en este caso, la SED 2. Las necesidades de ancho de banda del enlace de la SED 2 son de 40 Mbps debido a que interconecta por un extremo a la SED 1, que aporta un requerimiento de ancho de banda de 10 Mbps que provienen de sus clientes en BT, y por el otro extremo interconecta a la SED 3 y la SED 5; la SED 3 aporta 20 Mbps que provienen de sus clientes en BT y de su interconexión con la SED 4, y la SED 5 aporta 10 Mbps que provienen de sus clientes BT. Por último se tiene que el enlace entre la SED 3 y la SED 4 requiere de 10 Mbps que provienen de los clientes BT de la SED 4.



**Fig. 4.12** Necesidades de Ancho de Banda en cada enlace MT de la red BPL

Con los datos de requerimientos de ancho banda que se tienen en la figura 4.12 podemos realizar la elección de las bandas de frecuencia recomendables para implementar el enlace. En este caso se tiene que el enlace de la SED 2 soporta hasta 40 Mbps que provienen del enlace MT 1 y el enlace MT 2 que, para efectos de la red BPL, es un mismo enlace ya que la señal BPL se inyecta en los cables de MT de la SED 2, en este caso, del lado que se conectan a la SED 1 debido a que esta SED está más alejada que la SED 3 y la SED 5; la señal inyectada va hacia la SED 1 y también hacia la SED 3 y a la SED 5 ya que existe continuidad eléctrica entre los cables de MT que se van conectando a las SED. Por lo tanto, para este enlace se puede utilizar la banda de frecuencia de 10 MHz ya que esta puede soportar dicho requerimiento de ancho de banda. El enlace MT 4 también forma parte del mismo enlace que comparte la señal inyectada en la SED 2 por lo que solo faltaría definir la banda de frecuencia para el enlace MT 3, en este caso se requiere soportar un ancho de banda de 10 Mbps por lo que utilizar una banda de frecuencia de 5 MHz es suficiente para atender los requerimientos de este enlace. Obviamente que también se puede utilizar una banda de frecuencia de mayor ancho de banda para atender el requerimiento.

Por otro lado, como mencionamos anteriormente, es importante tener en cuenta a la red de BT en la elección de los modos de frecuencia ya que si se utilizan modos de frecuencia que se solapan es factible que existen interferencias entre las señales como se ha demostrado en las pruebas piloto. En este caso, como cada red BT de cada SED requiere de 10 Mbps de ancho de banda, entonces se puede utilizar una banda de frecuencia de 5 MHz o superior.

Definidas las bandas de frecuencia que se pueden utilizar, podemos desarrollar el plan de frecuencias de la celda BPL.

El primer análisis que se realiza es verificar que las distancias en MT no sean mayores a 500 metros (o el valor que obtengamos en nuestras mediciones previas) para determinar si requerimos utilizar los modos de frecuencia bajos o intermedios, esto es importante porque debemos preferir utilizar los modos de frecuencia altos en MT y dejar los modos de frecuencia bajos en BT ya que con eso aseguramos una mejor cobertura en BT al tener los modos de frecuencia bajo un mayor alcance que los modos de frecuencia altos. En nuestro caso tenemos que el enlace de la SED 2 tiene una distancia superior a los 500 metros por lo que debemos utilizar un modo de frecuencia bajo para dicho enlace, en este caso se tendría que el modo de frecuencia a utilizar sería el modo de frecuencia 10 dado que es el modo de frecuencia más bajo tal como puede observarse en la figura 4.10.

Para el caso de los clientes BT de la SED, se podría utilizar en este caso el modo de frecuencia 2 ya que es el más bajo que queda disponible. Este es un ejemplo de cómo la topología de la red eléctrica influye en las decisiones de implementación del plan de frecuencias. Sin embargo, en situaciones reales se tiene que las distancias entre SED son cortas por lo que es posible utilizar los modos de frecuencia altos (modo 2 y modo 3) y dejar el modo de frecuencia bajo (modo 1 o modo 10) para la red BT. La elección entre el modo 1 y el modo 10 depende los resultados de las mediciones, teóricamente el modo 10 da una mejor cobertura pero esto debe ser comprobado con mediciones para verificar que las frecuencias bajas no tienen interferencias en la red eléctrica. En nuestro es factible utilizar el modo 10 en vez del modo de frecuencia 1 ya que las mediciones indican que tiene un mejor rendimiento.

Con la decisión inicial se construye el plan de frecuencias verificando que los modos utilizados en cada enlace no se traslapen. Así tenemos que para los clientes BT de la SED 1, SED 3 y SED 5 se utiliza el mismo modo de frecuencia que para la SED 2, es decir, el modo de frecuencia 2.

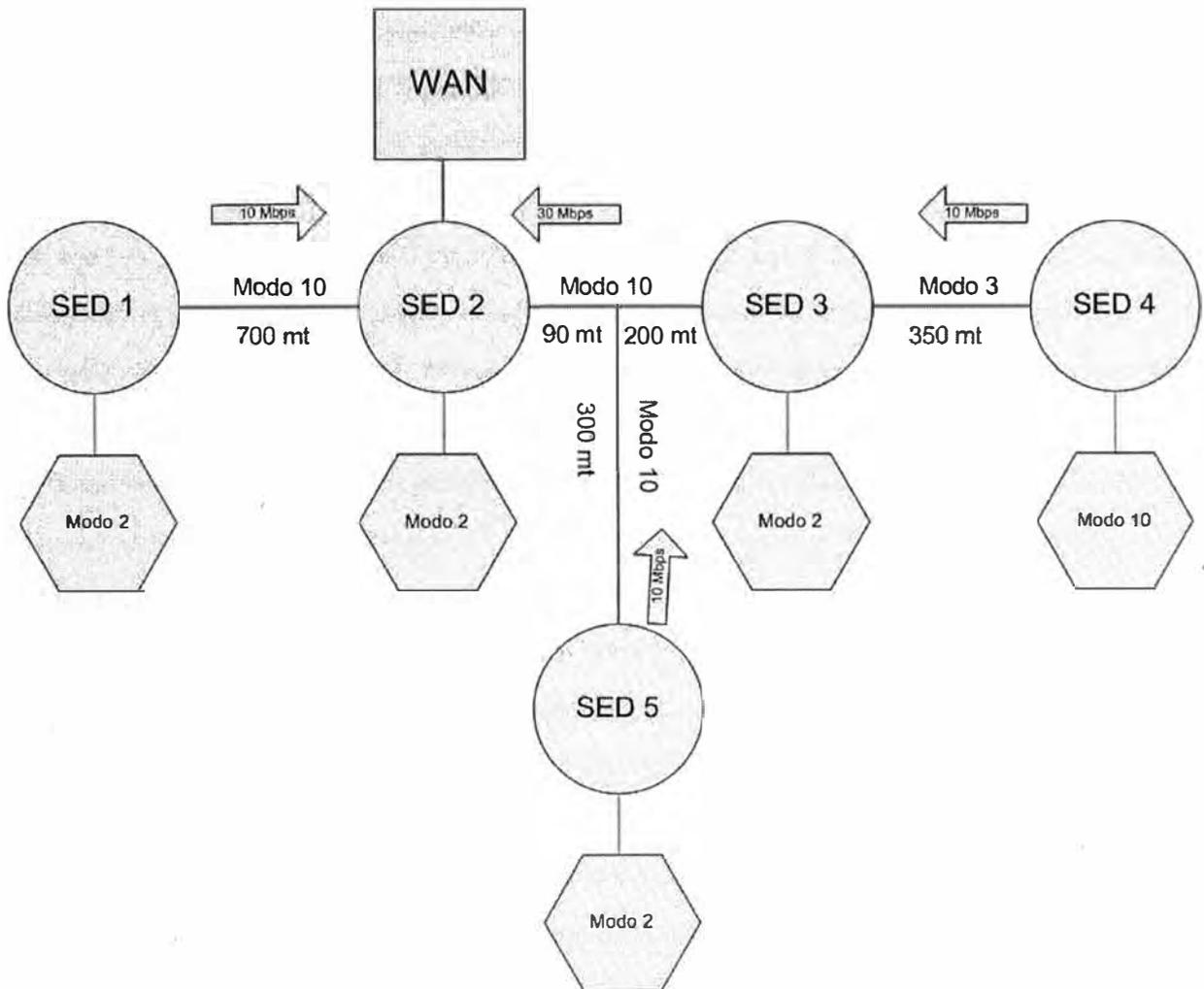
Para el caso del enlace MT 3 que interconecta la SED 3 y la SED 4, dado que en el enlace de la SED 3 ya se han utilizado los modos 10 y 2, solo podríamos utilizar el modo de frecuencia 3. En este caso, aunque habíamos definido que podría utilizarse un modo de la banda de frecuencias de 5 MHz, las restricciones de la topología no han permitido que se tenga un modo de esta banda disponible por lo que utilizamos un modo disponible en la banda de frecuencias superior.

Por último, para el caso de los clientes BT de la SED 4, podríamos utilizar el modo de frecuencia 10 dado que es una SED que se encuentra en uno de los extremos de la celda por lo que solo requiere que su modo de frecuencia en BT no se traslape con el modo de frecuencia en MT. En este caso el uso del modo de frecuencia bajo nos permitiría implementar la red BPL BT con una menor cantidad de repetidores.

Una vez definidos los modos de frecuencia a utilizar en MT y en el primer nivel de BT, es decir, en las cabeceras instaladas en las SED; es posible definir los modos de frecuencia que se utilizarán en el caso se requieran repetidores FDD en la red BPL BT. Así, si hemos utilizado el modo de frecuencia 1 o 10 para el primer nivel en BT, para los repetidores podemos utilizar el modo de frecuencia 2 o 3. Y si hemos utilizado el modo de frecuencia 2, podemos utilizar el modo de frecuencia 1 o 3 para los repetidores.

Una vez definido el plan de frecuencias de la celda, corresponde realizar la implementación de la red BPL en la celda definida y realizar las verificaciones mediante mediciones para asegurarnos de que los modos elegidos trabajan adecuadamente en cada uno de los enlaces y, si esto no ocurre, debemos redefinir nuestra celda. En este caso, una redefinición podría ser el retiro de la SED 1 de la celda con lo que podríamos utilizar un modo de frecuencia más alto para la interconexión de la SED 2 con las SED 3 y SED 5. Además, esta decisión nos permitiría dejar libre los modos de frecuencia bajos para las redes BT con lo que reduciríamos la cantidad de repetidores necesarios para la implementación de la red BPL en BT.

La figura 4.13 muestra una gráfica de la celda BPL con los modos de frecuencia que se definieron para ser utilizados en la elaboración del plan de frecuencias.



**Fig. 4.13** Plan de Frecuencias de una Celda BPL

Este análisis debe realizarse para cada una de las celdas que se defina y cada caso deberá ser tratado como un caso diferente pero contemplando los distintos conceptos explicados

anteriormente y la experiencia que se va adquiriendo conforme se despliega la red BPL en la red eléctrica.

#### **4.4 Interconexión de la Red BPL con la red WAN**

En este punto veremos las consideraciones que deben tenerse para la interconexión de la red BPL con la red WAN.

En principio debe tenerse en cuenta que, como parte del análisis de la implementación de la red BPL, debe tenerse presente la cobertura de la red WAN para minimizar los costos de interconexión. En este caso, cuando se utiliza redes cableadas como la fibra óptica, debe verificarse cuál es el mejor punto dentro de cada celda BPL para la interconexión con la red WAN.

Dado que la interconexión es básicamente de dos tecnologías diferentes, hay varios puntos que deben tenerse en cuenta para una adecuada operación de la red en su conjunto.

El primero de ellos es la calidad de servicio (QoS) dado que es un parámetro importante para los servicios que se pueden brindar con la red BPL. Se debe tener la capacidad para separar los tráficos de diferentes tipos o de diferentes orígenes. También debe tenerse la capacidad para garantizar y hacer un buen uso del ancho de banda.

Otro punto importante cuando se interconectan diferentes redes y tecnologías es la seguridad. Dado que cada tecnología cuenta con sus propios mecanismos de seguridad podría ser difícil la integración. En este caso, la autenticación y confidencialidad juegan un rol importante en la interconexión de redes y tecnologías. Debido a esto debe verificarse que la interconexión es segura.

Para el caso de la interconexión los medios que pueden utilizarse son muchos, sin embargo, todos ellos serán mediante la conexión con un cable de comunicaciones o mediante el uso de un enlace inalámbrico. En nuestro caso, la tecnología que se utiliza comúnmente es la red de fibra óptica entregando un punto de conexión en cada SED cabecera de celda BPL. Para el caso de redes inalámbricas puede utilizarse redes WiMAX (por sus siglas en inglés “Worldwide Interoperability for Microwave Access”) o cualquier otro tipo de enlaces con microondas para lo cual tendría que instalarse un punto de acceso en cada SED cabecera de celda BPL.

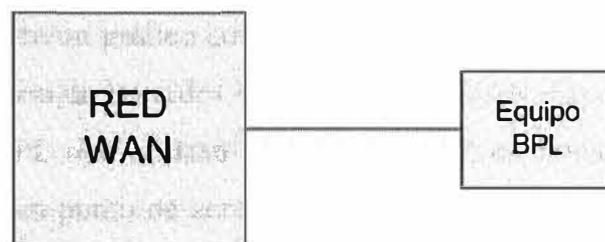
##### **4.4.1 Interconexión con Fibra Óptica**

La interconexión con una red de fibra óptica es muy simple dado que lo que se requiere básicamente es una conexión a Internet con un ancho de banda adecuado de acuerdo a las

necesidades de cada servicio. Es importante establecer un punto de acceso para cada celda BPL que minimice los costos de la conexión.

La interconexión de los equipos BPL con la red WAN depende del equipo. Si se utiliza el equipo ILV22M3 que tiene conexiones GBIC, la conexión de fibra óptica entregado por el proveedor de telecomunicaciones se instala directamente en el equipo BPL.

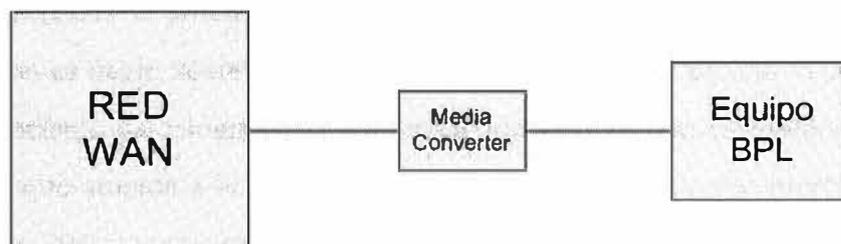
La figura 4.14 muestra un diagrama de bloques de la conexión de la red WAN con el equipo BPL cuando se utiliza la conexión GBIC. Se observa que la interconexión es directa no requiriéndose de ningún equipo adicional.



**Fig. 4.14** Diagrama de Bloques de Interconexión GBIC entre la Red WAN y Equipo BPL

Si se utiliza el equipo ILV22M2, que tiene conexiones RJ45 10/100 Ethernet, entonces no puede realizarse la conexión directamente por lo que debe instalarse un media converter para que convierta la señal óptica en señal eléctrica e interconectar la salida del media converter al conector Ethernet del equipo BPL.

La figura 4.15 muestra un diagrama de bloques de la conexión de la red WAN con el equipo BPL cuando se utiliza la conexión 10/100 Ethernet. Se observa en este caso que se requiere de un equipo media converter para realizar la interconexión de ambas redes.



**Fig. 4.15** Diagrama de Bloques de Interconexión Ethernet entre la Red WAN y la Red BPL

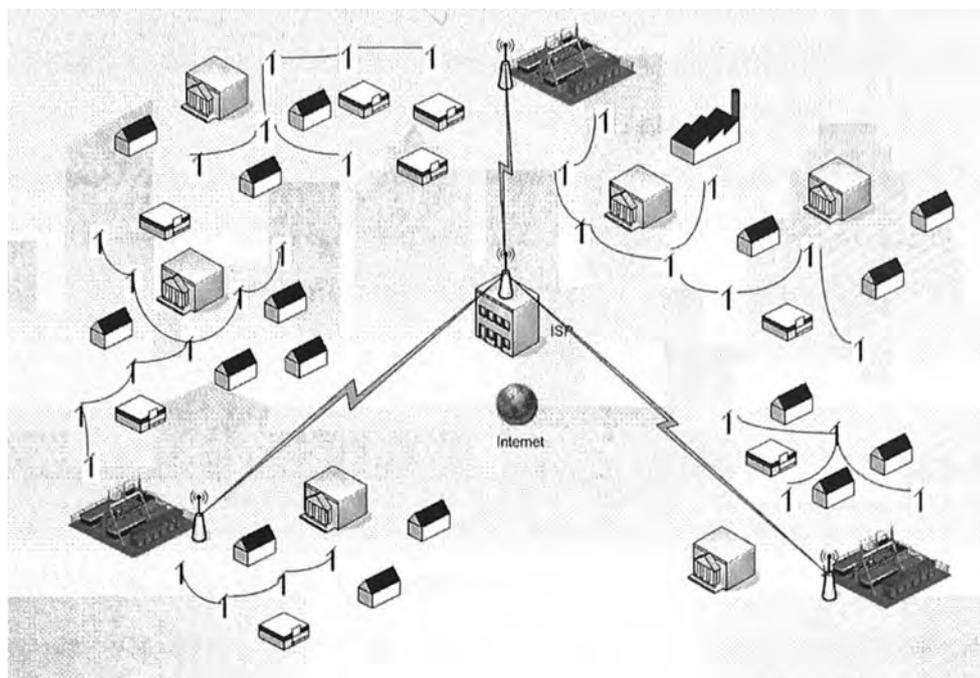
#### 4.4.2 Interconexión con WiMAX

El caso de la redes WiMAX, estamos colocando este tipo de interconexión como ejemplo de la factibilidad de utilizar tecnologías inalámbricas para la interconexión de las redes BPL con la red WAN. Los enlaces inalámbricos deben utilizarse cuando no se tienen facilidades de redes de fibra óptica u otras tecnologías cableadas para interconectar la red BPL con la red WAN. En el caso de las redes de distribución en Lima se daría este caso

objetivo para la implementación de la red BPL, veremos que es factible el utilizar este tipo de tecnologías para la implementación de una red BPL con acceso inalámbrico a la red WAN que provee los servicios de telecomunicaciones.

Aunque podría verse a WiMAX como un competidor natural de las redes BPL, es posible utilizar a las redes WIMAX como el medio para llevar las señales de las redes BPL a la red WAN. En este caso estamos utilizando el concepto de que se puede utilizar a la red WiMAX como red de retorno para otros tipos de redes como redes celulares, WLAN y otras.

La figura 4.16 muestra un gráfico con una posible forma de utilizar WiMAX como red de retorno e interconexión de las redes BPL con la red WAN. En este caso se observa que se tienen tres celdas BPL que utilizan equipos WiMAX en la cabecera de cada celda para interconectarse con un punto de acceso WiMAX que a su vez se interconecta con la red WAN que brinda los servicios de telecomunicaciones requeridos por los usuarios. Inclusive el proveedor de telecomunicaciones puede tener en sus instalaciones el servicio de Internet y distribuirlo a los usuarios que se lo requieran a través de la red WiMAX y la red BPL con lo que no se requiere de componentes adicionales para la interconexión de las redes. Es importante indicar que la factibilidad de interconexión utilizando la red WiMAX debe ser analizada para cada tipo de SED y para cada punto dado que se requiere de una antena que se encuentre dentro de la cobertura de la señal WiMAX y, dado que esta tecnología trabaja en el rango de frecuencia del orden de los GHz, se requiere de condiciones adecuadas de potencia de señal y línea de vista para lograr que la calidad de la señal sea óptima, es decir, se debe verificar que la ubicación del equipo WiMAX dentro la SED sea el adecuada para lograr una comunicación óptima con el equipo ubicado en la celda WiMAX que atiende a la antena ubicada en la SED. Dado que muchas de las SED están instaladas de manera subterránea, es importante para estos casos, buscar una ubicación que se encuentre cercana a la superficie y con línea de vista hacia los exteriores. Si ubicamos la antena WiMAX en los interiores de la SED, dado que esta se encuentra por debajo de la superficie y en un ambiente cerrado, la señal WiMAX no se recibirá o se recibirá deficientemente imposibilitando la interconexión de la red BPL con la red WAN.



**Fig. 4.16** Esquema de una solución con WiMAX y BPL

## CAPÍTULO V

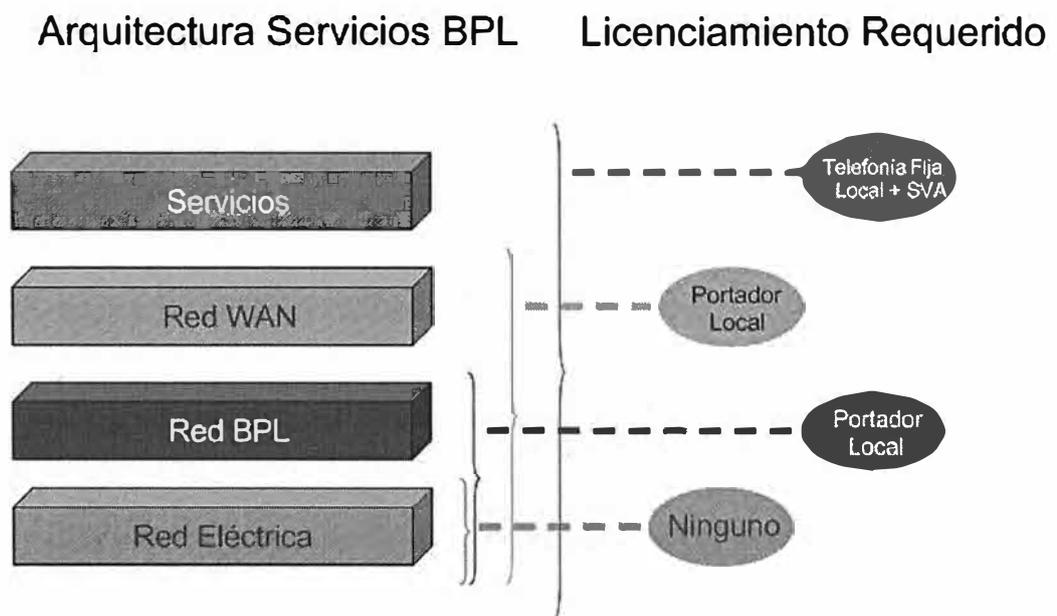
### CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN DE LA RED BPL

En este capítulo analizaremos el tema de las licencias que se requieren en las distintas modalidades de prestación de servicios utilizando la red BPL. Además describiremos las consideraciones que se deben tener en cuenta para la operación de la red BPL sin interferir con las operaciones que requiere realizar la empresa eléctrica para mantener en funcionamiento la red de distribución de energía eléctrica.

#### 5.1 Tipo de Licencia requerida para prestar el servicio de transmisión de datos

El tipo de licencia que se requiere para prestar el servicio de transmisión de datos depende de la modalidad que se utilice para brindar el servicio de transmisión de datos. Las modalidades dependen básicamente en el mercado al que se le brinda el servicio.

La figura 5.1 muestra un gráfico que incluye todas las modalidades en las que se puede brindar servicios utilizando la red eléctrica.



**Fig. 5.1** Licenciamiento requerido por Modalidad de Servicio

### **5.1.1 Licenciamiento para Modalidad Red Eléctrica**

En esta modalidad la empresa eléctrica entrega su red de distribución eléctrica para que otra empresa se encargue de la implementación de la red BPL así como de la modalidad en que brindará sus servicios.

En este caso, la empresa eléctrica no requiere de ningún tipo de licencia para establecer el contrato de arrendamiento de sus activos eléctricos.

### **5.1.2 Licenciamiento para Modalidad Red BPL**

En este caso la empresa eléctrica, o cualquier otra empresa que haya arrendado la red de distribución eléctrica, se encarga de implementar y operar la red BPL brindando con ella el servicio de acceso a la última milla a los distintos clientes de la red de distribución eléctrica.

Los clientes de la empresa que opera la red BPL son aquellas empresas que requieren entregar sus servicios a los clientes finales y que ya tienen acceso a la red WAN. El acceso a la red WAN de las empresas puede ser porque tienen implementada su propia red WAN o tienen contrato de arrendamiento con algún proveedor de red WAN.

Por lo tanto, el licenciamiento que requiere la empresa que opera la red BPL es el de portador local ya que se encargará de proporcionar la capacidad necesaria para el transporte y enrutamiento de las señales de comunicaciones.

### **5.1.3 Licenciamiento para Modalidad Red WAN**

En este caso la empresa eléctrica, o cualquier otra empresa que haya arrendado la red de distribución eléctrica, se encarga no solo de implementar y operar la red BPL sino también de operar la red WAN requerida para llevar los servicios hasta los usuarios finales.

Los clientes de la empresa que opera la red BPL y la red WAN son aquellas empresas que requieren entregar sus servicios a los clientes finales.

Por lo tanto, el licenciamiento que requiere la empresa que opera la red BPL y la red WAN es el de portador local ya que se encargará de proporcionar la capacidad necesaria para el transporte y enrutamiento de las señales de comunicaciones.

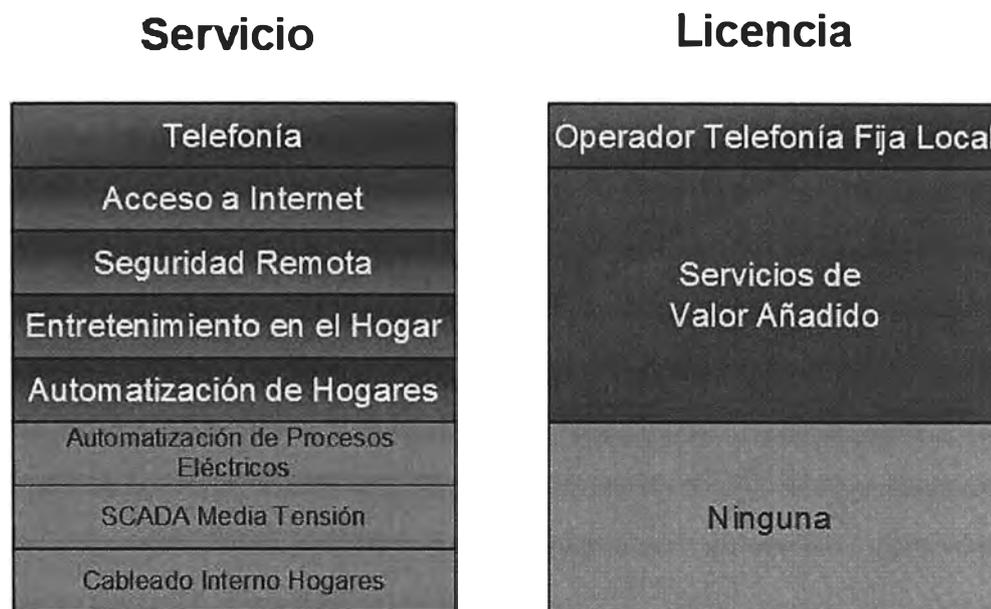
### **5.1.4 Licencia para Modalidad Servicios**

En este caso la empresa eléctrica, o cualquier otra empresa que haya arrendado la red de distribución eléctrica, implementa todos los componentes requeridos para brindar los servicios a los usuarios finales, es decir, la empresa implementa la red BPL, la red WAN y los servicios finales que ofrecerá a sus clientes.

En este caso los clientes, son todos los usuarios que accedan a adquirir cualesquiera de los servicios que ofrece el proveedor.

Por lo tanto, en este caso la licencia que se requiere depende también de los diferentes servicios que la empresa desee ofrecer.

La figura 5.2 muestra un gráfico con los distintos tipos de servicios que se pueden ofrecer con la red BPL. Los servicios que se presentan no son una lista exhaustiva e inclusive se presentan algunos servicios que no requieren ningún tipo de licencia ya que se pueden implementar solamente con la red BPL para uso específico de la empresa de distribución eléctrica.



**Fig. 5.2** Tipo de Licenciamiento por Tipo de Servicio ofrecido

En la figura 5.2 se puede observar los servicios que no requieren de licenciamiento ya que tienen que ver específicamente con el uso de la red BPL para la optimización de la red de distribución eléctrica o de las redes internas de clientes. En este último caso, con el uso particular de un cliente de los equipos BPL para implementar redes internas en su vivienda. Además, se puede observar una serie de servicios que requieren básicamente una licencia de servicio de valor añadido entre los que se encuentran el acceso a Internet, la seguridad remota, el entretenimiento en el hogar que puede ser un servicio tal como el alquiler de video bajo demanda, la automatización de hogar que puede ser el acceso a distintos equipos del hogar de manera remota, y así como estos servicios podemos buscar nuevos tipos de servicios que pueden hacer uso de la red BPL.

Por último se encuentra el servicio de telefonía fija que, por sus características especiales tiene un tratamiento diferenciado y requiere de una licencia o concesión específica de operador de telefonía fija local.

## **5.2 Intervención en Subestaciones de Transmisión**

Las subestaciones de transmisión (SET) son una parte muy importante de las redes de distribución debido a la gran cantidad de clientes que se atienden desde cada una de ellas. Debido a esto, la seguridad de las operaciones que se realizan en una SET es muy crítica teniendo en cuenta también que las tensiones que se manejan en una SET son de 220 KV ó 60 KV en la parte de AT y de 22.9 KV ó 10 KV en la parte de MT. Además, dada la gran cantidad de clientes que se atienden desde la SET las corrientes en MT son elevadas.

Todas las consideraciones anteriores hacen que sea muy riesgosa la instalación de los equipos BPL en las SET por lo que debe minimizarse la necesidad de instalar cabeceras de celda BPL en las SET. Además, las SET no atienden directamente a clientes en BT por lo que instalar una cabecera en la SET requeriría de un enlace BPL adicional en MT sin atender a ningún cliente en BT. También, por lo general los primeros tramos de los alimentadores que salen de las SET son muy largos por lo que requieren de un repetidor que, como hemos visto, no es económico utilizar por lo que debe evitarse. Solo en circunstancias muy especiales, como cuando las facilidades del proveedor de la red WAN restringen la instalación del punto de interconexión de la red WAN a la celda BPL de tal manera de que este debe instalarse en la SET, debe optarse por esta opción.

Para la instalación de los equipos en la SET, debe capacitarse al personal eléctrico para que sean estos quienes instalen los equipos acopladores. Dadas las altas corrientes que fluyen por las barras de MT de la SET deben medirse estas y utilizarse el acoplador adecuado. Por lo general, el acoplador que se utilice debe ser uno del tipo capacitivo que se debe instalar preferentemente a la salida del alimentador que deseamos interconectar.

El acoplador debe instalarse en un costado de la celda sobre una base que lo soporte y debe aterrarse adecuadamente. Dado que la instalación del acoplador requiere de la desconexión del alimentador con el consecuente perjuicio económico por la interrupción del servicio de energía eléctrica, es preferible esperar a que se realice algún mantenimiento programado en el alimentador para realizar la instalación sin requerir de una interrupción específica.

Los equipos BPL deben encontrarse en una caja que se encuentre alejada de las barras de MT y que no obstaculice el acceso a las barras ni a la celda en que se encuentra instalado el acoplador capacitivo. El personal que instala y configura los equipos BPL debe contar con

los cursos sobre seguridad eléctrica y sobre manejo y operaciones con redes eléctricas de AT y MT de tal manera que les permita realizar sus labores dentro de las instalaciones de la SET con las precauciones apropiadas para evitar accidentes tanto durante la instalación como cuando se requiere de mantenimiento y configuraciones adicionales en los equipos BPL.

### **5.3 Intervención en Cables de Media Tensión**

Las intervenciones en los cables de MT se realizan tanto en la SET como en las SED. Sin embargo, hemos diferenciado el tema de los accesos en la SET y las SED ya que los ambientes en los que se realizan las instalaciones son totalmente diferentes. En este caso en particular, estamos enfocándonos en las intervenciones que se realizan en los cables de MT cuando se requiere de la instalación de repetidores intermedios en MT.

Como hemos indicado en capítulos anteriores, la instalación de repetidores intermedios en MT debe evitarse dado que, al estar los cables directamente enterrados en el subsuelo, los pasos necesarios para instalar el equipo repetidor son muy costosos. Sin embargo, para el caso de las redes aéreas, no se tiene este problema reduciéndose los problemas a la alimentación en BT que requiere el repetidor para operar.

#### **5.3.1 Intervención en Cables de Media Tensión Subterráneos**

En el caso de que no quede otra alternativa más económica que la instalación de un repetidor en un cable de MT subterráneo, en principio debe ubicarse un punto dentro de la zona de enlace entre la estación que emite la señal BPL y el cable de MT que cuente con las condiciones adecuadas para la instalación de un buzón, en el que irán los equipos BPL y el acoplador requerido. Además, debe ser factible llevar una conexión en BT hasta la instalación para alimentar a los equipos BPL.

El buzón debe tener las dimensiones adecuadas para albergar a todos los equipos y debe estar ubicado de tal manera que el cable de MT sea accesible a los equipos BPL. En estos casos, debe utilizarse el acoplador inductivo ya que con esto evitaríamos el tener que realizar un empalme en el cable para la instalación de un acoplador capacitivo.

La instalación del buzón y del acoplador debe realizarla personal de la empresa eléctrica de acuerdo a las instrucciones dadas por el personal encargado de la implementación de la red BPL.

#### **5.3.2 Intervención en Cables de Media Tensión Aéreos**

Cuando se requiera de la instalación de un repetidor BPL en un alimentador con cables aéreos, se deberá identificar al poste más extremo que cuenta con cobertura de la señal

BPL y, además, cuenta con las facilidades necesarias para poder alimentar a los equipos BPL en BT.

En este caso debe instalarse un acoplador capacitivo en el conductor desnudo de la forma en que se observa en la figura 5.3, en dicha figura se observa la forma de instalación del acoplador capacitivo aéreo. La instalación se realiza utilizando una pértiga aislante para mantenerse alejado de las líneas eléctricas y evitar los arcos eléctricos.



**Fig. 5.3** Instalación de un acoplador capacitivo aéreo

La instalación del acoplador en un trabajo que se realiza con tensión, es decir, no es necesario desconectar la línea en la que se va a instalar el acoplador. Debido a esto es necesario tener en cuenta una serie de medidas para evitar problemas durante la instalación. Las medidas son:

- Una vez determinados los puntos de inyección de la señal BPL, se ha de estudiar la topología del apoyo o poste, y determinar cómo se va a realizar la bajada de las conexiones del acoplador. Se ha de tener en cuenta que los cables de señal y de tierra procedentes del acoplador están referenciados a tierra, por lo que no podrán aproximarse a elementos de MT del poste (conexiones de transformador, seccionadores, pararrayos,...). En caso de no ser posible la instalación sobre el cable, habrá de instalarse sobre la cruceta
- La preparación de todas las conexiones del acoplador se debe realizar antes de su instalación. Básicamente son la conexión a tierra y el cable coaxial que va al equipo BPL. Se han de calcular las longitudes adecuadas de tal manera que se tenga la menor longitud posible.

- Antes de instalar el acoplador se debe preparar el cable eléctrico limpiándolo o quitándole la funda aislante en el caso de que la tenga. La polución depositada sobre el cable puede causar una mala conexión que provoque pérdidas de señal.
- Se debe conectar la tierra del acoplador a la tierra del apoyo o poste sobre el que se vaya a realizar la instalación. Esta conexión debe ser de calidad ya que de ello depende no solo la seguridad de la instalación sino también la calidad del acoplamiento.
- Con el cable de tierra conectado se procede a la conexión del acoplador a la línea eléctrica utilizando la pértiga aislante tal como se muestra en la figura 5.3. El uso de la pértiga es indispensable por lo que debe utilizarse aún cuando se utilice una cesta aislada para elevar al personal hasta la línea. Se debe tener en cuenta que el cable de tierra conectado al equipo hace que un punto de tierra y otro de tensión se encuentren muy próximos y ambos al alcance del instalador.

#### **5.4 Intervención en Subestaciones de Distribución**

Las intervenciones en las SED son las tareas que más se realizan durante la implementación, operación y mantenimiento de la red BPL por lo que deben establecerse los procedimientos adecuados para que dichas intervenciones se realicen por personal bien capacitado y con los actividades previamente establecidas para una intervención segura en las instalaciones eléctricas.

Para establecer los procedimientos se debe tener en cuenta tanto el tipo de SED como el acoplador que se va a utilizar.

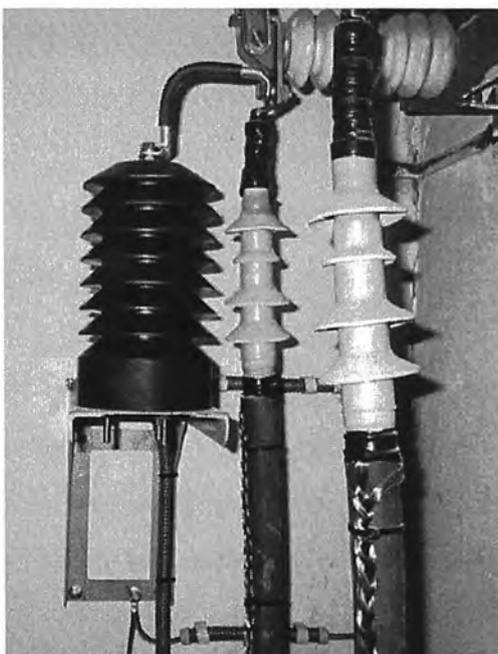
##### **5.4.1 Intervención en SED Convencional**

La SED convencional es una SED de gran capacidad por lo que ocupan una sala de construcción noble en la que se encuentran los equipos eléctricos. El acceso a las SED es restringido y cuentan con una puerta con cerradura, solo el personal técnico autorizado cuenta con los mecanismos de acceso a las SED.

Los equipos BPL deben instalarse en un lugar que minimice las obstrucciones a los equipos eléctricos que se encuentran en la SED. Para una adecuada protección y aislamiento de los equipos BPL con respecto a los demás equipos de la SED, se debe utilizar una caja metálica para instalar los equipos BPL dentro de ella, esta caja puede ir adherida a una de las paredes de la SED y debe estar cercana a la zona en la que se instalará el acoplador.

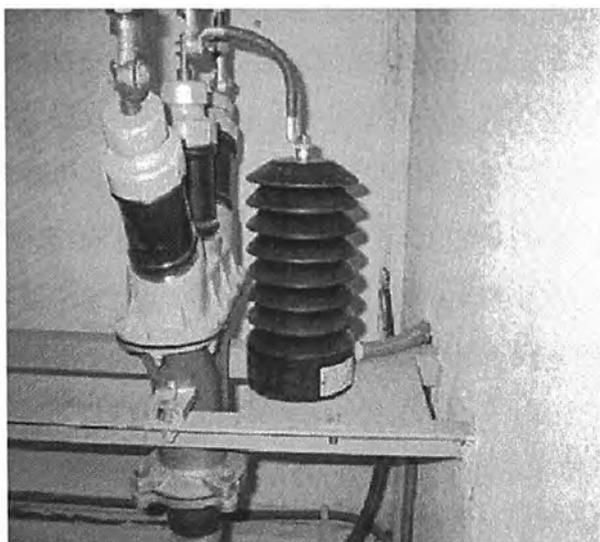
Como hemos dicho anteriormente, se debe preferir la instalación de un acoplador inductivo a un capacitivo por tema de la facilidad de instalación y la posibilidad de poder instalar el acoplador sin necesidad de interrumpir el servicio de energía eléctrica.

En los casos que se requiera la instalación del acoplador capacitivo, esta debe realizarse en una zona que sea adecuada y que no interfiera con los equipos eléctricos. La figura 5.4 muestra la instalación de un acoplador capacitivo dentro de una SED convencional. En este caso se ha optado por colocar el acoplador sobre una base con acceso cercano a los cables de MT.



**Fig. 5.4** Instalación de acoplador capacitivo en SED Convencional

La figura 5.5 muestra otra forma de instalación, en este caso se ha optado por colocar el acoplador sobre una base y aprovechar la salida de las terminaciones de un cable de aceite.



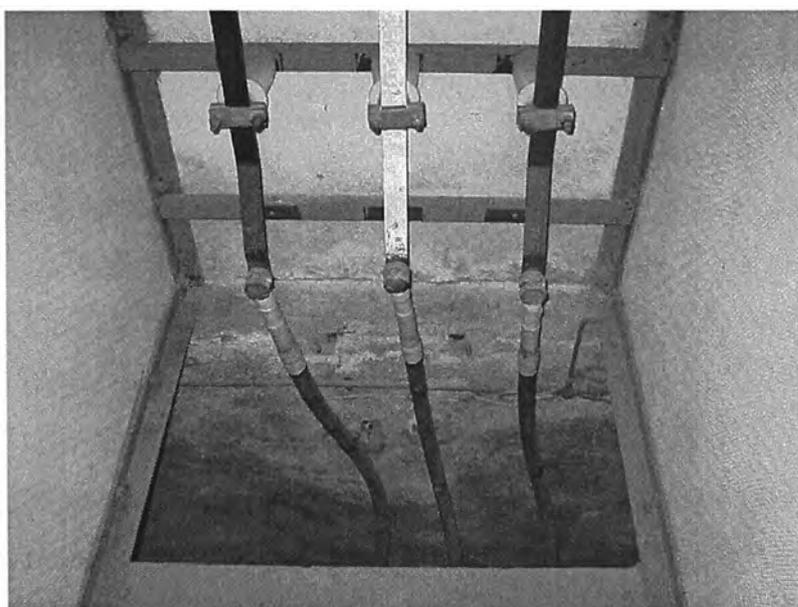
**Fig. 5.5** Instalación de un acoplador capacitivo en terminación cable aceite

Se observa tanto en la figura 5.4 como en la figura 5.5 que se aprovecha las terminaciones del cable para instalar el cable que inyecta la señal BPL de tal manera que se asegura con el mismo perno de la terminación.

Por otro lado, al colocar los equipos BPL en una caja que se encuentra separada de los equipos eléctricos se asegura que el personal que opera la red BPL solo se focalice en dicha caja para sus actividades. Sin embargo, por seguridad de la red eléctrica, todos los accesos que se realicen a la SED deben ser en compañía de personal técnico eléctrico calificado.

Para el caso de los acopladores inductivo, se debe verificar si se tienen las condiciones requeridas para instalar el acoplador inductivo, es decir, una zona de cable MT en donde se pueda instalar sin problemas. La instalación del acoplador inductivo debe realizarla el personal de la empresa eléctrica verificando que el cable de tierra también pase por dentro del acoplador y en un punto que no tenga un aterramiento posterior a lo largo del cable.

La figura 5.6 muestra la zona de una celda en el interior de un SED convencional con cables de MT en los que es factible instalar un acoplador inductivo. Dado que la conexión del acoplador inductivo puede realizarse con tensión, es importante que el trabajo sea realizado con los equipos de protección que protejan al los instaladores en el caso de que se acerquen a la zona que no tiene aislamiento. Sin embargo, en los casos que tenga riesgo de contacto con los conductores desnudos, es preferible coordinar con la empresa eléctrica para que la instalación se realice sin tensión.



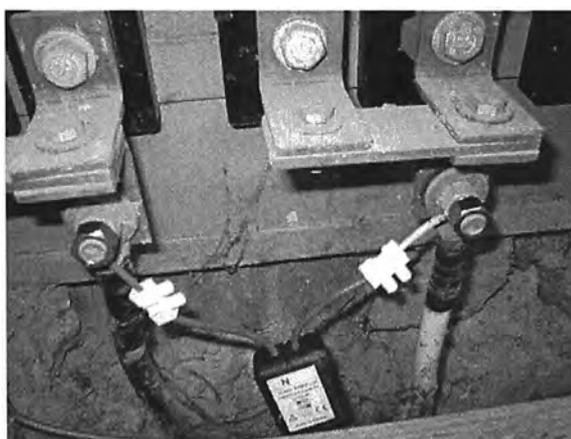
**Fig. 5.6** Celda de SED Convencional

La figura 5.7 muestra la zona de de una celda en el interior de otra SED convencional en la que no es factible instalar el acoplador inductivo debido a la falta de espacio entre los cables de MT.



**Fig. 5.7** Celda de SED Convencional

En el caso de la parte de BT, se instala un acoplador capacitivo sujeto a las terminaciones de las barras de energía de la SED. La figura 5.8 muestra un ejemplo de cómo sería la instalación de un acoplador capacitivo a las barras de BT de la SED, se puede observar el uso de extensiones de cobre para asegurar al acoplador con pernos adecuados a sus dimensiones.

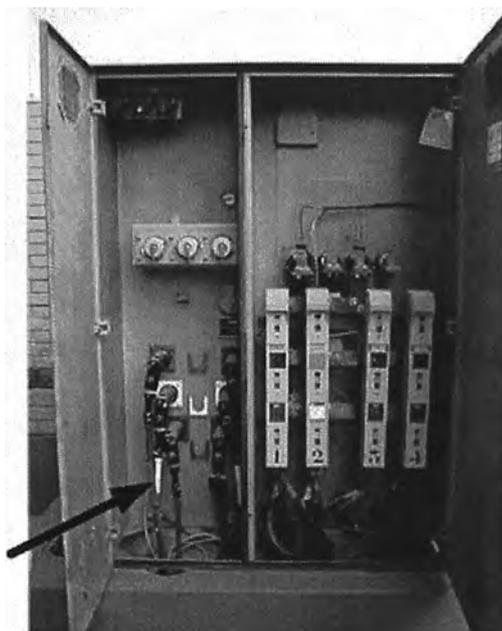


**Fig. 5.8** Instalación de Acoplador Capacitivo en parte BT de SED

#### **5.4.2 Intervención en SED Compacta**

La SED compacta al ser de menor capacidad que la SED convencional y por la forma de las conexiones de los cables MT, facilita la instalación de acopladores inductivos. La

figura 5.9 muestra el interior de una SED compacta e identifica, mediante la flecha negra, la zona en la que puede colocarse el acoplador inductivo.



**Fig. 5.9** Interior de una SED Compacta

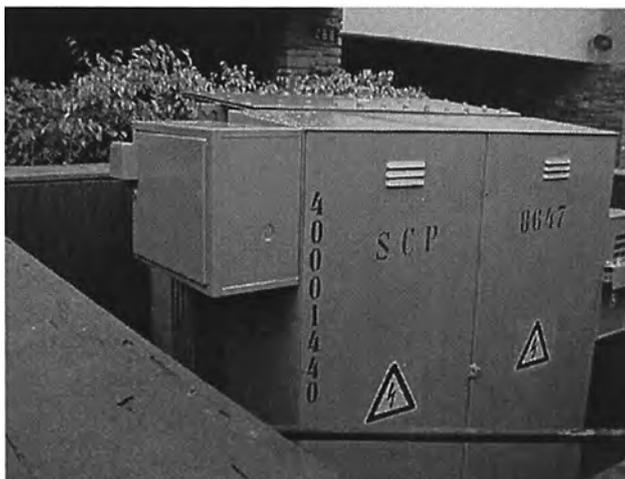
La forma de conexión es similar a la que se realiza en una SED convencional pero en este caso, dado que todos los elementos de la parte MT de la SED están protegidos con aislamiento la instalación no presenta riesgo de contacto con los cables de MT. Por lo tanto, en estos casos, la instalación siempre será sin necesidad de sacar fuera de servicio a la SED.

La figura 5.10 muestra un acoplador capacitivo ya instalado en una SED compacta. Se observa que el cable de tierra (cable amarillo) también pasa por dentro del acoplador, inductivo para eliminar el efecto de las corrientes de fuga.



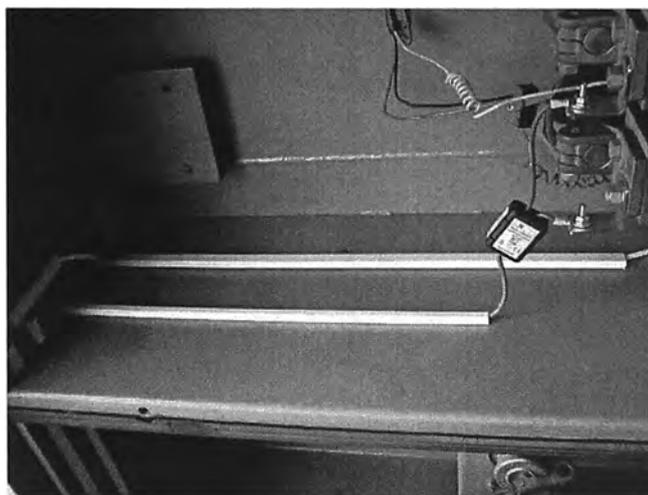
**Fig. 5.10** SED Compacta con Acoplador Inductivo

Para el caso de los equipos BPL, se puede adosar una caja metálica en el costado de la parte MT de la SED con orificios de comunicación entre la caja metálica y el interior de la SED para la comunicación entre los equipos BPL y los acopladores y también para alimentar a los equipos BPL desde la parte de BT de la SED. La figura 5.11 muestra una SED compacta con la caja metálica adosada.



**Fig. 5.11** SED Compacta con Caja Metálica

En el caso de la parte de BT, se instala un acoplador capacitivo sujeto a las terminaciones de las barras de energía de la SED. La figura 5.12 muestra la instalación de un acoplador capacitivo a las barras de BT de la SED, se puede observar el uso de extensiones de cobre para asegurar al acoplador con pernos adecuados a sus dimensiones.



**Fig. 5.12** Instalación de Acoplador Capacitivo en parte BT de SED

### 5.4.3 Intervención en SED Aérea

La SED aérea es una SED que se encuentra a la intemperie y a una altura considerable. En este caso se utilizan los acopladores capacitivos especialmente diseñados para su uso en exteriores cuya forma de instalación es similar a la presentada cuando se vio la intervención de los cables eléctricos aéreos.

Dado que la SED aérea se instala sobre postes, se deben aprovechar estos postes para la instalación de la caja metálica con los equipos BPL que se requieran. Además, la parte de baja de la SED proveerá la energía eléctrica que requieren los equipos BPL para operar. La caja metálica debe colocarse debajo de la SED de tal manera que el acceso a los equipos BPL pueda realizarse sin necesidad de entrar en contacto con los elementos eléctricos de la SED. De esta manera, la operación y mantenimiento de los equipos BPL puede realizarse sin requerir de personal técnico eléctrico.

### **5.5 Intervención en Cables de BT**

En el caso de BT, las instalaciones son mucho más simples, no solo por la menor tensión sino también porque se tiene acceso al cable de BT a través de las cajas de medidores que, a su vez, sirven para colocar los equipos BPL que se requieran.

La intervención en los cables se realiza básicamente para la instalación de equipos BPL repetidores que permitan ampliar la cobertura de la señal BPL.

En el caso de repetidores de frecuencia, debido a su tamaño, se puede instalar una caja de medidor adicional para que contenga los equipos BPL. Esta caja debe tener comunicación con cualquier caja de un medidor eléctrico para poder inyectar la señal BPL.

La figura 5.13 muestra una caja de medidor con un equipo repetidor. Se observa que dicha caja está colocada al costado de una caja de un medidor eléctrico y se encuentran comunicados para llevar la señal BPL hacia la red eléctrica.



**Fig. 5.13** Caja de Medidor con Equipo BPL

En el caso de repetidores de tiempo, dado que su tamaño es inferior al tamaño de los repetidores de frecuencia puede instalarse dentro de la caja de medidor que también contiene al medidor. En este caso, se tendría que coordinar con la empresa eléctrica cada vez que se requiera tener acceso al repetidor.

La figura 5.14 muestra la caja de un medidor con el medidor y un repetidor BPL dentro de la misma caja. Se observa que el repetidor no interfiere con el acceso al medidor eléctrico.



**Fig. 5.14** Caja de Medidor con Medidor Eléctrico y Equipo BPL

Aún cuando se está trabajando en BT, la instalación de los acopladores debe realizarla personal calificado de la empresa eléctrica. La instalación es sencilla, en el caso del acoplador capacitivo se puede asegurar el acoplador a los terminales de entrada del medidor eléctrico. En el caso del acoplador inductivo se coloca el cable con la señal BPL junto al cable eléctrico y se rodea a ambos con el acoplador para que este induzca la señal.

### **5.6 Intervención en Medidores de Clientes**

Las intervenciones en los medidores de los clientes se realizan cuando se tiene un banco de medidores, se ha colocado un repetidor para el banco de medidores y, por lo tanto, se puede enviar la señal BPL directamente a cada uno de los circuitos de las residencias inyectando la señal directamente al cable eléctrico después del medidor de energía.

En este caso se debe verificar que exista comunicación entre todas las cajas de los medidores para poder llevar el cable con la señal BPL a cada uno de los suministros.

En este caso, el personal técnico de la empresa eléctrica debe estar capacitado para instalar adecuadamente la configuración del acoplador inductivo con el filtro bloqueador para que la señal no retorne a la red eléctrica. La instalación es bastante simple ya que el filtro se asegura a las terminaciones del cable que llega al medidor eléctrico y el acoplador inductivo se instala en un cable de la parte que va hacia a la residencia conjuntamente con el cable que lleva la señal BPL.

La figura 5.15 muestra una caja de medidor de energía eléctrica con el filtro bloqueador instalado y el acoplador inductivo que se encuentra en la parte baja de la derecha del medidor de energía.



**Fig. 5.15** Caja de Medidor de Cliente con Filtro y Acoplador Inductivo

## CONCLUSIONES

Habiendo revisado los diferentes componentes de una red BPL así como las características de las redes de distribución de energía eléctrica en Lima así como los resultados de pruebas piloto, podemos obtener las siguientes conclusiones:

1. La implementación de una red BPL en las redes de distribución de energía eléctrica de Lima es factible. Los resultados obtenidos durante la prueba piloto demuestran que se pueden obtener velocidades adecuadas para brindar un servicio eficiente y de calidad.
2. El uso de las redes de media tensión como parte de la red BPL ha reducido los costos de implementación de las redes BPL logrando una mayor cobertura con una menor cantidad de accesos a la red WAN que provee los servicios de telecomunicaciones. Anteriormente solo se utilizaba la red de baja tensión para la implementación de las redes BPL esto limitaba la cobertura a una sola subestación de distribución, con el uso de las redes de media tensión y la implementación de celdas BPL que cubren varias subestaciones de distribución se tiene una mayor cobertura de clientes a los que se atiende a través de una sola conexión a la red WAN.
3. La falta de estándares en el desarrollo de los equipos BPL está restringiendo el desarrollo de las redes BPL. Al no tener estándares mundiales para el desarrollo de equipos BPL cada solución es propietaria por lo que las empresas que deseen implementar una red BPL deben decidirse por una solución específica. Debido a esto, cada solución se desarrolla para un determinado mercado y se desaprovecha las economías de escala que abaratarían los costos de los equipos BPL y generarían

un mayor mercado de empresas dispuestas a invertir en la implementación de este tipo de redes.

4. Las características de las redes de distribución de energía eléctrica en Lima son adecuadas para la instalación de los distintos tipos de equipos componentes de una solución BPL. Analizando cada uno de los elementos principales de la red eléctrica se ha visto que, en cada uno de ellos, es posible la instalación adecuada y segura de los distintos componentes de las redes BPL requeridos para la implementación de la red BPL.
5. La operación y mantenimiento de la red BPL puede definirse de manera tal que se minimice la interacción con los equipos eléctricos de la red de distribución. Con la focalización de los equipos BPL en determinadas zonas de cada uno de los componentes eléctricos en los que se requiere la instalación de equipos BPL, el personal técnico que opera los equipos BPL puede intervenir en estos equipos de manera segura minimizando los riesgos de accidentes por contacto con equipos eléctricos. El personal que opera los equipos BPL debe contar con la capacitación requerida para ingresar a ambientes que albergan equipos eléctricos de AT y MT.
6. Las redes BPL son una alternativa para el acceso a los clientes finales por parte de las empresas de telecomunicaciones que carecen de red de última milla. Con la implementación de la red BPL en la red de distribución de energía eléctrica, los proveedores de servicios de telecomunicaciones pueden acceder a todos los clientes que cuentan con servicio eléctrico, cuya penetración es mayor que las redes de telefonía fija, para ofrecerles sus servicios de telecomunicaciones sin necesidad de implementar ellos mismos una red de última milla.
7. El marco legal de licenciamiento para prestar servicios de telecomunicaciones facilita los distintos modelos con los que se puede implementar un negocio utilizando una red BPL. Todos los modelos de negocio que pueden implementarse utilizando la red BPL cuentan con los licenciamientos apropiados para su implementación.
8. Las señales que emiten los equipos BPL no afectan la calidad del suministro de energía eléctrica. Las mediciones de las distintas características de la señal eléctrica con equipos especialmente diseñados para verificar la calidad de la señal eléctrica dieron como resultado que la señal eléctrica no es afectada por la inyección de la señal BPL.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Halid Hrasnica, Abdelfateh Haidine y Ralph Lehnert “Broadband Powerline Communications – Network Design”, John Wiley & Sons Ltd. 2004 Edition.
2. AUTH, Endesa, Enditel, Iberdrola, ONI, Robotiker y PPC “D11 – Reference Guide on Implementation, Installation, Management and Operations of PLC Distribution Network”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. November 2004.
3. UPM, URL, TUD, Iberdrola, LINZ Strom, ONI, PPC y Amperion “D13 – Reference Guide on the design of an integrated PLC Network, including the adaptations to allow the carrier’s carrier model”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. December 2007.
4. ONI, LINZ Strom, Iberdrola, SEPC y CTI “D14: PLC Field Trials Deployment and installation issues”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. December 2007.
5. DS2, EDF, Iberdrola, Main.net y PPC “D45 – Specification of PLC System Requirements”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. June 2004.
6. Ascom, EPFL, PPC, Main.net y EDF “D48 – Specification of common MIB for all PLC Equipment”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. June 2004.
7. PPC, Iberdrola, DS2 y EDF “D51 – Specification of Requirements of PLC Equipment”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. November 2004.
8. Iberdrola y DS2 “D51 – White Paper: Opera Technology”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. July 2007.

9. Ascom, Eichhoff y DIMAT “D2 – Report of installation process of MV and LV couplers, filters and line conditioning devices – Eichhoff’s MV Clampable Coupler: Installation Instructions”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. July 2005.
10. Ascom, Eichhoff y DIMAT “D2 – Report of installation process of MV and LV couplers, filters and line conditioning devices – DIMAT’s MV Capacitive Coupler: Installation Instructions”, OPERA. IST Integrated Project No 507667. Funded by EC. July 2005.
11. Ileva “Transformer Equipment System – Data Sheet”.
12. Ileva “ILV2000 – Data Sheet”.
13. Ileva “ILV2010 – Data Sheet”.
14. Ileva “ILV2110/2120 Data Sheet”.
15. Ileva “ILV2100 – Data Sheet”.
16. Ileva “PM1039 ILV201 Product Sheet Rev. R1A”.
17. Ileva “ILV211 Data Sheet ENG PM1080/1 A”
18. Ileva “Power Line Communications CC1 Compact – 1-phase Low Voltage Capacitive Coupler – Data Sheet”.
19. Ileva “CC3 3-Phase Coupler Data Sheet ENG PM1053/1 B”.
20. Ileva “LV Inductive Couplers Data Sheet ENG PM1051\_1 B”.
21. Artech “OVERCAP – Data Sheet”. 2007.
22. Artech “OVERCAP – Manual de Instalación”.
23. Artech “UNDERCAP – Data Sheet”. 2007.
24. Artech “UNDERCAP – Manual de Instalación”.
25. Artech “UNIC – Data Sheet”. 2007.
26. Artech “UNIC – Manual de Instalación”.
27. DIMAT “CAMT – Product Overview”.
28. DIMAT “CAMT – Data Sheet”.
29. DIMAT “Product Guide”. 2007.
30. DS2 “DSS900X Power Line Communications Chipsets – Data Sheet”.
31. Premo “Catálogo de Equipos”.