

**TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA: COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LA
RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.**

CARLOS JESÚS PEÑALOZA JULIO

ARNOLD DOMINGUEZ CRISMATT

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS – BOLÍVAR

2004

**TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA: COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LA
RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.**

CARLOS JESÚS PEÑALOZA JULIO

ARNOLD DOMINGUEZ CRISMATT

Monografía presentada para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director

Enrique Vanegas

Ing. Electricista, Especialista en Automatización Industrial

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS – BOLÍVAR

2004

Cartagena de Indias, 3 de Diciembre del 2004.

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Comité de evaluación de Proyectos.

Programa de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica.

Ciudad.

Respetados Señores:

Con el mayor agrado me dirijo a ustedes para poner a consideración el trabajo final de grado titulado **“TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA: COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.”**

El cual fue llevado a cabo por los estudiantes **Carlos Jesús Peñaloza Julio** y **Arnold Domínguez Crismatt**, bajo mi orientación como asesor.

Agradeciendo su amable atención.

Atentamente,

Enrique Vanegas Casadiego.

Ingeniero Electricista.

Cartagena de Indias, 3 de Diciembre del 2004.

Señores:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Comité de evaluación de Proyectos.

Programa de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Mecatrónica.

Ciudad.

De la manera más cordial nos permitimos presentar para su estudio, consideración y aprobación, de nuestra Monografía “**TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA: COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.**”, para aprobar el Minor en Telecomunicaciones.

Agradecemos de antemano la atención prestada.

Atentamente,

Carlos Jesús Peñaloza Julio.

C.C. 73.195.764 de Cartagena.

Arnold Domínguez Crismatt.

C.C. 73.183.690 de Cartagena.

Cartagena de Indias,3 de Diciembre del 2004.

AUTORIZACIÓN

Nosotros Carlos Jesús Peñaloza Julio y Arnold Domínguez Crismatt, identificados con la cedula de ciudadanía 73.195.764 de Cartagena y 73.183.690 de Cartagena respectivamente, autorizamos a la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**, para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catálogo online de la Biblioteca.

Atentamente,

Carlos Jesús Peñaloza Julio.
C.C. 73.195.764 de Cartagena.

Arnold Domínguez Crismatt.
C.C. 73.183.690 de Cartagena.

Nota de aceptación

Firma de presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Ciudad y Fecha

**Muy dentro de nosotros vive el escondido Anhelo de realizar algo que
llene nuestra vida de satisfacción y felicidad...**

**... A mi papa Carlos Enrique (Q.E.P.D), a mi mama Francia Helena, y a
mis profesores muchas gracias por que me educaron para el camino, a
mis hermanos: Lizeth y Carlos, a mi cuñado Ramiro Espeleta, a mi
abuela Francia Madrid, a mi novia Ivonne Ramos que me apoyaron
incondicionalmente y por su intermedio a todas esas personas que me
apoyaron para lograr esta meta que con la voluntad de DIOS hoy he
alcanzado.**

Arnold Domínguez Crismatt.

A Dios por darme a mi madre Felicia y mi padre Manuel Dionisio

A mi madre y mi padre por darme siempre

el apoyo y cariño incondicional

A mis hermanas y hermano por darme el calor de una familia

y a ti Maria Alejandra por tu amor y paciencia.

Carlos Jesús Peñaloza Julio.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN	9
1. Tecnología PLC.	10
1.1 ¿Que es PLC?	10
1.2 Características, ventajas y desventajas.	11
1.3 Modulación.	12
1.4 Comparación con otras tecnologías.	15
2. Líneas de distribución eléctrica.	17
2.1 Tipos de líneas de transmisión.	17
2.1.1 Conductor paralelo.	22
2.1.2 Cables gemelos.	23
2.1.3 Cable de par trenzado.	23
2.1.4 Par de cables protegido con armadura.	24
2.1.5 Líneas de transmisión coaxial o concéntrica.	25
2.2 Balunes.	27
2.3 Longitud eléctrica de una línea de transmisión.	28
2.4 Perdidas en la línea de transmisión.	29
2.4.1 Pérdida del conductor.	29
2.4.2 Pérdida por radiación.	31

2.4.3	Pérdida por calentamiento del dieléctrico.	32
2.4.4	Pérdida por acoplamiento.	32
2.4.5	Corona (descargas luminosas).	32
2.5	Ondas Incidentes Y Reflejadas.	33
2.6	Coeficiente de reflexión.	34
3.	Topología de la Red Power Line Communications.	34
3.1	S – Nodo en la subestación.	34
3.2	X – Nodo del transformador.	35
3.3	GW – Nodo en el cliente.	36
3.4	ByPass del transformador.	36
4.	Suciedad electromagnética de los cables.	38
4.1	Solución: Unidad de Acondicionamiento.	39
4.1.1	Funcionamiento.	40
5.	Protocolo de transmisión PLC (X10).	42
5.1	Aspectos Generales.	42
5.2	Dispositivos X10.	44
5.3	Limitaciones de X10.	45
5.3.1	Velocidad de transmisión.	45
5.3.2	Identificación, corrección y recuperación ante errores.	46
6.	Caso Endesa PLC.	47
6.1	Quien es Endesa.	47
6.2	Organización de la Red PLC.	47
7.	CONCLUSIONES	52

GLOSARIO	55
BIBLIOGRAFIA	57
Anexos	

ABSTRACT

The power-line communications (PLC) has been applied as a data transfer method in both public electricity distribution networks and indoor distribution networks. The profile of these applications has been different. The devices developed for domestic use are mainly designed for the purpose of controlling electric devices at home. For example, the current and most common functions are: control of lights, fire alarming system and heating controlling. The systems and devices used by distribution companies are mainly meant for automatic meter reading (AMR), tariff changing, energy consumption monitoring and load management applications. During the last years the conception of providing broadband Internet access through a low voltage distribution network has aroused a hot discussion. The characteristics of power-line channels and the applicability of different digital modulation techniques have been widely researched. Due to technical and regulatory problems, the idea of providing Internet services through the distribution network was at least partly buried. Despite of this drawback, the power-line channel is still an appropriate channel for to control devices and transfer data that do not require a wide bandwidth or critical data transfer. An example for this kind of application is data transfer related to the condition monitoring of industrial low voltage electric motors.

INTRODUCCIÓN

Hablar de Power Line Communication (PLC) sin referirnos a su historia es una labor complicada. PLC es una realidad desde medianos del siglo XX, donde la tecnología comenzó a aplicarse a los entornos de las comunicaciones de las empresas eléctricas sobre las líneas de alta y muy alta tensión, como medio de transportar muy bajas velocidades (bps).

La evolución de la tecnología hacia entornos más próximos al usuario final tiene su expresión en las comunicaciones PLC de banda estrecha en los entornos industriales, donde se ofrecen capacidades de establecimiento de trayectos de comunicación de baja velocidad sobre líneas eléctricas para el control de elementos que precisan comunicarse entre si a baja velocidad (Kbps).

El PLC tal y como lo entendemos hoy y en este trabajo, abarca las comunicaciones a alta velocidad (Mbps) en los entornos fundamentalmente domésticos.

La realidad tecnológica detrás de PLC ha sufrido claras evoluciones a lo largo de su historia. El estado actual es que esta tecnología cuenta con modulaciones de robustez variable como es la OFDM para adaptarse a las condiciones cambiantes del cable eléctrico, velocidades de decenas de Mbps y esquemas de compartición de recursos y organización de red cada vez más próximos a los mecanismos flexibles del entorno de Internet.

1. Tecnología PLC

PLC (Power Line Communication) es una tecnología que ha creado una gran expectativa últimamente. Esto es debido a que mucha gente tiene puesta la mirada en ella como contrapunto a ADSL o cable para la recepción de datos en cualquier punto ya que la electricidad llega a casi todos los lugares. Aunque mucho se habla sobre ella existe un gran desconocimiento y también muchas ideas erróneas, esto es debido a que la tecnología es relativamente nueva y poca gente a tenido acceso a la misma.

1.1 ¿Que es PLC?

La abreviatura PLC deriva de las palabras **P**ower **L**ine **C**arrier. En los años recientes se empezó ha hablar de **P**ower **L**ine **C**ommunication.

La tecnología Power Line Communications (PLC) es un método de transmisión de datos, videos y voz que toma como base el cableado eléctrico, transformando cualquiera de los toma corrientes de los que disponen empresas y hogares en proveedores de servicios de telefonía y puntos de conexión a Internet, al tiempo que permite formar una intranet doméstica. De este modo, la tecnología PLC elimina la necesidad de la existencia de líneas telefónicas para disfrutar de estos servicios, abriendo un mercado de grandes dimensiones.

1.2 Características.

Esta tecnología presenta características muy ventajosas, entre las cuales deben ser destacadas:

- Utilización de una infraestructura ya desplegada.
- Acceso a cualquier punto geográfico, gracias a que la red eléctrica ya está implantada.
- Instalación sencilla para el proveedor y para el usuario.
- Posibilidad de conexión permanente (24 horas al día).
- Utilización de frecuencias situadas en la banda 2-30 MHz, muy superior a las de uso industrial (50-60 Hz) de tal modo que no interfiera con el suministro eléctrico.

Además de estas características ciertamente positivas, las **ventajas** que ofrece frente al cable o ADSL consisten en la baja inversión por individuo (que supone un tercio de la necesaria en el caso de la tecnología HFC – cable-, sin incluir el costo del equipo) así como el hecho de que ante una gran carga de usuarios permita conseguir velocidades de más de 500 Kbps por usuario frente al 10% del caudal contratado que garantiza la ADSL.

Por otro lado, el uso de este tipo de tecnología implica ciertos **inconvenientes**, ya que la red eléctrica no fue concebida para transmitir datos, únicamente energía. Es por ello por lo que se han registrado interferencias y perturbaciones en otros servicios que ya existían. En este sentido es muy llamativo el caso de Gran Bretaña, donde la forma de los

toma corrientes les convertía en antenas que enviaban señales de radio aéreas con los datos de PLC, poniendo en peligro la privacidad de los individuos. Estos problemas, debidos al uso de prototipos de primera generación que empleaban mucha potencia de transmisión, están siendo investigados para lograr su solución.

Los requisitos para que un hogar o empresa pueda hacer uso de esta tecnología son varios, entre estos está el que debe tener a su disposición un módem PLC (permite tanto la transmisión de datos así como el servicio telefónico) que es conectado al equipo cabecera situado en el CT (Centro de Transformación) de la empresa eléctrica, y en caso necesario se utilizaría un repetidor (normalmente instalado en el cuarto de contadores del edificio en cuestión. Pueden tenerse conectados hasta 256 módems a este equipo cabecera.

1.3 Modulación.

La señal PLC va modulada entre 1,6 y 40 MHz dependiendo del sistema, actualmente no hay un estándar si no un grupo de sistemas diferentes e incompatibles entre sí, básicamente se usan 3 tipos de modulación:

- DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation). Puede operar con baja densidad de potencia espectral (PSD).
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Que usa un gran número de portadoras con anchos de banda muy estrechos.

- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Es una forma especial de modulación en banda estrecha.

Todos estos sistemas ocupan el espectro de HF (onda corta). En la figura 2 se muestra el espectro empleado por ASCOM que utiliza tres grupos de portadoras en cada sentido con una capacidad entre 0,75 Mbps y 1,5 Mbps cada una.

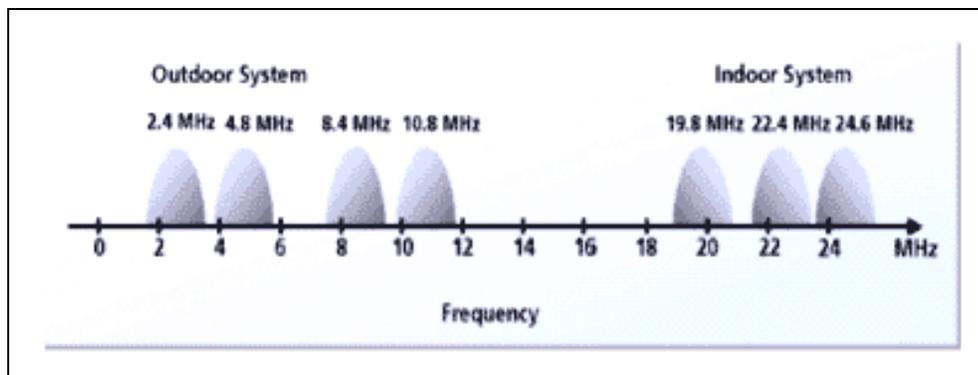


Figura 1 Sistema PLC, plan de bandas

La figura muestra el sistema con OFDM que también utiliza tres enlaces en cada sentido pero al hacerlo mediante un sistema multiportadora es más eficiente y flexible. Los fabricantes se diferencian según el número de portadoras empleado tenemos:

- Sistema de Codengy: 84 Portadoras, de 4,5 MHz a 21 MHz. Capacidad total máxima 14 Mbps.
- Sistema de DS2: 1280 portadoras hasta 30 MHz. Flujo de datos de 45 Mbps; 27 Mbps en bajada y 18 Mbps en subida.

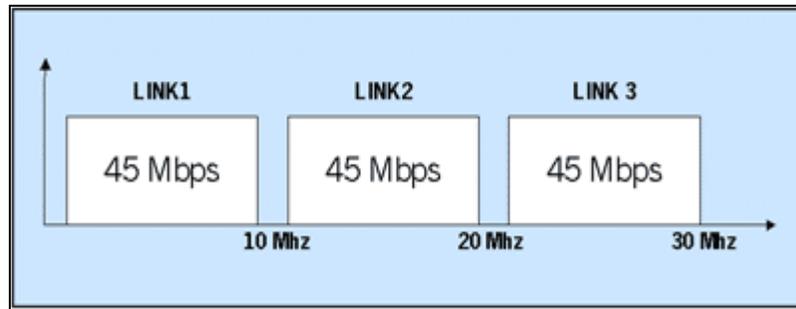


Figura 2 Sistema DS2

La principal ventaja de este sistema es que se puede adaptar fácilmente a los cambios en las condiciones de transmisión de la línea eléctrica y que se pueden utilizar filtros para proteger los servicios que puedan resultar interferidos.

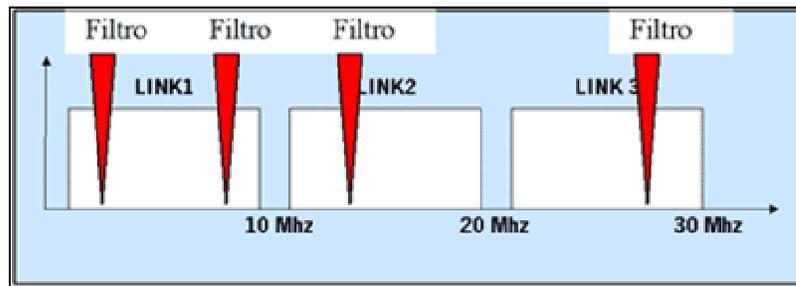


Figura 3 Sistema OFDM con filtros

La forma de implementar estos filtros es variada y en general los fabricantes hablan de un sistema de control de espectro (Spectral Density Control) diferente según el fabricante. La penalización por colocar filtros consiste en una disminución del ancho de banda máximo y velocidad binaria alcanzable por el sistema. La técnica de espectro disperso de OFDM distribuye los datos en un gran número de carriers que están espaciados entre sí en distintas

frecuencias precisas. Ese espaciado evita que los demoduladores vean frecuencias distintas a las suyas propias.

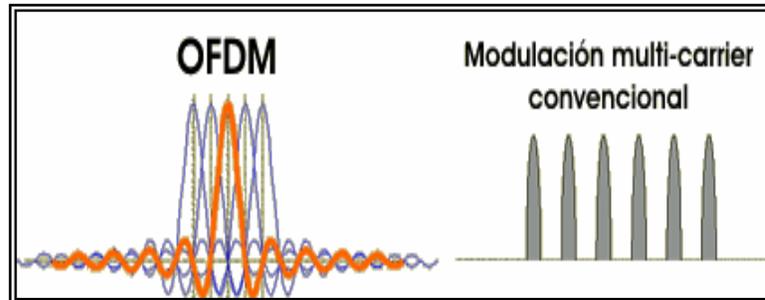


Figura 4 Traslapamiento del espectro.

1.4 Comparación con otras tecnologías.

La tabla siguiente muestra de una manera general la comparación entre las distintas velocidades de transmisión de acuerdo con la tecnología.

Tiempo de descarga de un archivo de 30 MB	
Modem de 56K:	71:24 min.
ISDN (64 kbit/s):	62:42 min.
Modem del cable (2mbit/s):	01:57 min.
ADSL (786 kbit/s):	05:12 min.
Power Line (2mbit/s):	01:57 min.
SDSL (2.3 mbit/s):	01:42 min.
Satélite (8 mbit/s):	00:29 min.
Radio (10mbit/s):	00:24 min.

Tabla 1 Comparación de velocidades de las diferentes tecnologías

Los protocolos de PLC representan una de las tecnologías más novedosas en el campo de la transmisión de datos y en la búsqueda de alternativas, tanto a los cables convencionales como a la fibra óptica. Mientras que inyectar los datos a las líneas eléctricas y su transporte no representa

realmente ningún problema técnico, el principal reto del PLC reside en la reducción de las interferencias electromagnéticas.

PLC puede denotarse como un nuevo servicio de banda ancha que usa la red eléctrica que generalmente está desprotegida y es un sistema de cableado heterogéneo. Parece ser apropiado en un ambiente al aire libre, PLC trabajaría en el rango de frecuencia entre 1 MHz y aproximadamente 10 MHz como acceso a la última milla y para el uso dentro de las casas en el rango de frecuencia entre 10 MHz y 30 MHz. Mientras se transmite señal a estas frecuencias encima de los cables desprotegidos, ocurrirá radiación debido a la falta de simetría, provocando interferencia electromagnética (EMI) sobre los servicios inalámbricos, radioaficionados y otros.

Por consiguiente, la asignación de frecuencia y radiación de las redes eléctricas son actualmente un asunto de regulación y ya se han dado sus pasos en esta dirección.

La siguiente tabla muestra el costo, las ventajas y desventajas de la tecnología Power Line Communication con respecto a las tecnologías más difundidas a nivel mundial.

TECNOLOGÍA	COSTO DEL SISTEMA	INSTALACIÓN DE CABLE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fibra Óptica	Elevado	Si	Máxima Calidad Red estable. Máximo ancho de banda.	Extremadamente caro. Cableado intensivo
ADSL	Elevado	No	Gran ancho de banda. Buena estabilidad Cableado sólo en algunos casos.	Muy dependiente de la calidad de la línea. Dificultad para redes locales.
Cable	Medio	Si	Buena estabilidad Gran ancho de banda	Calidad muy dependiente del número de usuarios Dificultad para redes locales
LMDS	Elevado	No	Fácil acceso Facilidad para redes locales Sin necesidad de cableado.	Aún en desarrollo Alto costo del equipamiento.
PLC	Bajo	No	Fácil acceso Fácil instalación de redes locales Sin necesidad de cableado.	Bajo prueba Dependiente del número de usuarios conectados al transformador.

Tabla 2 PLC Vs Otras Tecnologías.

2. Líneas de distribución eléctrica.

Para nuestra investigación es necesario que se comprenda muy bien todo lo relacionado con las líneas de transmisión, sus características y sus parámetros físicos y eléctricos.

2.1 Tipos de líneas de transmisión.

Las líneas de transmisión pueden clasificarse generalmente como balanceadas o desbalanceadas. Con líneas balanceadas de dos cables,

ambos conductores llevan una corriente; un conductor lleva la señal y el otro es el regreso. Este tipo de transmisión se llama transmisión de señal diferencial o balanceada. La señal que se propaga a lo largo del cable se mide como la diferencia potencial entre los dos cables. Ambos conductores, en una línea balanceada llevan la corriente de la señal, y las corrientes son iguales en magnitud con respecto a la tierra eléctrica pero viajan en direcciones opuestas. Las corrientes que fluyen en direcciones opuestas por un par de cables balanceados se les llaman *corrientes de circuito metálico*. Las corrientes que fluyen en las mismas direcciones se llaman *corrientes longitudinales*. Un par de cables balanceado tienen la ventaja que la mayoría de la interferencia por ruido (a veces llamada el voltaje de modo común) se induce igualmente en ambos cables, produciendo corrientes longitudinales que se cancelan en la carga. Cualquier par de cables puede operar en el modo balanceado siempre y cuando ninguno de los cables esté con el potencial a tierra. Esto incluye el cable coaxial que tiene dos conductores centrales y una cubierta metálica generalmente se conecta a tierra para evitar interferencia estática al penetrar a los conductores centrales.

Con una Línea de transmisión desbalanceada, un cable se encuentra en el potencial de tierra, mientras que el otro cable se encuentra en el potencial de la señal. Este tipo de transmisión se llama transmisión de señal desbalanceada o de terminación sencilla. Con la transmisión de señal desbalanceada, el cable de tierra también puede ser la referencia a otros cables que llevan señales. Si éste es el caso, el cable a tierra debe ir en

donde va cualquiera de los cables de señal. A veces esto crea un problema porque una longitud de cable tiene resistencia, inductancia, y capacitancia, por lo tanto, puede existir una pequeña diferencia de potencial, entre cualquiera de los dos puntos, en el cable de tierra. En consecuencia, el cable de tierra no es un punto de referencia perfecto y es capaz de inducir un ruido en él. Un cable coaxial estándar de dos conductores es una línea desbalanceada. El segundo cable es la cubierta, que generalmente se conecta a tierra para evitar interferencia estática al penetrar a los conductores centrales.

La siguiente figura muestra un sistema de transmisión balanceada. Los dos conductores de la línea de transmisión balanceada, llevan la misma corriente con respecto a la tierra eléctrica pero sus direcciones son opuestas.

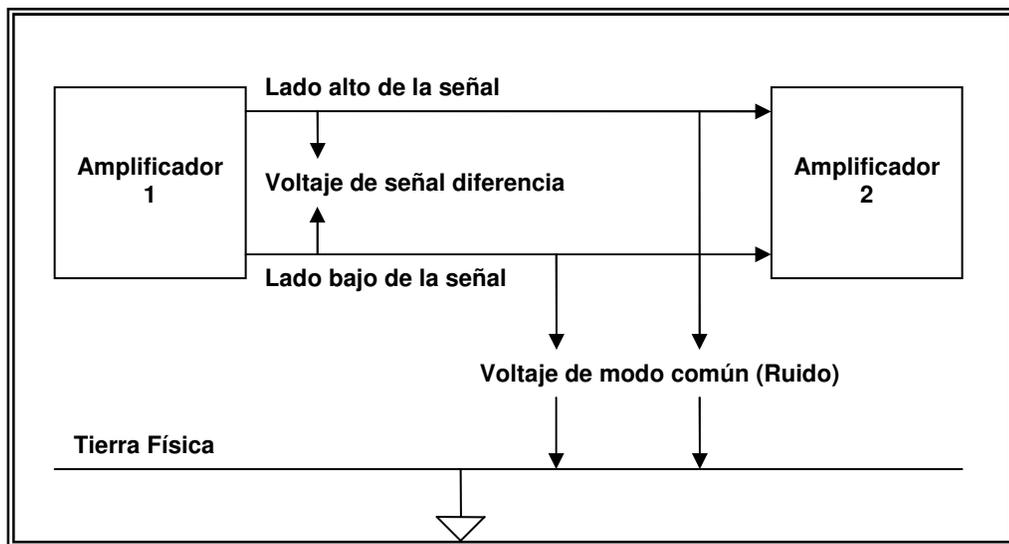


Figura 5, Sistema de transmisión diferencial o balanceada

La Figura 6 muestra el resultado de las corrientes metálicas y longitudinales en una línea de transmisión balanceada.

Una línea de transmisión desbalanceada, se da cuando a la salida de la línea de transmisión se conecta una impedancia cuyo valor difiere del valor de la impedancia característica de la línea, produciéndose ondas estacionarias superpuestas sobre una onda progresiva.

Sólo en el caso hipotético de que la impedancia conectada al final de la línea fuese igual a la impedancia característica de la línea, no se producirán ondas estacionarias y toda la energía se transmitiría por ondas progresivas. Es en este caso, de una adaptación perfecta de impedancias, cuando se transmite la máxima energía del comienzo al final de la línea.

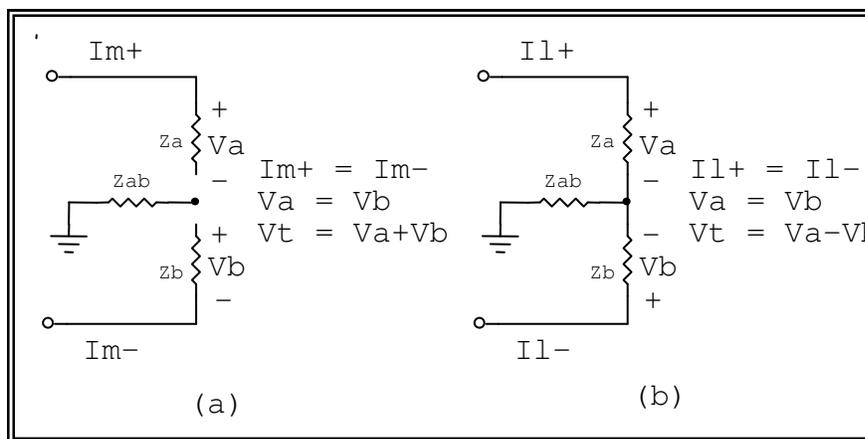


Figura 6, (a) Corrientes metálicas debido a voltajes de señal, (b) Corrientes longitudinales debido a los voltajes de ruido

En la práctica es muy difícil eliminar por completo las ondas estacionarias debido a que siempre existirá desequilibrio de impedancias.

Este es un problema que preocupa cuando se hace transmisión de señales radioeléctricas, debido a que al tratar de eliminar en definitiva las ondas estacionarias es prácticamente imposible. Con la transmisión de señal desbalanceada, el cable de tierra puede ser la referencia a otros cables que

llevan señales. Si este es el caso, el cable a tierra debe ir en donde va cualquiera de los cables de señal. Muchas veces esto crea un problema porque una longitud de cable tiene resistencia, inductancia, y capacitancia, por lo tanto, puede existir una pequeña diferencia de potencial, entre cualquiera de los dos puntos, en el cable de tierra. Es decir, el cable de tierra no es un punto de referencia perfecto y es capaz de inducir un ruido en él. Un cable coaxial estándar de dos conductores es una línea desbalanceada. el segundo cable es la cubierta, que generalmente va conectado a tierra. La figura 7 nos muestra dos sistemas de transmisión desbalanceado. La diferencia de potencial de cada cable de señal se mide con respecto al cable de tierra. Las líneas de transmisión balanceadas pueden conectarse a líneas desbalanceadas, y viceversa, por medio de unos transformadores especiales llamados balunes.

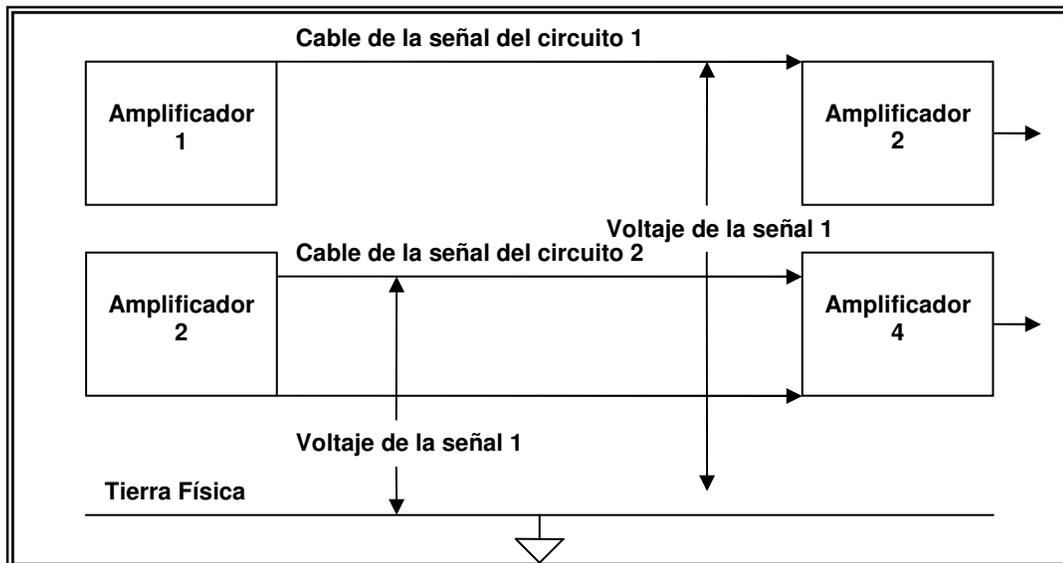


Figura 7, Sistemas de transmisión desbalanceado o de terminación sencilla.

2.1.1 Conductor paralelo.

Línea de transmisión de cable abierto. Una línea de transmisión de cable abierto es un conductor paralelo de dos cables, y se muestra en la figura 8. Consiste simplemente de dos cables paralelos, espaciados muy cerca y solo separados por aire. Los espaciadores no conductivos se colocan a intervalos periódicos para apoyarse y mantener se a la distancia, entre la constante de los conductores. La distancia entre los dos conductores generalmente está entre 2 y 6 pulgadas. El dieléctrico es simplemente el aire, entre y alrededor de los dos conductores en donde se propaga la onda TEM. La única ventaja real de este tipo de línea de transmisión es su construcción sencilla. Ya que no hay cubiertas, las pérdidas por radiación son altas y es susceptible a recoger ruido. Estas son las desventajas principales de una línea de transmisión de cable abierto. Por lo tanto, las líneas de transmisión de cable abierto normalmente operan en el modo balanceado.

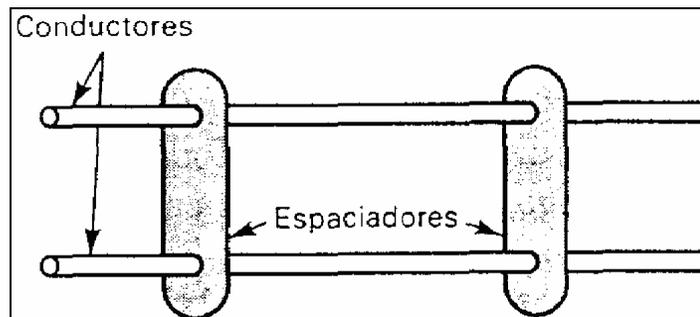


Figura 8, Cable abierto

2.1.2 Cables gemelos (doble terminal).

Los cables gemelos son otra forma de línea de transmisión para un conductor paralelo de dos cables, y se muestra en la figura 9. Los cables gemelos frecuentemente son llamados cable de cinta.

Los cables gemelos esencialmente son igual que una línea de transmisión de cable abierto, excepto que los espaciadores que están entre los dos conductores se reemplazan con un dieléctrico sólido continuo. Esto asegura los espacios uniformes a lo largo de todo el cable, que es una característica deseable por razones que se explicarán posteriormente. Típicamente, la distancia entre los dos conductores es de 5/16 de pulgada, para el cable de transmisión de televisión. Los materiales dieléctricos más comunes son el teflón y el polietileno.

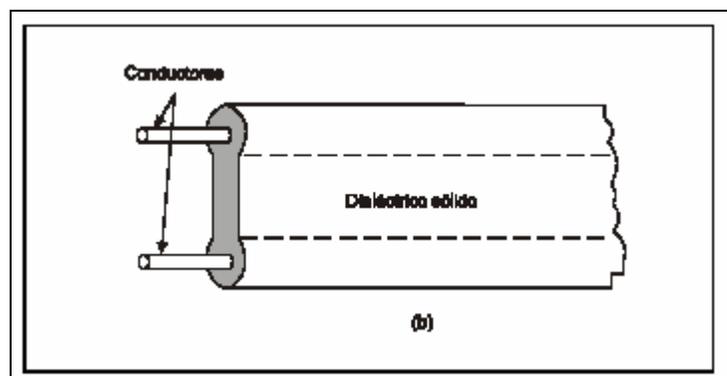


Figura 9, Cables Gemelos

2.1.3 Cable de par trenzado.

Un cable de par trenzado se forma doblando (“trenzando”) dos conductores aislados juntos. Los pares se trenzan frecuentemente en unidades y las unidades, a su vez, están cableadas en el núcleo. Estas se cubren con varios

tipos de fundas, dependiendo del uso que se les vaya a dar. Los pares vecinos se trenzan con diferente inclinación (el largo de la trenza) para poder reducir la interferencia entre los pares debido a la inducción mutua. Las constantes primarias del cable de par trenzado son sus parámetros eléctricos (resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia). Que están sujetas a variaciones con el ambiente físico como temperatura, humedad y tensión mecánica, y que dependen de las variaciones en la fabricación. En la figura 10 se muestra un cable de par trenzado.

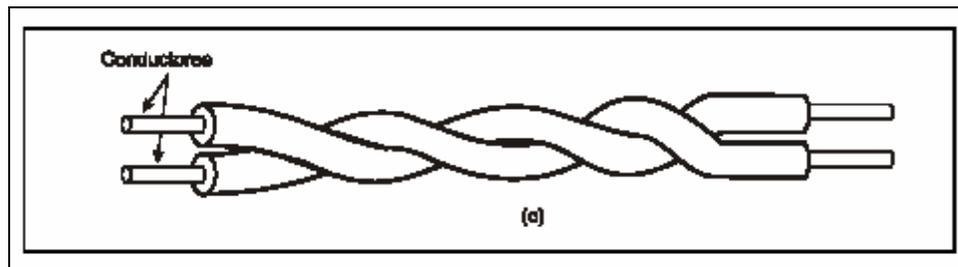


Figura 10, Cable de par trenzado

2.1.4 Par de cables protegido con armadura.

Para reducir las pérdidas por radiación e interferencia, frecuentemente se encierran las líneas de transmisión de dos cables paralelos en una malla metálica conductiva. La malla se conecta a tierra y actúa como una protección. La malla también evita que las señales se difundan más allá de sus límites y evita que la interferencia electromagnética llegue a los conductores de señales. En la figura 11 se muestra un par de cables paralelos protegido. Consiste de dos conductores de cable paralelos separados por un material dieléctrico sólido. Toda la estructura está

encerrada en un tubo trenzado conductivo y luego cubierto con una capa protectora de plástico.

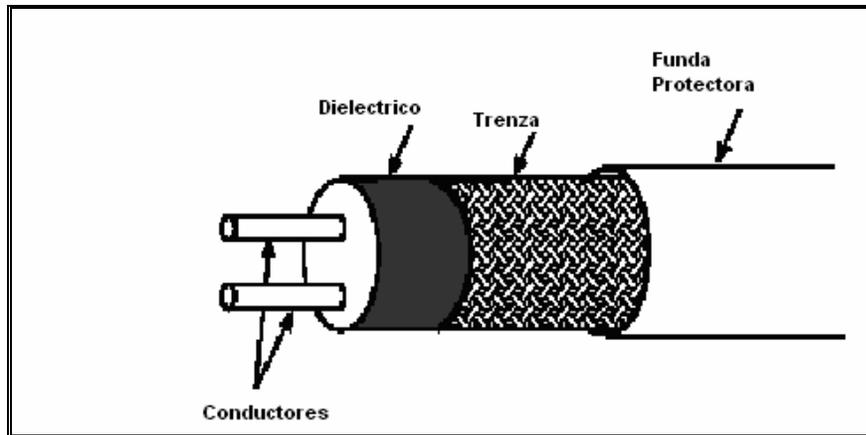


Figura 11, Cable de par protegido

2.1.5 Líneas de transmisión coaxial o concéntrica.

Las líneas de transmisión de conductores paralelos son apropiadas para las aplicaciones de baja frecuencia. Sin embargo, en las frecuencias altas, sus pérdidas por radiación y pérdidas dieléctricas, así como su susceptibilidad a la interferencia externa son excesivas. Por lo tanto, los conductores coaxiales se utilizan extensamente, para aplicaciones de alta frecuencia, para reducir las pérdidas y para aislar las trayectorias de transmisión. El cable coaxial básico consiste de un conductor central rodeado por un conductor exterior concéntrico (distancia uniforme del centro). A frecuencias de operación relativamente altas, el conductor coaxial externo proporciona una excelente protección contra la interferencia externa. Sin embargo, a frecuencias de operación más bajas, el uso de la protección no es coestable. Además, el

conductor externo de un cable coaxial generalmente está unido a tierra, lo que limita su uso a las aplicaciones desbalanceadas.

Esencialmente, hay dos tipos de cables coaxiales: líneas rígidas llenas de aire y líneas sólidas flexibles. La figura 12a muestra una línea coaxial rígida de aire. Puede verse que el conductor central está rodeado en forma coaxial por un conductor externo tubular y el material aislante es el aire. El conductor externo físicamente está aislado y separado del conductor central por un espaciador, que generalmente está hecho de Pirex poliestireno, o algún otro material no conductor. La figura 12b muestra un cable coaxial sólido flexible. El conductor externo está trenzado, es flexible y coaxial al conductor central. El material aislante es un material de polietileno sólido no conductor que proporciona soporte, así como aislamiento eléctrico entre el conductor interno y el externo. El conductor interno es un cable de cobre flexible que puede ser sólido o hueco.

Los cables coaxiales rígidos llenos de aire son relativamente caros de fabricar, y el aislante de aire tiene que estar relativamente libre de humedad para minimizar las pérdidas. Los cables coaxiales sólidos tienen pérdidas menores y son más fáciles de construir, de instalar, y de dar mantenimiento. Ambos tipos de cables coaxiales son relativamente inmunes a la radiación externa, ellos en sí irradian muy poca, y pueden operar a frecuencias más altas que sus contrapartes de cables paralelos. Las desventajas básicas de las líneas de transmisión coaxial es que son caras y tienen que utilizarse en el modo desbalanceado.

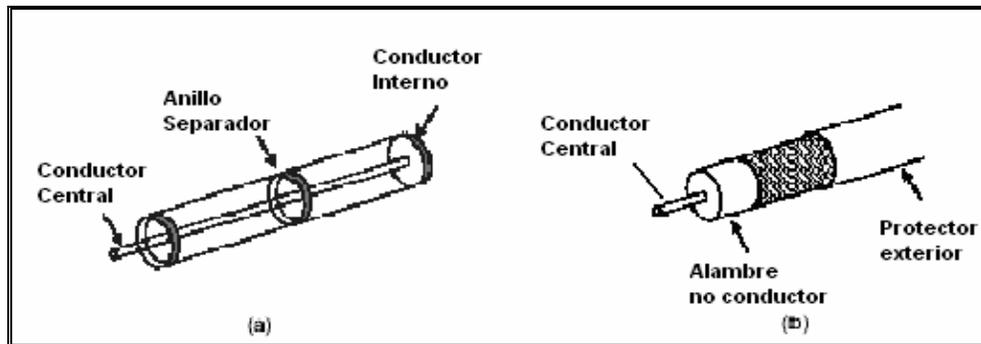


Figura 12, (a) Línea coaxial rígida llena de aire. (b) Cable coaxial sólido flexible.

2.2 Balunes.

Un dispositivo de circuitos que se utiliza para conectar una línea de transmisión balanceada a una carga desbalanceada se llama balun (balanceado a desbalanceado). O más comúnmente, una línea de transmisión desbalanceada, como un cable coaxial, se puede conectar a una carga balanceada, como una antena, utilizando un transformador especial con un primario desbalanceado y un bobinado secundario con conexión central. El conductor externo (protector) de una línea de transmisión coaxial desbalanceada generalmente se conecta a tierra. El balun debe tener una protección electrostática conectada a tierra física para minimizar los efectos de capacitancias dispersas.

Para las frecuencias relativamente altas, existen varios tipos diferentes de balunes para las líneas de transmisión. El tipo más común es un balun de banda angosta, llamados a veces balun choque, camisa o balun de bazuca, como se muestra en la figura 13. Se coloca alrededor una camisa de un

cuarto de longitud de onda y se conecta al conductor externo de un cable coaxial. En consecuencia, la impedancia que se ve, desde la línea de transmisión, está formada por una camisa y el conductor externo y es igual a infinito (o sea, que el conductor externo ya no tiene una impedancia de cero a tierra). Así que, uno de los cables del par balanceado se puede conectar a la camisa sin hacer un cortocircuito a la señal. El segundo conductor se conecta al conductor interno del cable coaxial.

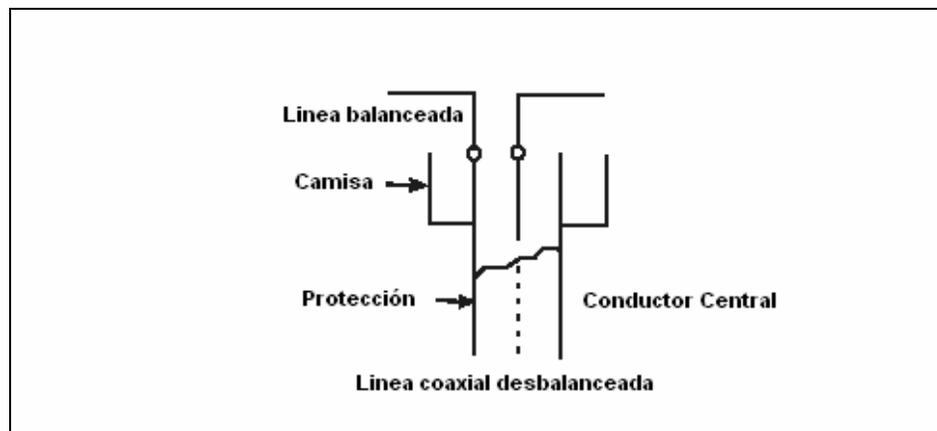


Figura 13, Balun de bazuca

2.3 Longitud eléctrica de una línea de transmisión.

La longitud de una línea de transmisión relativa a la longitud de onda que se propaga hacia abajo es una consideración importante, cuando se analiza el comportamiento de una línea de transmisión. A frecuencias bajas (longitudes de onda grandes), el voltaje a lo largo de la línea permanece relativamente constante. Sin embargo, para frecuencias altas varias longitudes de onda de la señal pueden estar presentes en la línea al mismo tiempo. Por lo tanto, el voltaje a lo largo de la línea puede variar de manera apreciable. En

consecuencia, la longitud de una línea de transmisión frecuentemente se da en longitudes de onda, en lugar de dimensiones lineales. Los fenómenos de las líneas de transmisión se aplican a las líneas largas. Generalmente, una línea de transmisión se define como larga si su longitud excede una dieciseisava parte de una longitud de onda; de no ser así, se considera corta. Una longitud determinada, de línea de transmisión, puede aparecer corta en una frecuencia y larga en otra frecuencia. Por ejemplo, un tramo de 10 m de línea de transmisión a 1000 Hz es corta ($\lambda = 300,000$ m; 10 m es solamente una pequeña fracción de una longitud de onda). Sin embargo, la misma línea en 6 GHz es larga ($\lambda = 5$ cm; la línea es de 200 longitudes de onda de longitud).

2.4 Pérdidas en la línea de transmisión.

Para propósitos de análisis, las líneas de transmisión frecuentemente se consideran totalmente sin pérdidas. Sin embargo, en realidad, hay varias formas en que la potencia se pierde en la línea de transmisión. Son pérdida del conductor, pérdida por radiación, pérdida por el calentamiento del dieléctrico, pérdida por acoplamiento, y descarga luminosa (corona).

2.4.1 Pérdida del conductor.

Debido a que la corriente fluye, a través de una línea de transmisión, y la línea de transmisión tiene una resistencia finita, hay una pérdida de potencia inherente e inevitable. Esto a veces se llama pérdida del conductor o pérdida por calentamiento del conductor y es, simplemente, una pérdida de FR.

Debido a que la resistencia se distribuye a lo largo de la línea de transmisión, la pérdida del conductor es directamente proporcional al cuadrado de la longitud de línea. Además, porque la disipación de potencia es directamente proporcional al cuadrado de la corriente, la pérdida del conductor es inversamente proporcional a la impedancia característica. Para reducir las pérdidas del conductor, simplemente debe acortarse la línea de transmisión, o utilizar un cable de diámetro más grande (deberá mantenerse en mente que cambiar el diámetro del cable, también cambia la impedancia característica y, en consecuencia, la corriente).

La pérdida del conductor depende en parte de la frecuencia. Esto se debe a una acción llamada efecto piel. Cuando fluye una corriente a lo largo de un cable redondo aislado, el flujo magnético asociado con él está en la forma de círculos concéntricos. La densidad de flujo, cerca del centro del conductor, es mayor que cerca de la superficie. En consecuencia, las líneas de flujo cerca del centro del conductor, rodean la corriente y reducen la movilidad de los electrones rodeados. Esta es una forma de auto inductancia (inductancia propia) y hace que la inductancia cerca del centro del conductor sea mayor que en la superficie. Por lo tanto en radiofrecuencias, la mayoría de la corriente fluye a lo largo de la superficie (piel externa), en lugar de cerca del centro del conductor. Esto es equivalente a reducir el área transversal del conductor e incrementar la oposición del flujo de corriente (o sea, resistencia). La oposición adicional tiene un ángulo de fase de 0° y, por lo tanto, es una resistencia y no una reactancia. Por lo tanto, la resistencia ca

del conductor es proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia. La relación de la resistencia en ca con la resistencia en cd de un conductor se llama la relación de resistencia. Arriba de aproximadamente 100 MHz, el centro de un conductor puede quitarse completamente y no tener absolutamente ningún efecto en la total de la pérdida del conductor o propagación de onda EM. La pérdida del conductor, en las líneas de transmisión, varía desde una fracción de un decibel por 100 m para cable coaxial con dieléctrico rígido de aire, hasta 200 dB por 100 m para una línea flexible con dieléctrico sólido.

2.4.2 Pérdida por radiación.

Si la separación, entre los conductores en una línea de transmisión, es una fracción apreciable de una longitud de onda, los campos electrostáticos y electromagnéticos que rodean al conductor hacen que la línea actúe como antena y transfiera energía a cualquier material conductor cercano. La cantidad de energía difundida depende del material dieléctrico, los espacios del conductor, y la longitud de la línea. Las pérdidas por radiación se reducen protegiendo adecuadamente del cable. Por lo tanto, los cables coaxiales tienen menos pérdidas por radiación que las líneas de dos cables paralelos. La pérdida por radiación, también es directamente proporcional a la frecuencia.

2.4.3 Pérdida por calentamiento del dieléctrico.

Una diferencia de potencial, entre dos conductores de una línea de transmisión causa la pérdida por calentamiento del dieléctrico. El calor es una forma de energía y tiene que tomarse de la energía que se propaga a lo largo de la línea. Para líneas dieléctricas de aire, la pérdida de calor es despreciable. Sin embargo, para líneas sólidas, se incrementa la pérdida por calentamiento del dieléctrico con la frecuencia.

2.4.4 Pérdida por acoplamiento.

La pérdida por acoplamiento ocurre cada vez que una conexión se hace de o hacia una línea de transmisión o cuando se conectan dos partes separadas de una línea de transmisión. Las conexiones mecánicas son discontinuas (lugares donde se encuentran materiales diferentes). Las discontinuidades tienden a calentarse, a radiar energía, y a disipar potencia.

2.4.5 Corona (descargas luminosas).

La corona es una descarga luminosa que ocurre entre los dos conductores de una línea de transmisión, cuando la diferencia de potencial, entre ellos, excede el voltaje de ruptura del aislante dieléctrico. Generalmente, una vez que ocurre una corona, se puede destruir la línea de transmisión.

2.5 Ondas Incidentes y Reflejadas.

Una línea de transmisión ordinaria es bidireccional; la potencia puede propagarse, igualmente bien, en ambas direcciones. El voltaje que se propaga, desde la fuente hacia la carga, se llama voltaje incidente, y el voltaje que se propaga, desde la carga hacia la fuente se llama voltaje reflejado. En forma similar, hay corrientes incidentes y reflejadas. En consecuencia, la potencia incidente se propaga hacia la carga y la potencia reflejada se propaga hacia la fuente. El voltaje y la corriente incidentes, siempre están en fase para una impedancia característica resistiva. Para una línea infinitamente larga, toda la potencia incidente se almacena por la línea y no hay potencia reflejada. Además, si la línea se termina en una carga totalmente resistiva, igual a la impedancia característica de la línea, la carga absorbe toda la potencia incidente (esto supone una línea sin pérdidas). Para una definición más práctica, la potencia reflejada es la porción de la potencia incidente que no fue absorbida por la carga. Por lo tanto, la potencia reflejada nunca puede exceder la potencia incidente.

2.6 Coeficiente de reflexión.

El coeficiente de reflexión (a veces llamado el coeficiente de la reflexión), es una cantidad vectorial que representa a la relación del voltaje reflejado al voltaje incidente o corriente reflejada a la corriente incidente. Matemáticamente, el coeficiente de reflexión es Γ , definido por

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \text{ o } \frac{I_r}{I_i} \quad (2-14)$$

en donde Γ = coeficiente de reflexión
 E_i = voltaje incidente
 E_r = voltaje reflejado
 I_i = corriente incidente
 I_r = corriente reflejada

3. Topología de la Red Power Line Communications.

Como con la mayoría de las tecnologías de comunicaciones de datos a altas velocidades, PLC requiere el uso de conmutadores, ruteadores y repetidores para proporcionar una segmentación de la red que garantice el ancho de banda, el número de usuarios y los servicios proporcionados por las redes de comunicaciones de datos que estarían ahora sobre las redes de distribución eléctricas. Esto requiere de varios dispositivos posicionados entre la red y la subestación (S-Nodo), en espacios intermedios como los repetidores (R-Nodo), en transformadores de distribución (X-Nodo) y en la casa del cliente el modem PLC o gateway (GW-Nodo).

3.1 S-Nodo en la subestación

El S-Nodo se utiliza para conectar la red PLC a una red de backhaul, es decir, Internet, la red telefónica pública (PSTN) y otros. Típicamente, se instalaría a las subestaciones de medio voltaje (MV) donde se conectan múltiples líneas de distribución de MV. Sin embargo, los S-Nodos también se

pueden instalar en otra parte, como es en el sistema de la distribución, dónde pueda requerirse o desear la conectividad del backhaul.

3.2 X-Nodo del transformador

El X-nodo del transformador puede funcionar para transferir los datos entre las líneas MV y bajo-voltaje (LV) y puede servir como un repetidor a lo largo de la línea de MV. El X-nodo es un módulo que se encuentra convenientemente cubierto para poder ponerse en un ambiente expuesto a los elementos externos. A través de la adición de una tarjeta, el X-nodo puede proporcionar la funcionalidad de repetidor a un costo adicional pequeño.

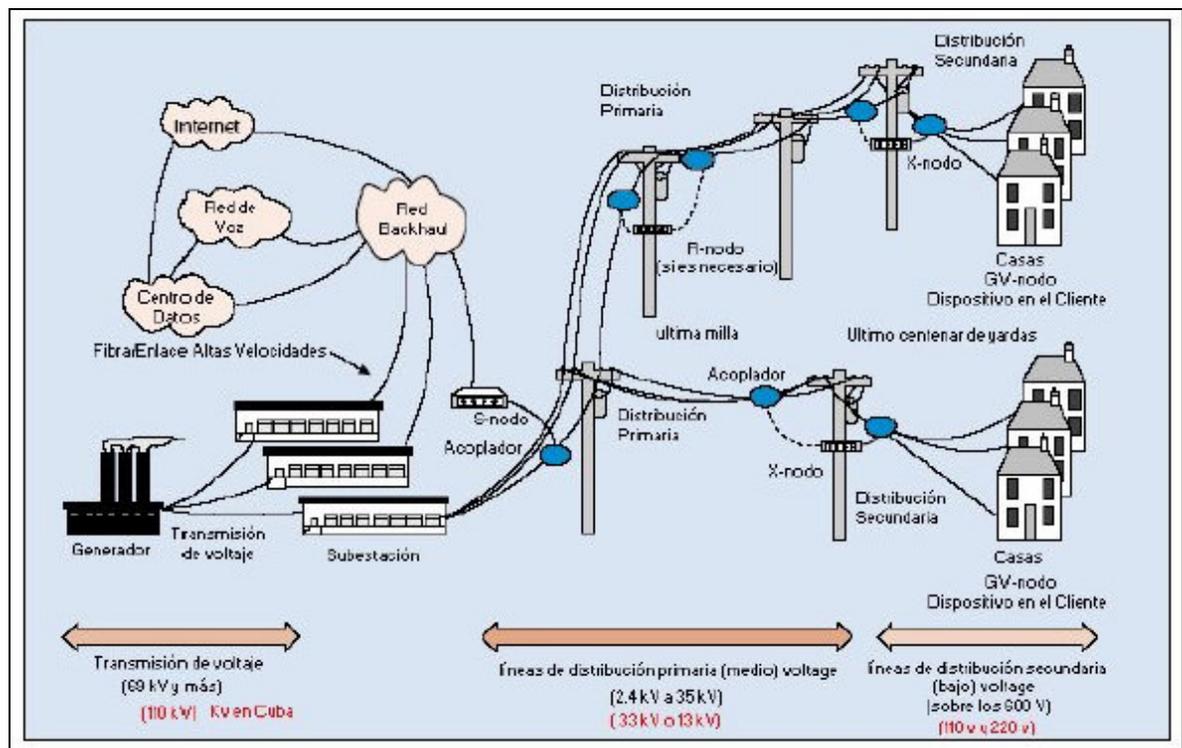


Figura 14, Topología típica de una red powerline de medio y bajo voltaje en EE.UU y Cuba.

3.3 GW-Nodo en el cliente.

La red de PLC proporciona la conexión al cliente final por medio del GW-nodo. Este nodo contiene una interfaz de PLC que se conecta a un toma de corriente dentro de la casa y es un módulo construido para permitir varias interfaces para los servicios en la casa, como soporte para un red de datos en la casa o servicios de telefonía por los puertos normales del teléfono analógico. La naturaleza del módulo GW-nodo puede soportar las redes en casa como son: inalámbrico, HomePlug (PLC en el hogar) o HomePNA (datos sobre teléfonos alámbricos en casa).

Las redes de PLC soportan el protocolo de administración simple de la red (SNMP) y otros servicios, como habilitar el monitoreo de los sistemas de redes para recoger las estadísticas que proporcionan los datos, monitoreando dispositivos de empresas específicos. Estos componentes soportan otras capacidades como la prioridad de tráfico, la asignación de ancho de banda, la calidad de servicio (QoS) y LANs virtuales (VLANs).

3.4 ByPass del transformador.

El diseño del sistema PLC utiliza un bypass en el transformador de distribución y así entregar la señal al cliente local.

Los transformadores de distribución atenúan significativamente la mayoría del espectro de RF utilizada por PLC. Por consiguiente, una solución es crear un camino para el paso de la señal RF o a través de un bypass del transformador de distribución. Sin embargo, es indispensable que este

camino se limite sólo a la señal RF del PLC y no a la los 60 Hz de electricidad.

Las ventajas del bypass del transformador son su bajo costo, facilidad de instalación, mantenimiento y que no disminuye la fiabilidad total eléctrica. El bypass del transformador, como se muestra en la figura 15, está compuesto de un acoplador inductivo de MV, un dispositivo X-Nodo y un acoplador de LV. El acoplador de LV puede ser inductivo o capacitivo que depende de la topología del sistema de distribución y otros factores. El módulo X-Nodo está montado dentro de la caja de comunicaciones del poste y energizada por una derivación de 110 V del circuito secundario.

También podría instalarse una batería recargable, opcional, de suministro de energía, capaz de estar varias horas en funcionamiento.

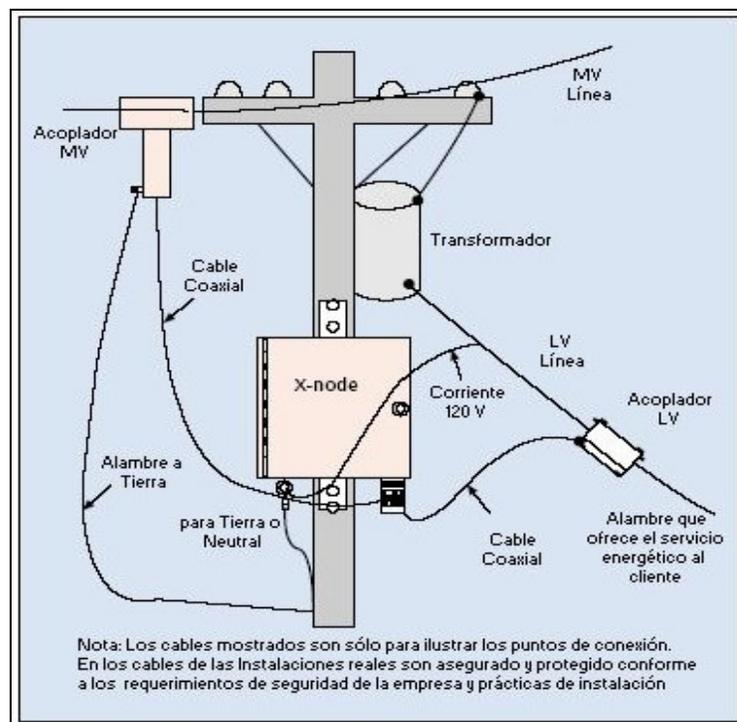


Figura 15, Bypass del transformador.

4. Suciedad electromagnética de los cables.

Si piensa que el famoso espacio radioeléctrico está lleno de ondas de radio en constante peligro de interferencia, tendría que ver cómo está el tendido eléctrico.

Es un problema de aislamiento. Compare un cable eléctrico con un cable de antena de televisión. El primero sólo está recubierto de plástico. El cable de antena tiene varias capas de plástico y una malla metálica intermedia que lo aísla de posibles interferencias.

Cualquier línea conductora es, por definición, una antena. Eso quiere decir que la instalación eléctrica de una casa actúa como tal, y es muy sensible a las interferencias que se produzcan en las frecuencias de transmisión de datos, alrededor de los 30 MHz.

La red eléctrica no está protegida contra las ondas de radio, pero tampoco contra el ruido electromagnético que puede introducir una afeitadora, la televisión o el propio computador.

Todos estos aparatos se protegen a sí mismos de lo que pueda venir de la línea eléctrica (como una subida de tensión) con filtros y fusibles, pero nadie se preocupa de lo que vierten en ella. Pero esa antena oculta en las paredes de la casa también funciona a la inversa: como antena radiante.

La transmisión de datos podría interferir con las frecuencias de los radioaficionados, por ejemplo. Aunque el verdadero problema es la seguridad. Los datos serían literalmente retransmitidos hacia el exterior, a través de la línea y a través del aire; un regalo para los espías.

Los problemas técnicos se traducen en dinero: para filtrar y limpiar las líneas hacen falta equipos costosos, aún así, siempre hay un equilibrio entre la velocidad y el aislamiento: cuanto más se filtre la línea, más difícil es transmitir a altas velocidades.

4.1 Solución: Unidad de Acondicionamiento.

Existe un interés generalizado en el mercado por los accesos a Internet de banda ancha, ya que este tipo de acceso es el que va a permitir que las diferentes compañías dejen de ser simples ISP para convertirse en auténticos proveedores de servicios multimedia.

Por desgracia, hasta el momento ninguno de los sistemas utilizados es el ideal. Casi todos los sistemas actuales, incluso los más rápidos, presentan algún tipo de problema, y la prometida solución inalámbrica se va a retrasar bastante si se hace caso a los expertos. Pero Power Line Communication puede cambiar radicalmente la situación, porque sirve para ofrecer al usuario servicios multimedia de banda ancha sobre una infraestructura que ya existe y que sólo es preciso adaptar. Casi todos los expertos consideran que PLC podrá alcanzar velocidades de entre 1 y 1.5 Mbps de ancho de banda en la casa de cada usuario particular (en principio). Esto hace posible que se ofrezcan servicios de Internet bajo un modelo de tarifa plana, así como otro tipo de transmisión de datos y hasta telefonía IP.

4.1.1 Funcionamiento

La técnica consiste en acondicionar parte de las actuales infraestructuras eléctricas para que puedan transmitir señales regulares de baja frecuencia y otras por encima de la banda de 1 MHz, sin que se vea afectado el rendimiento eléctrico.

Las señales de baja frecuencia (50 ó 60 Hz, según la red) son las encargadas de la transmisión de la energía, mientras que las señales de más alta frecuencia pueden utilizarse para la transmisión de datos, circulando ambas simultáneamente a través del hilo de cobre.

Power Line emplea una red conocida como High Frequency Conditioned Power Network (HFCPN) para transmitir simultáneamente energía e información. Una serie de unidades acondicionadoras son las que se encargan del filtrado y separación de ambas señales.

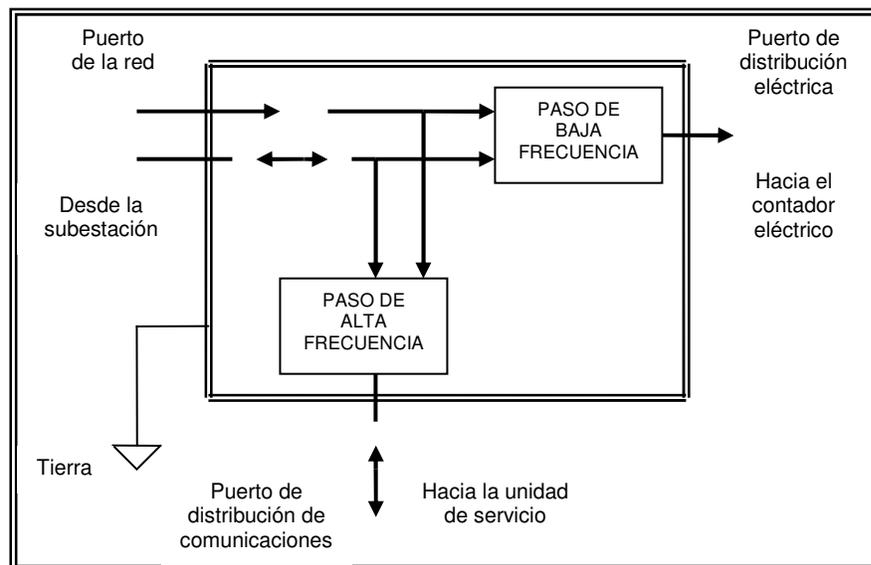


Figura 16, Acondicionador o acoplador.

Así pues estas unidades acondicionadoras separarían la electricidad, que alimenta a los electrodomésticos, de las señales de alta frecuencia, que van a un módulo o unidad de servicio, donde se reconvierten en canales de voz, datos y videos. En las subestaciones eléctricas locales hay servidores de estación base que se conectan a Internet generalmente a través de fibra óptica. Esto quiere decir que no se utiliza toda la red eléctrica para la transmisión de datos distribución local. Es precisamente este tramo el único que se utiliza en PLC.

Las estaciones base de PLC tienen una estructura típica de rack. Una localización puede llegar a contener unas doce unidades emisoras del tipo estación base, cada una capaz de comunicar un canal.

Los datos llegan a éstas estaciones que las incorporan a la señal eléctrica. Una estación estándar sirve a unos cincuenta usuarios, ofreciéndoles un espectro cercano a los 20 MHz en el caso de clientes próximos, o entre 6 y 10 MHz para clientes lejanos. El servidor opera con un sistema basado en IP para crear redes LAN en cada área de servicio.

Las unidades acondicionadoras situadas en los hogares de los abonados, tienen en su interior dos filtros. El primero de ellos, el pasabajas, libera la corriente eléctrica de 60 Hz para su distribución a todos los toma corrientes de la casa. Este filtro además sirve para limpiar los ruidos generados en la red por los electrodomésticos conectados en casa del usuario. Si se dejaran pasar esos ruidos, al unirse a los procedentes de otros usuarios de la red, acabarían por introducir distorsiones muy significativas. En segundo lugar, el

filtro pasaalta es el que libera los datos y facilita el tráfico bidireccional entre el cliente y la red.

5. Protocolo de transmisión PLC (X10).

El protocolo X10, basado en la transmisión de información a través de la red eléctrica, aporta indudables ventajas. Estas son, por ejemplo, la no necesidad de tender nuevo cableado en una vivienda, así como de disponer de gran variedad de dispositivos a un costo bajo. Sin embargo, tiene una serie de puntos oscuros que lo hacen poco eficaz. La falta de confirmación de que una operación se ha llevado a cabo es una de ellas. A esto se suma la baja velocidad de transmisión y el que no exista una protección de la información. Así, en este artículo se realizará un análisis de estos problemas y se proponen soluciones que se han probado con éxito sobre prototipos. Se pretende que con estas mejoras el protocolo X10 consiga mantenerse en la carrera por imponerse dentro del mercado actual de la domótica siendo buena solución para los hogares ya construídos.

5.1 Aspectos Generales

La tecnología X10 basada en corrientes portadoras, fue desarrollada entre 1.976 y 1.978 por los ingenieros de Pico Electronics Ltd, en Glenrothes, Escocia. X10 surgió de una familia de chips denominada los proyectos X (o series X). Esta empresa comenzó a desarrollar este proyecto con la idea de

obtener un circuito que pudiera ser insertado en un sistema mayor y controlado remotamente. En colaboración con BSR, una empresa dedicada a los sistemas de audio, comenzaron a construir los dispositivos X10.

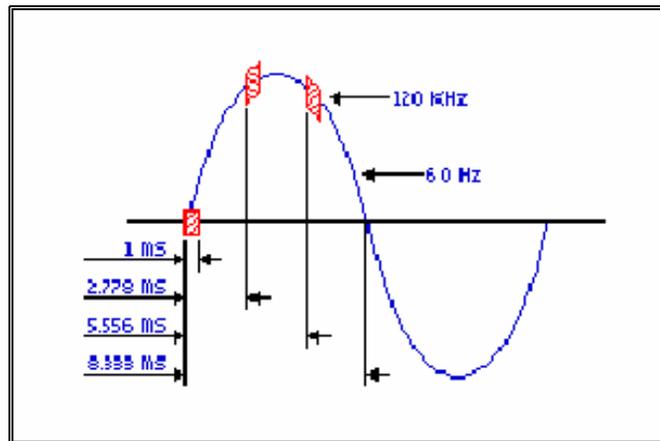


Figura 17, Señales X10 sobre la corriente eléctrica.

El primer módulo podía controlar cualquier dispositivo a través de la red eléctrica doméstica (120 o 220 V y 60 o 50 Hz) modulando pulsos de 120 KHz (0 = sin pulso, 1 = pulso) como se aprecia en la figura 17. Con un simple protocolo de direccionamiento, podían ser localizados un total de 256 dispositivos en la red. El protocolo soporta 16 grupos de direcciones denominados códigos de casa (desde la 'A' a la 'P'), y otras 16 direcciones para cada código de casa, denominadas códigos de unidad. La comunicación se realizaba por cadenas de control que son sucesiones de unos y ceros que completaban los comandos. En su primera versión tan sólo existían seis operaciones: encender, apagar, aumentar, disminuir, todo apagado y todo encendido. Estas señales son recibidas en todos los módulos pero sólo el módulo con la misma dirección que la indicada en el

mensaje de control realizará alguna operación. El mensaje completo tiene 48 bits. Posteriormente, los códigos de operación fueron extendidos a 256 con una cabecera especial, e incluso, la cantidad de información que porta un mensaje puede ser mayor de 48 bits, hasta dos bytes más, si es usado el código de datos extendidos en la cabecera de control del mensaje. La transmisión X10 está sincronizada con los pasos por cero de la corriente. Un uno binario está representado como un pulso de 120 KHz durante un milisegundo, y un cero como la ausencia de ese pulso. La transmisión completa de un código X10 necesita 11 ciclos de corriente. Los dos primeros ciclos son para el código de inicio de mensaje, 1110. Los cuatro siguientes son el código de casa y los cinco siguientes son el código de unidad o de función. Este bloque completo es transmitido dos veces, separadas cada una por tres ciclos de corriente.

Con todas estas características, lo primero que resalta es la baja tasa de transferencia, reducida a un bit por ciclo de corriente, es decir, a 50 o 60 bps. Sin embargo, la funcionalidad que aporta este protocolo así como la facilidad de su uso e instalación lo han mantenido vivo hasta hoy en día.

5.2 Dispositivos X10.

Existe una amplia gama de equipos que implementan el protocolo X10, desde interruptores para iluminación a completos paneles de control, emisores y receptores de radiofrecuencias, sensores de movimiento e incluso

cámaras. La instalación de casi todos esos dispositivos se reduce a enchufarlos a una toma de corriente convencional de la casa, y para el caso de los dispositivos inalámbricos, su colocación se reduce a fijarlos a una superficie. En este proyecto en concreto, el dispositivo más importante es el interfaz entre el computador y la red eléctrica. La conexión al computador se realiza a través del estándar RS-232, ampliamente difundido y con gran abundancia de soporte hardware y software.

5.3 Limitaciones de X10.

A pesar de las indudables ventajas de este protocolo en la actualidad las limitaciones impuestas o no desarrolladas en su diseño limitan su capacidad de expansión dentro del nuevo auge de la domótica.

5.3.1 Velocidad de transmisión.

La velocidad de transmisión es, sin duda, uno de los mayores impedimentos actuales para las aplicaciones que intercambian información. La baja tasa de bit no suponía ningún problema en su nacimiento, ya que, aunque la transferencia por módem vía telefónica podía llegar a los 14,4 Kbps por líneas de cuatro hilos, no estaba apenas extendida. En la actualidad, tecnologías tales como V.34 y V.90, RDSI, ADSL, DSL, Ethernet, etc., han superado con creces tanto la velocidad de transmisión como su expansión e implantación a pesar de no ser usados en domótica. Sí lo son, sin embargo, sus dos más serios competidores en este campo: la tecnología Bluetooth y el

bus EIB (European Installation Bus). Frente a la tecnología inalámbrica Bluetooth, X10 pierde la ventaja de no necesitar cableado. La estandarización del bus EIB supondrá la adopción masiva por parte de la industria de esta tecnología en detrimento de las aplicaciones X10. En cualquier caso, el protocolo X10 pierde con ambos en cuanto a velocidad de transmisión.

5.3.2 Identificación, corrección y recuperación ante errores.

El protocolo X10 incorpora una protección ante errores basada en la duplicidad de la información no en códigos de redundancia. Los bits se envían en un semiciclo con la presencia o ausencia de pulso de 120 KHz y en el siguiente semiciclo se envía el complementario. Además la información se envía dos veces. Esta forma de protección, como puede observarse, es realmente ineficiente y si bien en un principio era una solución que permitía una construcción más simple de los equipos, en la actualidad no es apropiada ya que la red eléctrica de las viviendas cada vez es de mayor calidad.

Otro problema importante es la ausencia de confirmación de que un dispositivo ha aceptado y procesado realmente una orden de control. Debido a este desconocimiento, se hace muy compleja la programación de aplicaciones de control en las que el usuario tenga certeza de la efectividad de su actuación.

6. Caso Endesa

Se presenta un caso particular de esta empresa española la cual nos brinda información y ayuda para empezar con la investigación.

6.1 Quien es Endesa.

ENDESA, a través de su empresa filial para proyectos de alta tecnología, ENDESA NET FACTORY (ENF) despliega, con la colaboración de SATEC, una red para ofrecer telefonía y acceso a Internet a más de 2.000 usuarios en la ciudad de Zaragoza como banco de pruebas masivo de la tecnología PLC.

6.2 Organización de la Red PLC.

Se distinguen los siguientes elementos en la organización de la red:

- Equipo de acceso de usuario CPE

El CPE dispone de un puerto de datos (Ethernet / USB) en donde se conecta el equipo de datos del usuario (por ejemplo, un PC) y un puerto para la conexión de un teléfono analógico convencional, con el gateway de VoIP integrado en el CPE. Así mismo, el CPE contiene el módem PLC necesario para la inyección de la información digital (voz y datos) en los cables eléctricos para su transmisión.

- Cables de la red eléctrica

Aportan el soporte físico para la transmisión de la información digital entre los CPEs de los usuarios hasta la cabecera PLC.

- Repetidores PLC

No siempre presentes, se sitúan en los cuartos de contadores de un edificio concentrando la voz y los datos de los usuarios residentes en el edificio. Así mismo regeneran la señal para aumentar su alcance y eliminar errores de transmisión.

- Cabeceras PLC

Concentran la información de todos los usuarios correspondientes al mismo Centro de Transformación de media a baja tensión o, lo que es lo mismo, de todos los usuarios correspondientes a la misma malla de baja tensión.

En los Centros de Transformación (CT) se instala una Cabecera PLC que, por un lado se conecta a la red de datos y por otro a la red eléctrica, inyectando en la red eléctrica los datos provenientes de la red de datos y viceversa. Así pues, hasta el cuarto de contadores de una vivienda llegan dos señales:

- Una de baja frecuencia que transmite la energía eléctrica.
- Otra de alta frecuencia en la que se transmiten los datos.

El 'tramo PLC' nos asegura la capilaridad de la red. Es necesario ahora interconectar las cabeceras PLC a un backbone (red de distribución) de datos que sepa cursar el tráfico, aplicar calidades de servicio, ofrecer

servicios de valor agregado, y en definitiva ofrecer a los usuarios todas las prestaciones de una red IP de última generación.

- **Red de distribución metropolitana**

La red de distribución metropolitana es la encargada de interconectar las cabeceras PLC dispersas por la ciudad transportando la información de los usuarios al centro de servicios y viceversa, aplicando calidades de servicio, seguridad y prestaciones de una red IP de última generación.

Una red de distribución metropolitana típica utilizada esta basada en Gigabit-Ethernet sobre fibra óptica, con una topología que contempla un nivel intermedio de concentración para garantizar la escalabilidad de la misma, tal y como se esquematiza en la figura:

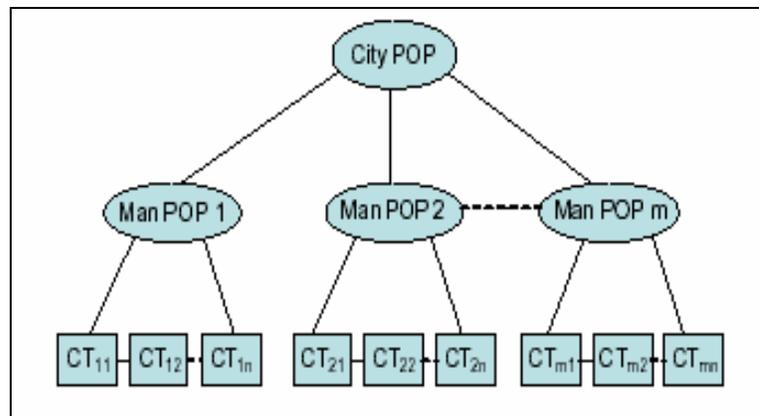


Figura 18, Red de distribución metropolitana.

Como se puede observar, la red de distribución metropolitana está compuesta por 3 niveles. En un primer nivel se encuentran los CTs, formando anillos, estos anillos se conectan a los MAN POP que constituyen

el segundo nivel distribución. Cada MAN POP concentra varios anillos de CTs.

Por último, se encuentra el City PoP, que constituye el último nivel de distribución, en donde se conectan, de forma redundante los MAN POP y en el cual además se encuentra la salida a Internet, la conexión a la PSTN y todos los elementos de gestión y soporte.

También hay que resaltar la utilización del PLC sobre Media Tensión para la interconexión de CTs a la red de distribución, con el objetivo de explorar las posibilidades de la tecnología.

- ✓ Centro de servicios y operación (City PoP)

El centro de servicios y operación se ubica en el City PoP en donde termina la red de distribución y se realizan las conexiones externas. Dispone de todos los sistemas necesarios para la gestión y explotación de la red y el suministro de servicios a los usuarios (accounting, DHCP, autenticación, backup, mediación, LDAP, DNS, servidores de gestión monitorización, servidores de walled garden, etc.).

El City PoP está conectado a proveedor de Internet y a una PSTN a través de los equipos de comunicaciones pertinentes para poder suministrar estos servicios a los usuarios finales.

- ✓ Centros y redes externas (External)

Forman parte del proyecto dos centros externos, en los que no ha intervenido directamente SATEC, salvo en algunos desarrollos de aplicaciones a medida y en las tareas de integración:

- El denominado DataCenter encargado de las tareas de atención al usuario (Customer Care) y facturación.

- Un ISP que suministra servicios tales como correo electrónico, DNS y alojamiento de páginas WEB.

En el diseño de la red de distribución y el Centro de Servicios (City PoP) ha sido necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- **Capacidad de crecimiento:** Con un esquema como el propuesto se garantiza

no sólo la capacidad para cubrir las necesidades para esta prueba masiva, sino también la capacidad para soportar las necesidades futuras ante un despliegue a nivel nacional.

- **Seguridad:** en una red como la descrita hay que tener en cuenta todas las consideraciones relativas a la seguridad, no sólo hacia o desde Internet, sino entre los propios usuarios finales.

- **Alta disponibilidad:** si bien el planteamiento es el de una prueba, los requisitos de alta disponibilidad han sido muy elevados para garantizar el grado de satisfacción de los usuarios.

- Capacidades avanzadas de **gestión de tráfico**, incluyendo capacidades de calidad de servicio, filtrado etc.

7. CONCLUSIONES

PLC se plantea como una solución a las diferentes alternativas existentes actualmente en el mercado. No solo influirá en el ámbito tecnológico, sino también a nivel económico y legal. Sobre el futuro de esta tecnología es un poco incierto. Algunos expertos en vez de alabarla debido a que es una tecnología sólida piensan que no tendrá mucha aceptación en el mercado, aunque esto suele pensarse siempre de las nuevas tecnologías que aparecen.

Sin embargo el avance de esta tecnología va aumentando poco a poco. Para destacar existe una empresa valenciana Tecnom que es líder en el sector de microchips de PLC. Es partner de DS2, que son los que han diseñado los chips para los modems PLC. Tecnom se sirve de dicha tecnología y es la empresa que posteriormente contratan las empresas energéticas: Endesa, Iberdrola, etc que quieren ofrecer servicios de PLC. La competencia entre las tecnologías PLC e inalámbricas para conectividad doméstica girará en un futuro próximo alrededor de los siguientes aspectos:

- ✓ Cobertura en interiores.
- ✓ Confiabilidad.
- ✓ Velocidad de conexión.

Por otro lado tenemos el avance en la velocidad de transmisión, podemos citar casos puntuales de empresas que ya están implementando en gran

medida esta tecnología y que nos sirven de guía, la empresa Endesa quien nos facilitó información al igual que Iberdrola, ambas españolas ya están llegando a 12 Mbps.

Pero no todo es ventajas y maravillas, hay algunas limitaciones que pueden hacer que PLC no sea posible. En algunas ocasiones, las instalaciones domésticas están en muy mal estado, llenas de empalmes chapuceros, lo que complica la llegada de la señal a todos los rincones de la casa. Aquí, los ingenieros en compañía de los técnicos tendrán que realizar un estudio para localizar los equipos problemáticos y aislarlos mediante filtros.

Otra limitación es la distancia. La transmisión óptima de datos se obtiene cuando entre el domicilio del cliente y el centro de transformación hay menos de 100 metros. Si la distancia es mayor, habrá que instalar en el cuarto de contadores o en el domicilio del cliente un repetidor. En el caso de edificios de gran altura pudiera ocurrir que la señal llegue bien hasta el séptimo piso y de ahí en adelante que tuviera dificultades. Para ello se puede configurar el módem de alguno de los clientes como repetidor para el resto de los usuarios.

No es de extrañar que los usuarios que en diversos países del mundo hayan experimentado PLC estén satisfechos. Es una tecnología muy estable que, por el momento, permite un ancho de banda compartido de hasta 4,5 Mbps. El módem situado en el centro de transformación tiene de momento una

capacidad de ancho de banda de 4,5 Mbps. A ese centro de transformación hay conectados entre doscientos y quinientos clientes, pero no todos son clientes de PLC. De los que puedan serlo, en torno al 30% según diversas estimaciones, no todos se conectan a la vez.

La mayor parte del día el usuario de PLC puede disfrutar de velocidades altas, que pueden llegar a superar 1 Mbps. En cualquier caso, en los momentos de mayor tráfico tendrá una velocidad sostenida mayor que la de ADSL y sin los inconvenientes de esta segunda tecnología. Pero las prestaciones están mejorando. La valenciana DS2 tiene un prototipo en laboratorio capaz de trabajar a 20 Mbps.

Para zonas más despobladas están las tecnologías de acceso fijo vía radio como LMDS, que resulta una magnífica solución inalámbrica. En cualquier caso, fabricantes y compañías eléctricas están trabajando intensamente para poder transmitir voz y datos a través de las redes de media tensión. Una de las últimas pruebas de Endesa precisamente aborda esta configuración. Con ayuda o sin ella, las eléctricas pueden poner voz y datos en todos los hogares; en realidad, en todos los tomacorrientes. Quizás no sea ajena a esta intención la enorme inversión que las eléctricas españolas han hecho estos últimos años en los operadores de cable.

Como autores esperamos haya sido de su agrado este vasto recorrido por el mundo de Power Line Communications.

GLOSARIO

CPE: Customer Premises Equipment. Equipamiento de telecomunicaciones instalado en el domicilio del cliente final para la prestación de los servicios; módems, routers, etc.

CT: Centro de Transformación de energía eléctrica.

PLC: Power Line Communication. Tecnología que permite la transmisión de datos a través de los cables de distribución de energía eléctrica de forma simultánea a la misma.

Domótica: Área tecnológica que intenta hacer la vida de las personas en sus hogares más fácil, segura y cómoda, usando para ello todo lo que se encuentre a su mano, desde dispositivos electrónicos a los materiales de aislamiento.

PSTN: Public Switched Telephone Network. Red telefónica convencional de acceso público.

VoIP: Voice over IP. Nueva tecnología que permite encapsular las conversaciones de voz dentro de datagramas TCP/IP para ser enviados a través de una red de datos.

MCM: Del inglés Multiplex Carrier Modulation

ADSL: Asymmetrical Digital Subscriber Line, Línea digital de usuario, de tipo asimétrico.

VPN: Del inglés Virtual Private Network.

VoIP: Voice over IP (voz sobre IP). Procedimiento que permite transmitir la voz por la red, posibilitando la realización de llamadas telefónicas mediante el protocolo de Internet.

EMI: Del inglés Electromagnetic Interference.

CENELEC: Comité Europeo de Normalización Electrónica

ETSI: Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones

Consortio Homeplug: Establecido en 1997 y fundado en Toronto, Canadá, las direcciones de los desafíos técnicos a usar en powerline para las comunicaciones de datos proporcionando los circuitos integrados, ofreciendo una solución de tecnología robusta, costo efectivo, solución tecnológica a alta velocidad para la red, entretenimiento y productos de la computadora.

DS2: Fabricante valenciano de chip de modem PLC.

Class of Service (CoS): es una manera de administrar el tráfico en una red agrupando las aplicaciones en tipos (por ejemplo, e-mail, vídeo, voz) y tratando a cada tipo como una clase con su propio nivel de prioridad de servicio.

Gateway: Pasarela, en redes de comunicaciones, es una combinación de software y hardware que comunica dos tipos diferentes de redes.

Backhaul: Tramo que conecta la Red de fibra óptica con la Red de distribución eléctrica.

PSTN: Del inglés Public Switched Telephone Network

SNMP: Protocolo para la administración simple de una red, del inglés Simple Network Management Protocol In-home: dentro de la casa o local.

BIBLIOGRAFIA

Libros:

- ✓ STREMLER, F.G. Sistemas de comunicación. Alfaomega S.A., 1996.
York: McGraw-Hill, 1963, Capitulo 11.
- ✓ TOMASI WAYNE. Sistemas de comunicaciones electrónicas.
Prentice Hall Hispanoamérica. 1996.

Páginas Web:

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

Esta es la página web de una empresa española que nos brinda información sobre la tecnología de banda ancha tratada.

<http://www.ahciet.net/especiales/default.asp?idm=10005&id=10379&pg=1>

Se muestra una visión global sobre esta tecnología, en ella encontramos las ventajas y las desventajas de este sistema de comunicación.

<http://www.noticias3d.com/articulos/200306/plc/1.asp>

Encontramos en esta página web artículos que tratan las generalidades de nuestro tema de investigación que en inglés es Power Line Communications (PLC) y su situación actual en Europa.

http://www.ee.lut.fi/fi/tutkimus/Thesis_Ahola.pdf

En esta se muestra un documento donde se encuentra una aplicación práctica de la comunicación a través de la red de distribución eléctrica.

También se habla un poco de la historia de esta tecnología.

http://www.dcita.gov.au/download/0,2720,4_119354,00.pdf

Documento el cual trata historia, definición y situación actual de Power Line Communications.

http://www.usb.edu.co/revistas_pdf/Ingenierias3_electronica.pdf

Trata de manera general el tema de las líneas de transmisión.

<http://www.idg.es>

Comunicaciones World. Revista que trata temas de redes y telecomunicaciones en todo el mundo.

<http://www.aciem.org/bancoconocimiento/R/RETIEarchivoCompletoext/RETIEarchivoCompletoext.asp>

RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas presentado por el Ministerio de Minas y Energía de la Republica de Colombia.

Muestra las normas a seguir para tener una red casi al 100% óptima.