

## **Internet por el enchufe**

### **La gran red ya está montada esperando ser utilizada**

**Norberto Aramayo<sup>1</sup>**

#### **Resumen**

En la actualidad hay diferentes alternativas para el acceso a internet de banda ancha por partes de los usuarios de telefonía o televisión por cable, pero hay situaciones en las que el mismo no puede realizarse debido a múltiples dificultades o impedimentos de distinta índole.

El presente trabajo, está referido al análisis, descripción e implementación de la tecnología PLC (Power Line Communications), de banda Ancha, para el acceso a Internet en lugares de difícil acceso por otros métodos utilizando una solución de última milla e In Home. La principal motivación de este trabajo consiste, en dar respuesta a las dificultades de acceso a la red usando el tendido eléctrico como medio para la transmisión de datos y creación de redes de internet, evitando el tendido de nuevos conductores, y además posibilitar el acceso a estos servicios a usuarios no solo en aéreas metropolitanas sino también a los habitantes de regiones del interior del país o alejadas de los centros urbanos, que en la actualidad, a pesar del avance tecnológico en materia de telecomunicaciones, se ven impedidos de dicha prestación por problemas edilicios, geográficos o por los elevados costos de la infraestructura necesaria.

---

### **1. La tecnología PLC**

#### **Introducción**

Se propone la aplicación de tecnologías para proveer enlaces de banda ancha a través de las redes de distribución de energía eléctrica, utilizando este medio para transportar información. Se conoce por sus siglas en inglés *PLC*, Power Line Communications (comunicaciones por la red eléctrica).

Durante las últimas décadas, el uso de sistemas de telecomunicaciones se ha incrementado rápidamente, debido a una necesidad permanente de estos servicios los cuales

requieren capacidad de transmisión cada vez mayor. También existe una necesidad para el desarrollo de nuevas redes de telecomunicaciones y tecnologías de transmisión. Desde el punto de vista económico, las telecomunicaciones prometen grandes ingresos, motivando grandes inversiones en este ámbito. Sin embargo, los costes de realización, instalación y mantenimiento de redes de telecomunicación en la forma en que se vienen desarrollando actualmente son muy altos

Es por ello que una alternativa tecnológica es la reutilización de la red de distribución de energía eléctrica de media y baja tensión, que brinda enlaces de comunicación, sin necesi-

---

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería e Informática de la UCASAL.

dad de instalaciones adicionales. Debemos tener en cuenta que la red de distribución de energía es la más grande desarrollada por el hombre y por lo tanto cubre una gran extensión geográfica abarcando regiones en donde no llega ninguna otra red.

El principio de funcionamiento de esta tecnología consiste en inyectar sobre la señal de energía eléctrica, portadora de baja frecuencia, la señal de comunicaciones, moduladora de alta frecuencia.

Usar el tendido eléctrico como medio de transmisión de datos no es una idea nueva. En principio lo utilizaron las empresas de energía para controlar el estado de las líneas de tensión y posteriormente, para pequeñas redes internas, debido a su reducida capacidad para

la transferencia de datos. Recién a partir de los años '90 se desarrollaron técnicas de modulación que permitieron lograr velocidades de transmisión del orden de los megabits y reducir las interferencias. En este trabajo en consecuencia proponemos la utilización de la modulación OFDM para alcanzar tales objetivos.

A partir de las mejoras alcanzadas en la aplicación de la tecnología de PLC es posible brindar los servicios que componen el Quad Play (Figura 1) mediante enlaces de banda ancha y considerando que la industria tecnológica tiende a utilizar un mismo recurso para transmitir la mayor cantidad de información posible. Estimamos que la aplicación de esta tecnología presenta una gran posibilidad de desarrollo en nuestro país.

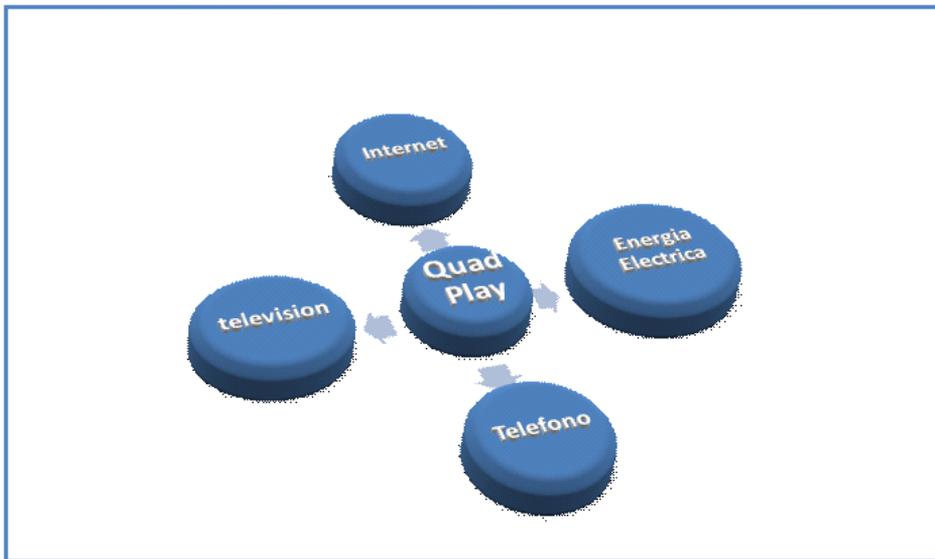


Figura 1. Servicios que componen el QuadPlay

## Antecedentes

A mediados del siglo XIX los telégrafos conformaban las primeras redes de comunicacio-

nes de la era moderna, luego el teléfono terminó por imponerse junto con las redes analógicas. Hubo una excepción destacable el télex, fue la primera red digital y que sigue utilizán-

dose. [M. Caballero, 1998]

Las computadoras comienzan su historia por la necesidad de la realización de los censos en Estados Unidos, luego se tuvo la necesidad de acceder a aquellas máquinas desde puntos remotos, necesidad que se resolvió utilizando módems conectados a líneas telefónicas existentes.

Posteriormente en la década del '70 se comenzaron a utilizar protocolos e interfaces estandarizados con lo que se conseguían independencia respecto de las máquinas donde se utilizaban y de sus fabricantes, llegándose así al SNA (System Network Architecture) introducido por IBM y que sirvió como base para la creación del modelo de referencia OSI.

En la década siguiente se comenzó a investigar sobre el empleo de cables eléctricos como medio de transmisión de datos y al finalizar ese tiempo se consiguió transmitir datos en ambas direcciones. Llegamos de esta manera a la concurrencia entre la informática y las telecomunicaciones utilizando redes en este caso PLC que nos permite proponer una solución como la que aborda el presente informe, tendiente a obtener un rendimiento y una calidad de servicios óptimos.

El mencionado sistema denominado Power Line Communications (PLC) es la propuesta para atender la demanda de Internet de banda ancha a lugares accesibles o de difícil acceso tanto urbano como suburbano.

## **Aplicaciones de PLC**

El desarrollo e implementación de la tecnología PLC permitiría [Colmerarejo 2003]:

- Ampliación de mercado de banda ancha.
- Utilización de infraestructura eléctrica existente.
- Ampliación de productos y servicios a través de PLC.
- Innovación al momento de implementar

tecnología de punta por una empresa.

- Optimización del uso de la infraestructura de fibra óptica.
- Creación de redes PLC con mayor cobertura que la red de telefonía.
- Transmisión de voz, datos, imágenes y electricidad; todo al mismo tiempo y por un único conductor, lo que se conoce como quadplay.
- Simplicidad y economía para el desarrollo del sistema.
- Conexión Internet always on.
- Ejecución de aplicaciones multimedia a través de Internet.
- Explotación de telefonía IP.
- Creación y desarrollo de servicios de tele vigilancia y seguridad.
- Automatización y control a distancia de hogares a través de la tecnología domótica.
- Integración de servicios. Los servicios técnicos de fabricantes de electrodomésticos, podrán conocer las averías y presupuestar las reparaciones, sin tener que desplazarse hasta el domicilio.
- Economía en la instalación de redes de telefonía y redes de computadores.
- Creación de redes virtuales para transmitir voz y datos al interior de la organización.
- Habilitación de trabajo en grupo.
- Implementación de vídeo conferencia, entre clientes y empresa.
- Utilización de protocolos IP. PLC es una red IP de banda ancha. Esto posibilita que cada abonado sea identificado en el universo de usuarios que se encuentren utilizando el servicio al mismo tiempo posibilitando el uso de tecnologías y servicios basadas en el protocolo IP.
- Rapidez y economía en el despliegue de PLC.
- Integración y cobertura a nivel regional.
- Ampliación, cobertura e integración de hogares sin diferenciación de sector geográfico ni social.

## II. Planteo del problema

En la actualidad se han desarrollado diferentes proyectos en todo el mundo en donde se potencia el uso de la red eléctrica, incorporando a estas redes diversos servicios de telecomunicaciones mediante enlaces de banda ancha, y teniendo en cuenta la necesidad creciente del mercado argentino en esta materia y las posibilidades de penetración en lugares donde las otras tecnologías no alcanzan, estimamos una gran posibilidad de desarrollo del PLC, dada la siguiente problemática:

- **Penetración o capilaridad:** La red de energía eléctrica, llega a regiones que se encuentran geográficamente distantes de los centros urbanos donde no existe el tendido de líneas telefónicas ni ninguna otra red de telecomunicaciones y a lugares de difícil acceso para otras tecnologías.

- **Velocidad de transmisión:** La maduración de esta tecnología ha permitido a lograr velocidades de transmisión de datos suficientemente elevadas como para cubrir las necesidades de acceso a la red del mercado.

- **Costos:** La implementación de un sistema PLC, no requiere el tendido de una nueva red debido a que usa la existente, esto se traduce en una reducción del costos muy significativa a la hora de compararla con otras alternativas tecnológicas,

- **Armado de redes:** Prácticamente en cada habitación de una vivienda o de un local comercial existe un enchufe o un potencial punto de comunicación en donde se podría conectar cualquier dispositivo que permitiría navegar, recibir videos, transmitir datos, hablar por teléfono etc. Sin tener que agregar cableado al existente.

Sin embargo la aplicación de esta tecnología está en vías de desarrollo en nuestro país, y puede presentar inconvenientes debido a que la red eléctrica no fue diseñada para transmi-

tir datos, y deben tomarse los recaudos necesarios para reducir su vulnerabilidad al ruido e interferencias.

## Objetivos

- Brindar como solución alternativa, la implementación de la tecnología PLC, especialmente para los lugares del área metropolitana donde las otras tecnologías no pueden alcanzar por diversas razones como ser de infraestructura, edilicia, de difícil acceso o lugares alejados de los grandes centros urbanos, atendiendo la necesidad de información para el desarrollo del ser humano.

- Poner de relieve la baja inversión adicional y las prestaciones que ofrece en la transmisión de datos a alta velocidad entre otras ventajas comparativas que se logran con su implementación.

- Permitir el acceso a la red, a futuro, más económico de acuerdo a las previsiones hechas por los países desarrollados y que también investigan a cerca de esta tecnología.

- Evidenciar la posibilidad del armado de redes hogareñas sin la necesidad de tendidos de conductores adicionales por parte de los usuarios.

## III. Sistema solución

Sistema PLC, arquitectura para montar una red de esta tecnología, modulación, dificultades para la transmisión y descripción e implementación de un prototipo.

## Descripción PLC

Deriva de las palabras inglesas Power Line Communications o Power Line Carrier Cuyo significado en español es Comunicaciones a través de la Red de Energía. Trata, fundamentalmente, de la transmisión de voz y datos

mediante la Red eléctrica. El interés en el uso de esta tecnología radica, en tratar de aprovechar la mayor red construida por el hombre, a la cual gran parte de la población mundial tiene acceso.

En la actualidad, PLC se ha desarrollado ampliamente, existiendo aplicaciones de red hogareña y de «última milla».

A su vez, las empresas de generación y distribución de energía eléctricas, por el desarrollo de esta tecnología, han ingresado como proveedores de servicios de banda ancha.

Básicamente en la estructura de una red eléctrica se pueden distinguir cuatro segmentos como se ve en la figura 2.

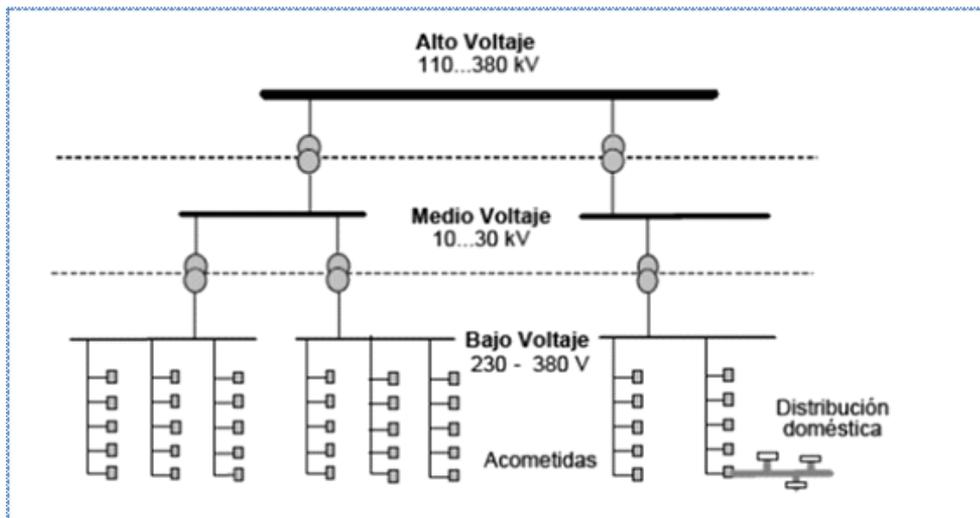


Figura 2. Estructura de una red eléctrica[Bustillo, 2008]

- Red de alto voltaje: transporta la energía desde los centros de generación hasta las grandes áreas de consumo. Las distancias de transporte son grandes, lo que implica altos voltajes para minimizar las pérdidas (una región, un país, entre países).

- Red de medio voltaje: distribuye la energía dentro de un área de consumo determinada (una ciudad, un pueblo).

- Red de bajo voltaje: distribuye la energía a los locales de usuario final, a los voltajes de utilización final (220V-380V).

- Red de distribución doméstica: comprende el cableado de energía y las tomas dentro de los locales del usuario final.

El papel de las comunicaciones sobre líneas de energía (Power Line Communications, PLC) se puede analizar en cada uno de estos segmentos.

- Comenzando por la red de distribución doméstica, el objetivo es convertir este cableado de distribución doméstico en una red de área local, siendo cada enchufe un punto de acceso a esta red. Constituye un gran beneficio el no tener que instalar nuevo cableado para aplicaciones de telecomunicación, así como la posibilidad de controlar dispositivos eléctricos por el mismo enchufe que proporciona la energía.

- Las redes de baja y media tensión pueden considerarse conjuntamente, ya que las

soluciones adoptadas abarcan ambas redes aunque nos centraremos en las de baja tensión. La red de bajo voltaje constituye lo que en el dominio de las telecomunicaciones se ha dado en llamar «la última milla»; se extiende desde el transformador de media a baja tensión hasta los medidores de los abonados. Cabe señalar aquí características importantes de este tramo de la red:

- Varios abonados están conectados a la misma fase; es decir, la red eléctrica desde un punto de vista de transmisión de la información es un medio compartido

- Cierta número de abonados son servidos desde un transformador de media a baja tensión, y este constituye un punto candidato para inyectar las señales de telecomunicaciones.

- La red eléctrica no ha sido diseñada para transportar información que requiera cierto ancho de banda; de hecho constituye un medio muy hostil: un canal con una respuesta en frecuencia muy variable, tanto de lugar a lugar como en el tiempo, y muy ruidoso. Sin embargo el Proceso de Digitalización de las Señales permite actualmente la transmisión de considerables anchos de banda a través de este medio. La banda de frecuencias actualmente aprovechable (*thesweetspot*) se extiende desde 1MHz hasta los 30MHz. Los tendidos de energía no toman precauciones en cuanto a la radiación ni a la recepción a estas frecuencias, que coinciden con bandas de radio de uso público. Estos aspectos constituyen uno de los campos donde se debe regular con mayor énfasis para permitir la coexistencia de servicios.

- PLC, de banda ancha, facilita entre sus aplicaciones además de la prestación de servicios de telecomunicaciones a los usuarios finales, la detección de fallas y averías en el tendido, lo que facilita las operaciones de la red de energía considerándose un factor que en ocasiones puede resultar determinante

cuando se realizan los estudios de rentabilidad de estas redes.

## Arquitectura de una red PLC

El sistema PLC puede utilizar el cableado eléctrico de media y baja tensión para su distribución. Consideraremos este último en este trabajo.

Las diferentes implementaciones de esta tecnología tienen facilidad para la interconexión: de casas, oficinas, edificios, computadoras y periféricos. Son competitivos en costos, reduciendo al mínimo los gastos de instalación, y en calidad, alcanzando velocidades de transferencia de alrededor de 20 Mbit/s.

Una red PLC se encuentra constituida por los siguientes sistemas:

- El primer sistema denominado «de Outdoor o de Acceso», cubre el tramo de «última milla», y que para el caso de la red PLC comprende la red eléctrica que va desde el lado de baja tensión del transformador de distribución hasta el medidor de la energía eléctrica. Este primer sistema es administrado por un equipo cabecera (primer elemento de la red PLC) que conecta a esta red con la de transporte de telecomunicaciones o backbone. De esta manera este equipo cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte.

- El segundo sistema se denomina «de Indoor», y cubre el tramo que va desde el medidor del usuario hasta todos los toma corrientes de los hogares.

Para comunicar estos dos sistemas, se utiliza un equipo repetidor, segundo elemento de la red PLC.

- El tercer y último elemento de la red PLC lo constituye el módem terminal o módem cliente para la demodulación.

En la figura 3 se ilustran los segmentos de bajo voltaje y de distribución doméstica.

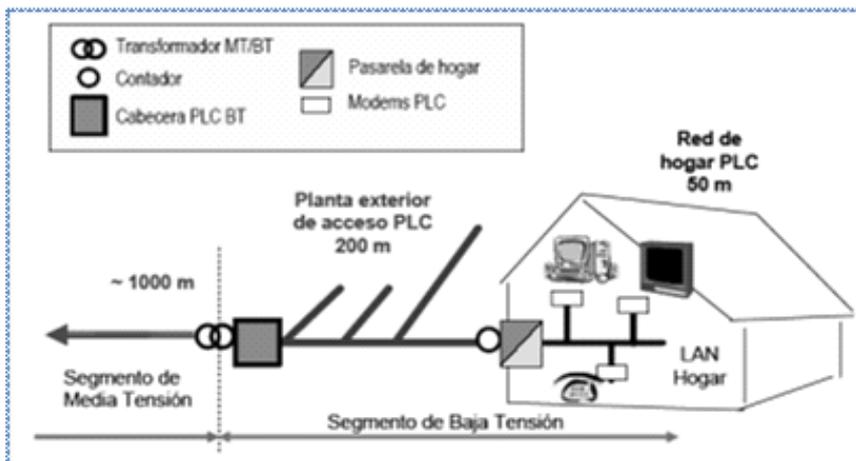


Figura 3. Características de los segmentos de baja tensión y red doméstica[Bustillo, 2008]

En el segmento de bajo voltaje las distancias del orden de 200 metros desde el transformador al usuario, siendo un medio compartido, con numerosas ramificaciones para servir a los usuarios. Esto hace que el medio sea hostil, debido a:

- La atenuación a las frecuencias de interés con la distancia.
- Las reflexiones que se producen en las ramificaciones.
- Las distintas emisiones que existen de fuentes de ruido de fondo, impulsivo e interferencias selectivas (como ser emisiones de radio), hacen necesarias técnicas de codificación contra errores (por ejemplo la técnica Reed-Solomon).

El segmento de distribución doméstica presenta unas características del medio muy similares a los de la primera milla. Por ello, la tendencia en la actualidad es:

- Reutilizar la misma tecnología en los segmentos de bajo voltaje y de distribución de baja tensión o domésticos con el objetivo de conseguir economías de escala.
- Aunque el esquema del hogar de la Fi-

gura 3 se puede adaptar, por ejemplo, de un acceso ADSL a un PLC dentro del hogar o, inversamente, de un PLC en el segmento de bajo voltaje a una interfaz Ethernet, lo más atractivo es que el pasaje sea de PLC a PLC. Esto requiere compatibilidad espectral entre los sistemas PLC debajo voltaje y doméstico. Por ello existen propuestas de dividir el espectro entre 1MHz y 30MHz en bandas de 10 MHz, asignando las bandas superiores para uso doméstico (menores distancia que admiten las mayores atenuaciones en esta banda) y las inferiores para uso en el acceso como se muestra en la Figura 4.

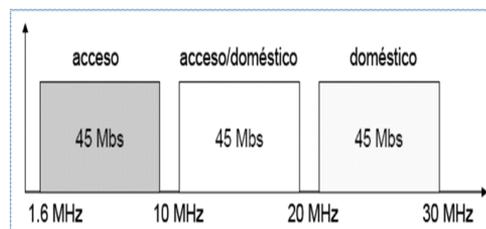


Figura 4. Asignación del espectro en PLC

## Perturbaciones en la transmisión

Cuando tratamos con redes eléctricas es necesario considerar las interferencias que se producen en ellas y que afectan las señales que se transmiten.

En el caso que nos ocupa las alteraciones en las señales en los tomas corrientes de una vivienda son afectados por ruido, interferencias o distorsiones, interferencias de frecuencias variadas y el denominado ruido de fondo (backgroundnoise).

## Ruido

Son variaciones indeseadas que modifican las señales transmitidas y que no pueden evitarse. Se utiliza la relación Señal/ Ruido para su medición (S/N, Signal/Noise) y esta expresada en decibeles

$$S/N(\text{dB}) = 10\text{Log}(P_s/P_n)$$

Donde

$P_s$  = Potencia de la señal

$P_n$  = Potencia del ruido

Siendo de mayor calidad la transmisión de la señal cuando más alta es la relación S/N.

## Ruido de fondo

Tiene una característica casual y aleatoria y se caracteriza por su densidad espectral.

Encontramos valores altos de densidad espectral (Power Spectral Density) partiendo desde los 50Hz y hasta aproximadamente 20KHz, luego tenemos un disminución de la densidad a medida que aumenta la frecuencia llegando a valores despreciables cuando estamos al rededor de los 150KHz.

Según Johnson y Nyquist el valor de esta corriente es:

$$I^2 = 4KTG\Delta f$$

Donde

K: Constante de Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  Joule por Kelvin)

T: Temperatura del resistor (conductor) en Kelvin

G: Conductancia

$\Delta f$ : Ancho de banda

Cabe destacar que el ruido cualquiera sea su naturaleza es aditivo de ahí su importancia en el tratamiento de envío de señales a través de redes de comunicación.

## Ruido de banda angosta

Pueden estar provocados por los balastos de tubos fluorescentes monitores, transformadores de fuentes de alimentación entre otros aparatos especialmente para frecuencias inferiores a los 150 KHz, pueden ser provocados también por ondas de radio amplitud modulada, o emisoras de radio de onda corta.

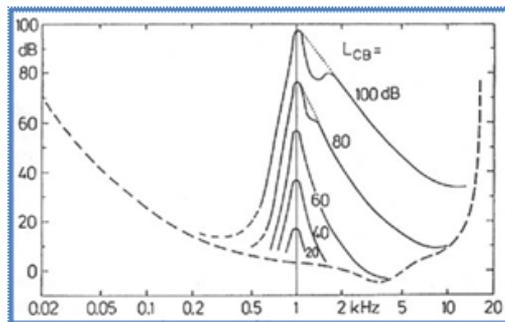


Figura 5. Ruido de banda angosta [Cajal, 2005]

## Ruido impulsivo

Se caracteriza por tener picos de voltaje de corta duración con tiempos en el orden de los, de los 10 a 100 microsegundos ( $\mu s$ ) alcanzando amplitudes de hasta 2000V.

Son habitualmente ocasionados por saltos de arcos eléctricos que se producen al encender o apagar un aparato o instalaciones defectuosas. Hay tres tipos:

- Periódico asincrónico, *Periódico sin-*

*crónico a la frecuencia de línea y Asincrónico.*

Vemos en la figura que la incidencia del ruido de fondo no es significativa, como sí lo son los otros ruidos que inciden en la transmisión.

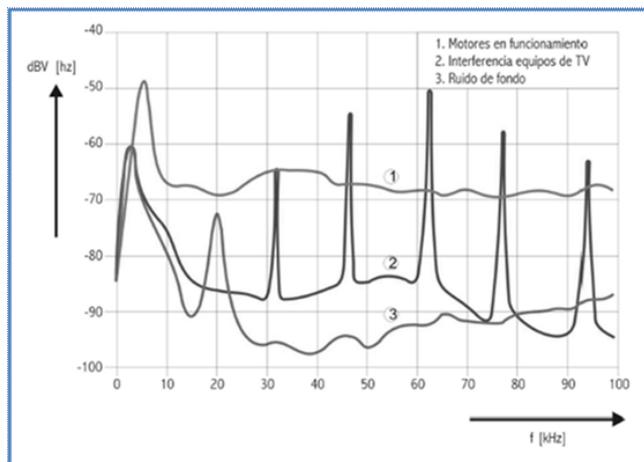


Figura 6. Ruidos en la red eléctrica [Giboult et al, 2007]

### Impedancia de la red

En las líneas de distribución de energía eléctrica se presentan distintos valores de impedancia según la frecuencia a la que se transmite la señal, en todos cualquier caso para el caso de transmisión de señales se considera un par de conductores como una fase y el neutro.

Si consideramos una disposición plana de los conductores, que ambos tienen el mismo diámetro y suponiendo a ambos como un dieléctrico a lo largo de todo el tendido, el cálculo de la impedancia está dado por:

$$Z = 276 \log \frac{D}{r}$$

Dónde:

D: distancia entre conductores

R: radio de los conductores

### Transmisión en la red en alta frecuencia

#### Característica del canal outdoor

Para el caso de distribución eléctrica en zonas residenciales, la experiencia muestra un efecto de filtro, que en casos muy críticos pueden suprimir señales de 1 a 10 Mhz. De todas maneras la transmisión de datos aun en enlaces puede realizarse.

Si observamos la figura vemos como varía la atenuación con la frecuencia.

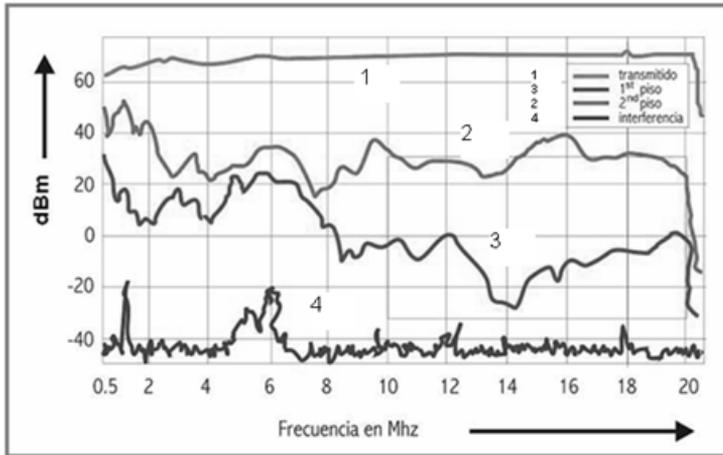


Figura 7. Gráfica de atenuación y ruido en un cable de puesta a tierra de 300m. [Giboult et al.]

La relación Signal – Noise entre los 0,5 MHz y los 6MHz es del orden de los 50dB, luego alrededor de los 20MHz la relación es de 20dB lo que es

suficiente para lograr satisfacción. De 9 a 12 MHz observamos las perturbaciones de banda angosta pertenecientes a señales de onda corta de radio.

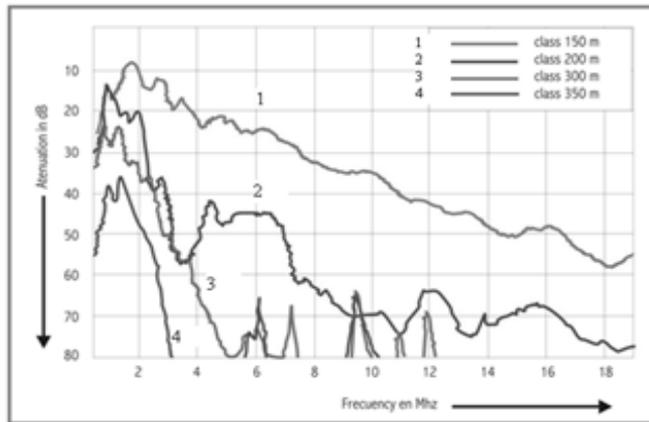


Figura 8. Atenuación y ruido en cables de distinta longitud. [Giboult et al, 2007]

Vemos como para tendidos de corta distancia las atenuaciones están por debajo de los 60 dB a 20MHz los que permite la transmisión de señales PLC sin inconvenientes.

En este caso para cables de 200m la atenuación crece por lo menos a 25dB dado que en este caso tenemos mayor cantidad de clien-

tes conectados a la línea.

De lo que desprende que las distancias de operación para PLC están en el orden de los 100 a 200 metros y 20MHz, cuanto mayor es la distancia menor deberá ser la frecuencia de trabajo del canal outdoor.

## Características del canal indoor

Según experiencias realizadas se tienen atenuaciones de entre 40 a 80dB, perdiéndose

las características de filtros pasabajos, como en el caso outdoor, el ancho de banda para este caso puede estar entre los 10 y 30MHz.

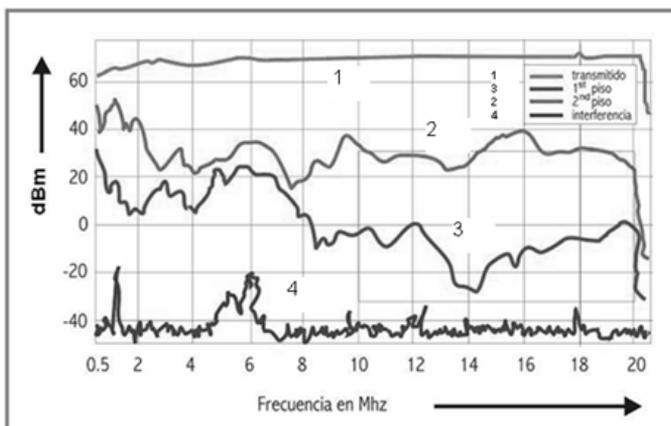


Figura 9. Características ruido atenuación del canal indoor. [Giboult et al, 2007]

## Acoplamiento de señal

Este acoplamiento de señal puede hacerse en serie o en paralelo, siendo este último método el más recomendado utilizando una fase y el neutro, o entre dos fases en el caso de media tensión, dado que en el caso de utilizar acoplamiento en serie es necesario sacar de servicio la línea de distribución de energía eléctrica, por otra parte se utilizan materiales magnéticos como ser ferrite o similares que se saturan magnéticamente aun con pequeñas corrientes.

En acoplamientos en paralelo tampoco se puede evitar totalmente la inducción entre otras cosas porque se necesita un acoplamiento intenso a fines de inyectar la mayor cantidad de potencia de la señal a las líneas de distribución eléctrica. Pero esta no depende de la corriente de carga que circule por la línea. Del

lado del receptor no es necesario acoplamientos fuertes, lo que permite utilizar materiales con niveles de magnetización insignificantes.

Si el acoplamiento fuera fuerte del lado del receptor sería necesario la instalación de filtros costosos para evitar que armónicas indeseadas lleguen a la fase de indoor. Es necesario tener en cuenta los transitorios rápidos para evitar que los mismos se transmitan por la red, utilizándose un circuito acoplador con protección mediante diodos zener, el que tiene un comportamiento de circuito pasa alto y un capacitor para separar la tensión de 220 VAC.

Si utilizamos dos fases como en el caso de media tensión se deberían usar dos capacitores para lograr la mayor simetría entre fases, logrando menos inducción electromagnética y que cada capacitor trabaje a la mitad de la tensión con la consiguiente reducción de costos.

## Capacidad del canal de power line

De acuerdo a la teoría de Shannon para determinar la capacidad de transmitir señales por una fórmula:

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

Donde

C: Máxima velocidad de transmisión

B: Ancho de banda del canal

S/N: Relación Señal – Ruido

Como la relación S/N no es constante en el caso de la transmisión de señales mediante PLC en un ancho de banda B determinado, la fórmula que nos determina la máxima velocidad de transmisión de datos está dada por:

$$C = \int_{f_u}^{f_0} B \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S_{rr}(f)}{S_{nn}(f)} \right) df$$

Donde

$S_{rr}$ : Densidad de potencia de la señal transmitida

$S_{nn}$ : Densidad de potencia de ruido

Obtenidas por medición en un canal transmisor.

En definitiva observamos que podemos tener altas velocidades de transmisión de datos en un canal PLC aún en aquellos no muy propicios para la transmisión si la densidad de potencia transmitida no está limitada por alguna causa, aunque en nuestro caso existan condicionamientos de tipo electromagnéticos que nos lleva a transmitir en el rango de 1MHz hasta 30MHz.

## Compatibilidad electromagnética

El interrogante que se plantea con la aplicación de esta tecnología está centrado fundamentalmente en la posibilidad de coexistencia con emisiones de radio de onda corta o interferencias que puedan provocarse con otras tecnologías. Tengamos en cuenta que el tendido de una red PLC tiene cables conductores que actúan como antenas de alta frecuencia que pueden afectar y ser receptores de radiaciones electromagnéticas circundantes formándose una conexión bidireccional que induce corrientes tanto en la red PLC como en las redes y circuitos circundantes.

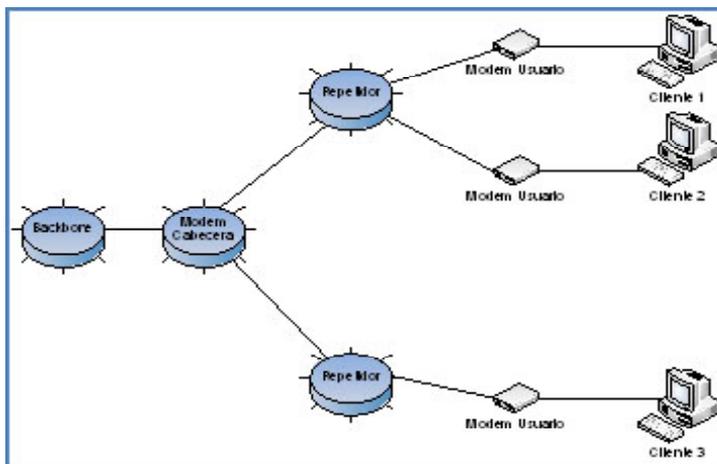


Figura 10. Estructura General de la Red PLC

Analizando el espectro de frecuencias otorgadas a diferentes actividades que van desde la emisiones de radio, radio aficionados y las diferentes transmisiones que ocupan dicho espectro, vemos que las frecuencias no utilizadas ocupan una zona muy pequeña del espectro, aunque no es definitiva dicha asignación en distintas partes del mundo.

La designación de un determinado rango de frecuencias destinadas a PLC permitirá su perfeccionamiento potenciación y desarrollo, como un servicio socialmente importante, especialmente cuando se lo analiza como internet de última milla o para lugares de difícil acceso todo esto más allá de los distintos intereses que pueden oponer a su implementación.

Dicho progreso estará ligado al avance que también pueda realizarse sobre la utilización de esquemas de modulación de multiporadoras.

### Conclusiones acerca de la compatibilidad electromagnética

El sistema PLC es válido para el cometido de su función.

Reduce los costes de utilización y mante-

nimiento al disponer de una instalación fija -existente- a modo de red portadora lo cual es muy atractivo sobre todo para países en vía de desarrollo.

### Estructura general de la red PLC

En los tramos de Outdoor e Indoor la red PLC utiliza el cableado de distribución eléctrica de media y baja tensión, cuyo esquema general se observa en la figura anterior.

La red PLC está compuesta como se observa en la siguiente figura por cuatro elementos principales, donde se ve un anillo (anillo formado por los centros de transformación (CT), en cada uno de los cuales se encuentra instalado un equipo simbolizado por HE denominado «modem cabecera», el cual es la interfaz entre el sistema de media tensión y el de baja tensión. En los edificios se instala un equipo que acopla el cableado eléctrico de dicha edificación, denominado Repetidor». La red PLC finaliza en un equipo «Terminal decodificador» o modem del usuario, el cual es la interfaz entre los tomacorrientes y los dispositivos del hogar correspondientes (laptop, PC, entre otros) de cada usuario.

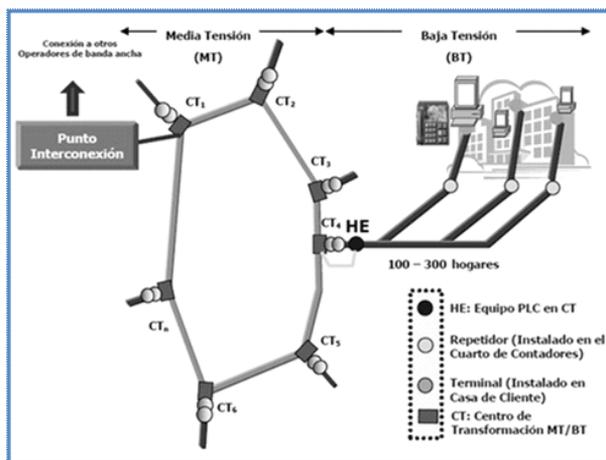


Figura 11. Anillo de la Red PLC [ENDESA, 2004]

Debido a las características de la red eléctrica como cambios de resistencia, cambios de impedancia o inductancia y por los distintos niveles de tensión que transportan, es necesaria la adaptación de impedancias en el sistema PLC especialmente en los tramos donde se produce el pasaje de media a baja tensión.

De no realizarse esta adaptación de impedancias las interferencias sobre la señal de banda ancha sería inadmisibles.

Estos acopladores son del tipo inductivo o capacitivo según sean las características de las impedancias a acoplar.

### Técnicas de modulación para banda ancha

El PLC usado para el propósito de comunicación requiere esquemas de modulación sofisticados. Las técnicas de modulación convencionales como ASK, PSK o FSK si bien serían aplicables normalmente no se utilizan en la tecnología PLC.

Si el método de modulación puede ocuparse de la atenuación, así como de los cambios de fase, entonces el receptor puede simplificarse. El problema es combinar estos requisitos con una alta tasa de bits, necesaria en las

comunicaciones de las computadoras actuales y las limitaciones del ancho de banda en el canal PLC. Tres métodos de modulación que cumplen con todos estos requisitos y esos son OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), que usa un gran número de portadoras con anchos de banda muy estrechos, DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation), puede operar con baja densidad de potencia espectral (PSD), ó GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), es una forma especial de modulación en banda estrecha.

### Transmisión PLC

Debemos encontrar el método que posibilite la correcta transmisión de los datos a través de una línea de características variables. Utilizaremos para eso la división ortogonal y multiplexación en frecuencias OFDM que permite que varias señales sean multiplexadas en una única señal para su emisión por un solo canal, esta tecnología es la más utilizada en este tipo de transmisiones, es similar a la metodología utilizada con la tecnología DSL, adoptada como estándar de transmisión Wireless LAN por IEEE .

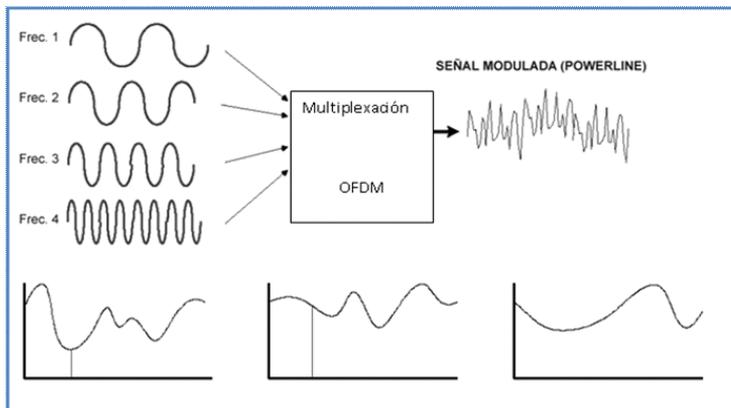


Figura 12. Modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [Pérez, 2002]

Cada señal a multiplexar es previamente desfasada para poder representar cada uno de los bits de la misma en una señal que viaje por el medio de transmisión que en este caso se trata de la red eléctrica, de esta manera, a través de la modulación de cada uno de los bits de la señal sobre señales individuales, es posible transmitir una gran cantidad de bits de información en pequeños espacios de tiempo.

- Es un tipo de modulación, multipor-tadora FDM.
- Las subportadoras tienen la separación mínima para poder ser reconstruidas mediante el principio de ortogonalidad de la señales, es decir, en el punto máximo de una portadora tenemos el punto de cero de la siguiente y así sucesivamente tantas veces como número de portadoras son utilizadas por el conjunto Transmisor Receptor.

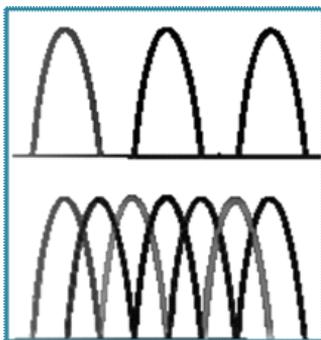


Figura 13. Modulación Multiportadora

### Esquema de modulación plc emisor-receptor

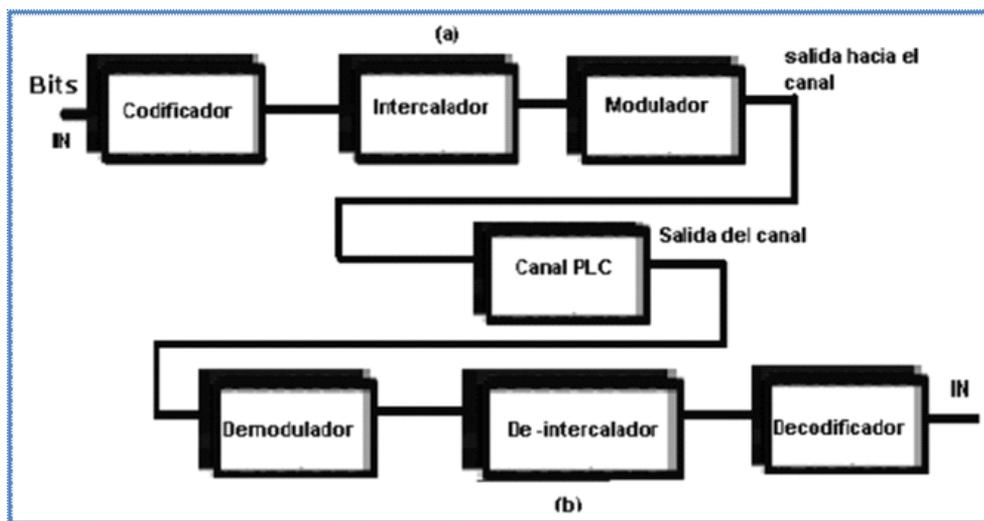


Figura 14. Esquema de modulación. [Pérez, 2002]

- En PLC las modulaciones utilizadas son desde QPSK hasta 64QAM).
- OFDM presenta ventajas sobre GMSK y otras formas de modulación en los siguientes aspectos: reducción de interferencia intersimbólica y entre canales, menor potencia necesaria de transmisión, y ahorro de ancho de banda dada sus características de ortogonalidad y superposición (eficiencia espectral).
  - Intercalador: Altera el orden de transmisión de los bits, separando bits consecutivos, evitando que una ráfaga de interferencia dañe varios bits de una misma palabra.
  - Los bloques demodulador, de intercalador y decodificador: realizan el proceso inverso de los bloques modulador, intercalador y codificador respectivamente. En recepción antes del modulador existe un ecualizador, que es un filtro con respuesta inversa a la función de transferencia del canal PLC.

### Forma de transmisión de PLC

Utiliza dos portadoras, una física y otra virtual, la física es la que se ocupa de la transmisión real y la virtual es una señal de sincronización que permite conocer si el medio está en condiciones de transmitir, o si está ocupado.

Está formada por un delimitador inicial, un núcleo y delimitador final de la trama como está esquematizado en la figura.

La trama de control nos permite saber si el canal está ocupado, detectándose las colisiones por la ausencia de una señal por parte del destinatario.

En cuanto al acceso al medio se basa es una combinación entre dos métodos como son, la forma aleatoria como lo hace Ethernet (utilizando la técnica de paso de un testigo) y la utilización de un bit de prioridad.

Se utiliza una función de segmentación de las tramas de tal manera que se segmentan

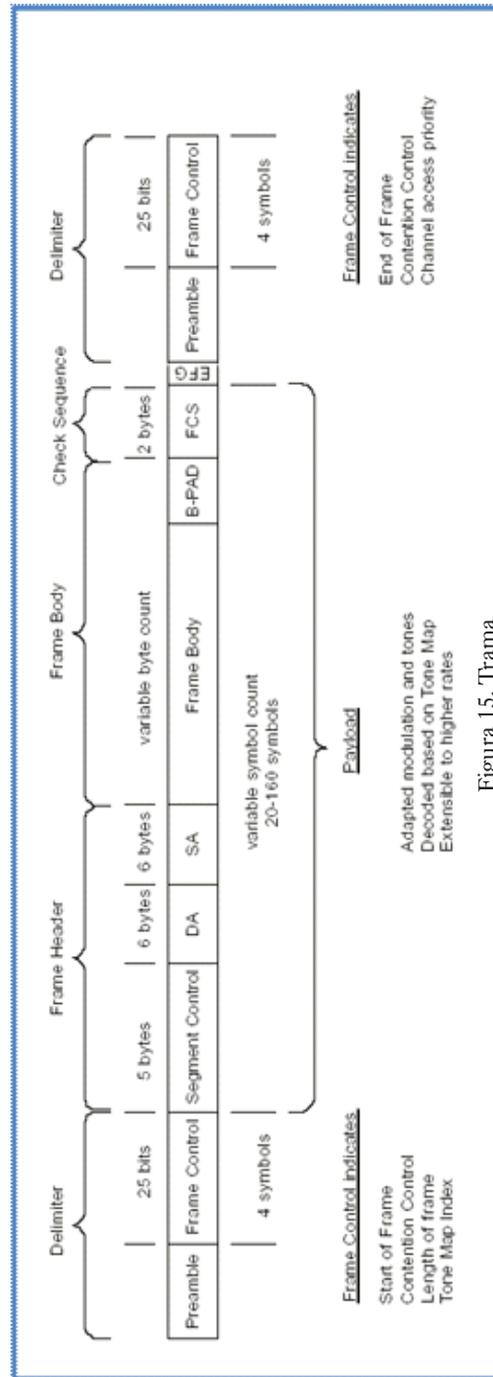


Figura 15. Trama

aquellas tramas que excedan una determinada duración y que demoran a las tramas de alta prioridad, de modo que estas últimas pueden enviarse entre la transmisión de una trama segmentada de menor importancia.

## **Seguridad**

Para solucionar el problema de la seguridad en las transmisiones PLC en múltiples viviendas y dado que varios usuarios van a compartir una misma línea eléctrica, el hardware para la implementación física de la tecnología PLC incluye mecanismos de encriptación, antes de su ingreso a la red eléctrica; de esta manera cada uno de los usuarios tiene confidencialidad en la transmisión de los datos.

En la red PLC, se pueden usar básicamente dos tipos de encriptaciones:

- DES (Data Encryption Standard) o TDES

Este algoritmo trabajaba sobre bloques de 56 bits con igual longitud para la clave ó TDES que trabaja con 112 bits. Se basan en la lógica booleana y puede ser implementado fácilmente. Esta es la forma de encriptación más utilizada y viene con el software junto a los modem que se venden a los usuarios y es la que usaremos en este proyecto.

- AES (Advanced Encryption Standard)

Utiliza 128 bits como tamaño de bloque y 128, 192 o 256 como tamaño de llave, es utilizado para aplicaciones gubernamentales u otras que requieran un alto nivel de seguridad en la transmisión de datos.

## **Desventajas de PLC de banda ancha**

Los inconvenientes presentados por la introducción de la banda ancha en redes de energía eléctrica pueden categorizarse en tres áreas:

- Entre las redes privadas y públicas
- Políticas de telecomunicaciones
- Interferencia en radiocomunicaciones

Las soluciones a los mismos llevan a la necesaria estandarización de esta tecnología.

## **Ventajas de PLC sobre otras tecnologías**

- Economía de instalación
  - Sin obra civil
  - Cada instalación en un transformador da acceso entre 150-200 hogares
- Anchos de banda muy superiores a ADSL
  - El límite de velocidad promedio practico para ADSL es 2 MB, el PLC puede llegar a ofrecer hasta 200MB
  - Precio competitivo frente a ADSL
  - Buena calidad VoIp (voz sobre IP)
  - Velocidades y demás parámetros de conexión aceptables según lo ofertado
- Estabilidad frente a interferencias

## **Software**

El software de gestión de la red PLC es el que acompaña a la compra de los equipos, cuya metodología de adaptación en caso de ser necesaria, se elige en base a las siguientes consideraciones:

- La implementación de conectividad en un sistema PLC se planifica a corto plazo, si no existen problemas de interferencia, debido a que ocupa las instalaciones existentes.

- La fecha finalización del proyecto va a depender de los tiempos de desarrollo o adaptabilidad y puesta en funcionamiento del software es por ello que se requiere un marco de trabajo ágil en donde se midan los avances en función de prototipos.

- La aplicación de PLC es una tecnológica poco desarrollada en nuestro país.

De acuerdo a lo antes mencionado consideramos que la metodología que mejor se adapta a este contexto es la de, programación extrema (Kent Beck, 1999). Cuyas características principales son las siguientes.

- Desarrollo basado en iteraciones incrementales, usando requerimientos (userstories) como guía.
- Muchos lanzamientos con pequeños cambios
- Simplicidad.
- Refactorización (reescritura de código/diseño para mejorar la legibilidad y/o comprensión del mismo sin cambiar el significado). Constante interacción con el cliente durante todo el desarrollo (userstories, dudas durante el desarrollo, pruebas de aceptación. . . ).
- Codificación en parejas.
- Propiedad colectiva de todo el código
- Pruebas unitarias codificadas antes que el propio código, que deben ser pasadas antes del lanzamiento del mismo
- Pruebas de integración e integración del código realizadas secuencialmente y de forma frecuente
- Pruebas de aceptación realizadas frecuentemente

## **Software de gestión para la red PLC**

El sistema gestor y de monitoreo de redes consta de cuatro componentes fundamentales:

- Estación de Gestión o Gestor
- Agente
- Base de información de gestión o MIB
- Protocolo de gestión

Estación de Gestión: Representado por la interfaz entre el Administrador de red humana y el sistema de gestión de red PLC

Agente: Es un modulo residente en los dispositivos o elementos gestionados, que responde a la estación de gestión.

Base de Información MIB: Es una colección de objetos

Protocolo de gestión: SNMP (Simple Network Management Protocol), este protocolo vincula la estación de gestión y el agente de red PLC.

Tomamos como referencia el software de gestión MNS500 que tiene cinco módulos independientes relacionados entre si mediante una base de datos, y cada módulo provee diferentes prestaciones, similar a otros que también utilizan el protocolo SNMP que tienen prestaciones similares y que adjuntamos al trabajo.

Ejemplo:

## **Gestor nms500 (network management system)**

Hardware recomendado para la gestión de la red PLC

- Core Dos Duo, 2. 4 Ghz o superior
- Puerto Ethernet 10/100 base T
- Sistema de operación: Win XP o WinSeven
- RAM: 4Gb
- La base de datos usada es MySQL
- Los protocolos usados son: SNMP V2c

## **Software para medición de los parámetros de la red PLC**

Para la medición de los parámetros de la red PLC es necesario el desarrollo de un software de evaluación de los valores correspondientes a la velocidad de conexión, tanto de carga como de descarga, el tiempo de respuesta o latencia, y los tiempos específicos correspondientes a carga y descarga de archivos típicos como ser de sonido, fotos, videos, velocidad de carga o envíos de e-mail.

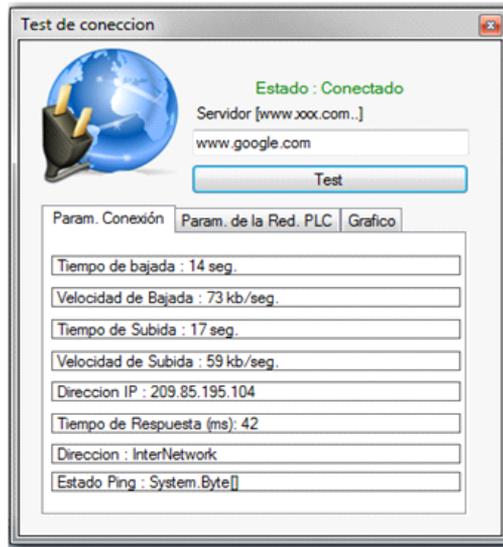


Figura 16. Software de control de parámetros de PLC

Para el desarrollo del software se utilizó Visual Basic. Net, midiéndose los parámetros enunciados anteriormente, la necesidad del desarrollo del software está vinculada a la necesidad de contar con valores precisos en la determinación que se desea hacer de los mis-

mos. Aunque en diferentes páginas de internet es posible realizar un análisis similar, cada una de ellas habitualmente determinan resultados diferentes para pruebas realizadas en la misma sesión y para idénticas condiciones.



Figura 17. Tiempos de carga y descarga de archivos en la red PLC

Para la realización de las comparaciones en las velocidades de subida y descarga se realizó un gráfico de barra, utilizando las librerías Drawing incorporadas en el Framework de .NET.

El software desarrollado nos permite determinar los parámetros de la red PLC en todos sus puntos de acceso de los clientes y poder realizar las correcciones correspondientes en caso de ser necesario.



Figura 18. Gráfico comparativo de velocidades en la red PLC

#### IV. Inserción – Modulación de la señal:



Figura 19. Inserción de la señal de internet

## Conclusiones generales

La tecnología PLC de última milla e In Home con acceso a banda ancha es tecnológicamente viable con ventajas comparativa respecto de otras tecnologías dado que usa la infraestructura existente con mayor cobertura que otras y que da soporte a todos los servicios proporcionados por IP conocidos como quadplay.

Posterior a la realización de las mediciones realizadas por distintas universidades y pruebas realizadas por nosotros en el PLC indoor concluimos que esta tecnología es una solución alternativa a los actuales medios de distribución y acceso a la red, especialmente en lo referente a los servicios de última milla, donde se requiera llegar a lugares inaccesibles por otras tecnologías, o a zonas alejadas de los grandes centro urbanos cumpliendo en este caso una función social al permitir a los usuarios de dichos lugares la posibilidad de acceder a la información necesaria para su desarrollo.

Teniendo en cuenta la medición de armónicos y demás interferencias realizados por la universidad de Cádiz y la experiencia de EDENOR en nuestro país, y la nuestra propia al inducir ruidos habituales en sus diversas formas en la prueba realizada, se concluye que las mismas no son de importancia para las frecuencias de operación de los sistemas PLC, ya que son inexistente o de amplitudes despreciables.

De las experiencias realizadas por diferentes prestadoras de electricidad y por la nuestra deducimos que esta tecnología a pesar de ser robusta requiere de una adecuación de la red de distribución para evitar principalmente energía reflejada, ruidos por empalmes etc., que son de gran importancia a la hora de implementar los servicios de PLC.

Aun que todavía está en desarrollo, PLC es

una robusta tecnología emergente, que puede mejorarse en aspectos, como los niveles de radiación, que es causa de discrepancias entre empresas prestadoras y radioaficionados, también se requiere de una normativa regulatoria, que posibilite el desarrollo pleno para los sectores de electricidad y de telecomunicaciones, haciendo posible que se establezca definitivamente como una tecnología alternativa de uso masivo.

## Bibliografía

- Albitel. 2008. Albitel. *Topología de la red PLC*. [En línea] 2008. [Página vigente al: 02 de 04 de 2010. ] <http://www.albitel.com/powerline3.htm>.
- Arroyane Contreras, Jesús Humberto. 2009. Viabilidad de una red de datos sobre las líneas eléctricas para la Universidad de Quindío Colombia. [En línea] 2009. [Página vigente al: 05 de 09 de 2010. ] <http://www.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistadyp/Articulos/Articulo%20-%20PLC.pdf>.
- Baillarie Paul, Muñoz Ariel, Chong Cristian. 2007. *Power Line Carrier Communications*. Madrid : s. n. , 2007.
- Bruno, Lucas. 2010. Ingeniería Eléctrica Aplicada. *Ingeniería Eléctrica Aplicada*. [En línea] 2010. [Página vigente al: 26 de 02 de 2010. ] <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com/2010/02/espana-la-subestacion-electrica-de.html>.
- Bustillo. 2008. Banda Ancha Sobre Red Eléctrica. *Banda Ancha Sobre Red Eléctrica*. [En línea] 2008. [Página vigente al: 06 de 12 de 2008. ] [http://www.andeanlawyers.com/banda\\_ancha\\_sobre\\_red\\_electrica\\_.htm](http://www.andeanlawyers.com/banda_ancha_sobre_red_electrica_.htm).
- Cajal, I Ramón y. 2005. *Ondas y Sonidos*. Huesca España : s. n. , 2005.
- Caseres. 2003. *Telecomunicaciones Avanzadas y Tecnologías IP*. 2003.

- Castilla, Francisco. 2008. Slideshare. [En línea] 5 de 10 de 2008. [Página vigente al: 04 de 11 de 2008. ] <http://www.slideshare.net/angelespuertas/mtodos-de-acceso-a-internet>.
- CENTElsa. 2008. *Cables y Tecnología*. Yumba Colombia: Centelsa, 2008.
- Clarín. 2010. clarín. [En línea] 02 de 03 de 2010. <http://www.clarin.com/diario/especiales/Interenar/home.html>.
- CMT. 2008. OFDM. *OFDM*. [En línea] CMT Telecomunicaciones, 2008. [Página vigente al: 10 de 04 de 2010. ] <http://es.wikitel.info/wiki/OFDM>.
- COIT. 2009. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones de España. *Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones de España*. [En línea] COIT, 2009. [Página vigente al: 12 de 08 de 2009. ] <http://www.coit.es/>.
- Colmerarejo, Julio José Berrocal. 2003. *Redes de acceso de banda ancha: arquitectura, prestaciones, servicios y evolución*. s. l.: Ministerio de Ciencia y Tecnología: Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información, 2003. 8474749964, 9788474749960.
- Comer, Douglas E. 1997. *Redes de Computadoras, Internet e Interredes*. s. l.: Prentice-hall Hispanoamérica, s. a. , 1997. 970170021X, 9789701700211.
- DS2. 2008. Enjoy Connectivity. *Enjoy Connectivity*. [En línea] DS», 2008.
- Edminister. 2005. *Circuitos Eléctricos*. Madrid: MCGRAW-HILL, 2005.
- Electricasas. 2008. electricasas. *Sistema de suministro eléctrico*. [En línea] 2008. [Página vigente al: 04 de 09 de 2008. ] <http://www.electricasas.com/electricidad/instalaciones-electricas-electricidad-2/suministros/sistema-de-suministro%20electrico/>.
- Elisa García, Miguel A. Chimenó, Luis Legorburu. 2007. *Open PLC European Research Alliance*. Madrid: IBERDROLA Ingeniería y Consultoría, 2007.
- ENDESA. 2004. *Connectivitat a través de la xarxa elèctrica*. Barcelona : ENDERSA, 2004.
- García, Rapa. 2006. Administración y TIC. *Administración y TIC*. [En línea] GARCIA RAPA, 2006. [Página vigente al: 10 de 11 de 2008. ] <http://administracion-tic.blogspot.com/2006/05/la-iso-17799.html>.
- Giboult, Garino, Fusario, Lechtaler, Sevilla. 2007. *Comportamiento de la Tecnología PLC en la Red Eléctrica*. Buenos Aires: CACIC, 2007.
- IBERDROLA. 2010. Iberdrola. *Iberdrola*. [En línea] 2010. [Página vigente al: 10 de 04 de 2010. ] <http://www.iberdrola.es/webibd/corporativa/iberdrola?IDPAG=ESWEBINICIO>.
- Isaac. 2006. Técnicos en adsl e internet. *Técnicos en adsl e internet*. [En línea] 2006. [Página vigente al: 11 de 09 de 2009. ] <http://tecnicosadsl.wordpress.com/2006/09/11/plc-power-line-comunications/>.
- M. Caballero, José. 1998. *Redes De Banda Ancha*. Barcelona: Marcombo, 1998. 9788426711366.
- Mascareñas, Bakkali, Martín, Sánchez de la Campa, Abad, Barea, . 2006. *Sistemas de Comunicaciones a través de la Red Eléctrica. Efectos del PLC en los unifamiliares*. Cádiz: Universidad de Cádiz, 2006.
- Matkke. 2008. Transformadores Toroidales. *Trnasformadores Toroidales*. [En línea] 2008. [Página vigente al: 02 de 03 de 2010. ]
- Mirón, Alejandro. 2006. *PLC Como Tecnología de Última Milla*. Lima: MTC, 2006.
- Moreno Coy, Octavio Andrés. 2009. *Ruidos en redes de distribución de baja tensión*. Bogotá - Colombia : s. n. , 2009.
- Netgear. 1996. Netgear. *Netgear*. [En línea] 1996. [Página vigente al: 06 de 02 de 2010. ] <http://www.netgear.com/Countries.aspx>.
- Opera. 2010. OPERA project. *OPERA project*.

- [En línea] 2010. [Página vigente al: 26 de 04 de 2010. ] <http://www.ist-opera.org/>.
- PCPAUDIO. 2010. Fuentes de Alimentación de alta potencia. *Fuentes de Alimentación de alta potencia*. [En línea] 2010. [Página vigente al: 20 de 04 de 2010. ] [http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc\\_amplificadores/Fuentes/Fuentes.html#inicio](http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_amplificadores/Fuentes/Fuentes.html#inicio).
- Perez, Mendez. 2002. *Tecnología Powerkine*. Valencia: ISA, 2002.
- PLC, Foro. 2006. PLC Argentina. *PLC Argentina*. [En línea] 2006. [Página vigente al: 01 de 04 de 2010. ] <http://www.plcforum.org.ar/new/quad.html>.
- Stremler. 2000. *Sistemas de Comunicación*. DF Mexico: Alfa Omega, 2000.
- Tanenbaum, Andreuw S. 2003. *Redes de computadoras*. s. l. : Pearson Educación, 2003. 9702601622, 9789702601623.
- Textoscientificos. 1997. Textoscientificos. *Líneas aéreas de alta tensión*. [En línea] 1997. [Página vigente al: 04 de 09 de 2008. ] <http://www.textoscientificos.com/fisica/transmision-energia/lineas-alta-tension>.
- Tomasi, Wayne. 2003. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. DF México: Pearson, 2003.
- UDLAP. 2009. *PLC*. DF México: UDLAP, 2009.
- UNICROM. 2002. Filtro Electrónico. *Filtro Electrónico*. [En línea] 2002. [Página vigente al: 14 de 02 de 2010. ] [http://www.unicrom.com/tut\\_filtroPasaBanda.asp](http://www.unicrom.com/tut_filtroPasaBanda.asp).