



Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo

Tesis de Grado

Previo a la obtención del título

Ingeniero en Telecomunicaciones
con Mención en Gestión Empresarial

Título:

“Estudio, diseño e implementación de una red de Área Local
con PLC para el área de Secretaría de la Facultad Técnica para
el Desarrollo de la UCSG”

Realizado por

Pedro Aquiles Santos Moreira

Jose Roberto Zavala Salazar

Director:

Ing. Manuel Romero Paz

Guayaquil – Ecuador
2009 – 2010



TESIS DE GRADO

Título:

**Estudio, diseño e implementación de una red de Área Local
en PLC para el área de Secretaría de la Facultad Técnica
para el Desarrollo de la UCSG**

Realizado por:

Pedro Aquiles Santos Moreira

Jose Roberto Salazar Vera

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones con Mención en Gestión Empresarial

Ing. Manuel Romero Paz

Director de Tesis

Ing.....

Vocal

Ing.....

Vocal

Ing. Héctor Cedeño

Decano de Facultad

Ing. Pedro Tutiven Gálvez

Director de Car

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestros padres, amigos y profesores, que nos han apoyado durante todos estos años de estudio y que nos acompañan ahora al concluir esta etapa. Agradecemos todo su esfuerzo y atención; el mérito de este proyecto es tanto de ellos como nuestro.

AGRADECIMIENTO

A nuestros profesores, guías durante todos estos años de esfuerzo y dedicación al estudio, de forma particular al Ing. Manuel Romero Paz, nuestro director de proyecto, gracias por todo el tiempo y atención. Agradecemos también a nuestras familias y DIOS, sin el cual nada sería posible.

Resumen

PLC (Power Line Communications, Comunicaciones por redes eléctricas) es una tecnología que actualmente permite brindar servicios de datos en banda ancha sobre las redes eléctricas.

En el presente trabajo se hará una breve revisión de las características, fundamentos técnicos y estándares de la tecnología **PLC**; luego se utilizará este conocimiento para formular criterios que permitan diseñar una solución de red de área local en **PLC** para la secretaria de la Facultad Técnica. Este diseño será implementado, y se describirá detalladamente el proceso de instalación y pruebas, detallando todos los procesos y variables a tomar en cuenta.

INDICE

INTRODUCCION.....	8
ANTECEDENTES.....	8
JUSTIFICACION.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
HIPOTESIS.....	9
OBJETIVO GENERAL Y ESPECIFICOS.....	10

1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TÉCNICOS DE PLC

1.1. Breve Reseña Histórica de la tecnología PLC.....	11
1.2. Aspectos Técnicos Principales.....	13
1.2.1. Estudio Y caracterización del Canal de Transmisión de PLC.....	14
1.2.1.1. Parámetros primarios de la línea de transmisión.....	16
1.2.1.2. Parámetros secundarios de la línea de transmisión.....	21
1.2.1.3. Características de fase del canal de transmisión.....	26
1.2.1.4. Perturbaciones que afectan el canal PLC.....	32
1.2.1.5. Modelo del canal PLC.....	40
1.2.2. Ventajas Y Desventajas de la Tecnología PLC.....	42
1.2.3. Clasificación de PLC.....	43
1.3. Descripción de Modulación/Multiplexación OFDM.....	46
1.3.1. Características de la Modulación OFDM.....	48
1.3.2. Sistemas que utilizan la Modulación OFDM.....	50
1.4. Normativas Técnicas y Estándares PLC.....	50
1.4.1. HomePlugAV.....	51
1.4.2. UPA HPC.....	51
1.4.3. La Norma UIT G.hn y la Recomendación G.9960.....	52

2. DISEÑO DE LA RED LAN-PLC DE 5 NODOS PARA LA SECRETARIA DE LA FACULTAD.

2.1. Criterios Técnicos para del Diseño de la Red PLC.....	55
2.1.1. Parámetros Eléctricos en la Red.....	55
2.1.2. Disposición del Circuito Eléctrico.....	56

2.1.3. Elección de Equipamiento.....	56
2.1.4. Otras consideraciones adicionales.....	57
2.2. Situación actual de la red y requerimientos para el nuevo sistema.....	58
2.3. Descripción y Diagrama de la nueva red LAN PLC de 5 nodos.....	58
2.4. Materiales y Equipamiento a utilizarse.....	59
2.4.1. Características del Adaptador PLC Belkin F5D4073.....	61
3. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED LAN PLC EN LA SECRETARIA DE LA FACULTAD	
3.1. Metodología de Trabajo para la instalación de la red PLC.....	63
3.1.1. Consideraciones Generales.....	63
3.1.2. Descripción de la Metodología de Implementación.....	64
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
BIBLIOGRAFIA.....	70
GLOSARIO.....	72
ANEXOS.....	77

INTRODUCCION

Antecedentes

El dinamismo de los sistemas de comunicación ha crecido vertiginosamente en los últimos años. Las personas buscan conectarse más rápida y eficientemente, y cada vez existen más dispositivos que se pueden integrar a las redes de comunicaciones (celulares, ipods, receptores de televisión **IP**, impresoras de red, discos duros compartidos).

En el marco de redes de área local, objeto de este estudio, existen varias alternativas de conexión. Todas estas suponen sin embargo la adición de una nueva red, dejando a un lado la red más común presente en el entorno local: la red eléctrica.

La tecnología **PLC** permite la utilización de esta red para la transmisión de datos, eliminando la necesidad de una red paralela para este fin.

Con la implementación de una Red de Área Local con tecnología **PLC** para la secretaria de la Facultad Técnica se pueden reemplazar esas dos redes por una sola, volviendo más efectiva la utilización de los recursos físicos y la disposición estética de la misma.

Justificación

Estos antecedentes muestran la necesidad dentro de la Facultad Técnica de contar con redes de comunicaciones mucho más flexibles, escalables y con una mayor eficiencia en la utilización del espacio físico, surge entonces la idea de proponer una implementación con tecnología **PLC** que sirva como un modelo para posibles implementaciones futuras en la facultad o en la universidad.

PLC es una tecnología que permite la transmisión de datos sobre un medio conductor que es simultáneamente utilizado para la transmisión de energía eléctrica.

Esta tecnología permite la reutilización o integración de las redes eléctricas existentes para la transmisión de datos. Su aplicación en un entorno de área local involucra la

utilización de las redes eléctricas que normalmente ya existen en los edificios, oficinas, casas, etc. para la creación de una red integrada, eliminando así la necesidad de instalar redes paralelas de datos.

Planteamiento del Problema

En el área de la secretaría de la Facultad Técnica existen actualmente tres redes: datos, telefonía y eléctrica, cada una con su respectivo cableado, al producirse ampliaciones y reparaciones se ha creado una cantidad desordenada de cables que podrían afectar la seguridad de la transmisión de datos lo cual afectaría el normal desenvolvimiento de las labores administrativas de la facultad.

Hipótesis

La utilización de la tecnología **PLC** para la implementación de una sola red en la que se propaguen los tres tipos de señales a través de la red eléctrica es una alternativa viable y eficiente para la creación de redes de datos en entornos locales y permitiría un mejor uso de los recursos físicos disponibles en la secretaria de la Facultad Técnica, mejorando también la disposición estética de la misma.

Objetivos

Objetivo General

Demostrar que la utilización de la tecnología **PLC** es factible y eficiente en entornos locales mediante la implementación de una red **LAN** de 5 nodos con tecnología **PLC** para el área de secretaría de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la **UCSG**.

Objetivos Específicos

- Realizar un estudio para establecer los fundamentos y requisitos técnicos para la utilización de tecnología **PLC**.
- Diseñar una red **LAN-PLC** de 5 nodos en función de la disposición actual de las estaciones de trabajo de la Secretaría de la Facultad a conectarse y el punto de acceso a la red de datos de la Facultad.
- Reemplazar la red eléctrica existente para los 5 nodos, con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento de la red **PLC**, y mejorar la disposición estética de la misma.
- Implementar la red **LAN** mediante dispositivos **PLC**.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TECNICOS DE LA TECNOLOGIA PLC

En el presente capítulo se realizará una rápida revisión de los antecedentes históricos de la tecnología **PLC** (Power Line Communications, Comunicaciones por Líneas de Potencia), para luego describir los principios técnicos básicos de la misma, incluyendo una revisión de cada una las técnicas utilizadas dentro de esta tecnología. Se revisará también las normas y estándares vigentes y en desarrollo para la tecnología **PLC**.

1.1 Breve Reseña Histórica de la tecnología PLC

Las precursoras de esta tecnología no son las empresas de telecomunicaciones, sino las compañías eléctricas. Desde hace muchos años existen en el mercado modelos de módem **PLC** usados por las empresas eléctricas para recoger datos de consumo y facturación, esos módems son muy lentos (9600 bps) y funcionan en una sola dirección (hacia la compañía), pero esa velocidad es suficiente para los fines indicados.

Sin embargo, la explosión de las tecnologías de la información está arrancando a las eléctricas de su letargo, y en todo el mundo se desarrollan proyectos de transmisión de datos a alta velocidad a través del tendido eléctrico. Algo que podría ser un gran negocio, con unas ventajas indudables

Desde los primeros años de la década de 1930, se han empleado las redes eléctricas como soporte de las comunicaciones, transmitiéndose voz y datos sobre los cables de la red de transporte de alta tensión, para aplicaciones de operación y control, en su forma de ondas portadoras analógicas de baja velocidad binaria de transmisión.

Desde entonces se consideró la posibilidad de utilizar la red eléctrica para fines diferentes a los que fuera diseñada originalmente, introduciéndose una tecnología que abriría, décadas más tarde, nuevas puertas en el campo de las telecomunicaciones.

Cincuenta años más tarde, en los años 80, para conseguir la automatización de la distribución y la gestión de la demanda, se realizan investigaciones y se desarrollan

proyectos orientados a la gestión de las funciones de lectura automática de medidores y control selectivo de cargas, propiciándose proyectos de **PLC** de banda estrecha, que no requerían un gran ancho de banda para su correcto funcionamiento.

En 1997, las compañías United Utilities, de Canadá, y Northern Telecom, de Inglaterra, presentaron al mercado una tecnología que podía conseguir que Internet fuera accesible desde la red eléctrica: el **PLC**. Desde entonces, las compañías eléctricas empezaron a pensar que podían sacar un mayor rendimiento a sus redes y han sido numerosas las iniciativas en el sector para llevar a cabo un despliegue masivo de este servicio de comunicaciones.

Luego fueron los alemanes los que se unieron a la carrera por desarrollar la tecnología Power Line. A fines de 1999 y principios de 2000 España ingresó también en esta disputa a través de Endesa.

En la actualidad, en algunos países como Austria o Suiza se ofrecen servicios básicos a un número relativamente bajo de usuarios. Alemania fue el primer país en ofrecer **PLC** comercial. La empresa pionera **RWE** (Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk) ofrecía servicios por unos 35 euros al mes, alcanzando en el 2001 los 20.000 abonados. Esto explica que los principales suministradores europeos de estos equipos fueran Siemens y Ascom (Suiza). El 30 de septiembre de 2002, **RWE** de Alemania cesó sus servicios de **PLC**, dando como motivo problemas regulatorios no resueltos de utilización del espectro.

El desarrollo de esta tecnología podría considerarse ligado al de los módems utilizados, los cuales pueden clasificarse desde un punto de vista generacional:

Primera generación: utilizaba módems con modulación **GSMK** (Gaussian Shift Minimum Keying, Codificación de Mínimos Gaussianos) conjuntamente con **DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum, Espectro Ensanchado con Secuencia Directa) y permitían alcanzar velocidades de 1 a 4 Mbps.

Segunda generación: con modulación **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Multiplexión por División de Frecuencias Ortogonales) se consiguen velocidades hasta de 45 Mbps y ofrecen mayor resistencia a las interferencias del canal.

Tercera generación: mediante el desarrollo de **OFDM** se obtienen velocidades de 200 Mbps., con una eficiencia espectral de 8 BIT/Hz de ancho de banda y una **B.E.R.** (Bit Error Ratio, Tasa de error de Bits) típica de 10^{-9} a 10^{-6} , con un retardo menor a 3 ms.

Esta evolución generacional se resume en la Figura 1.1:

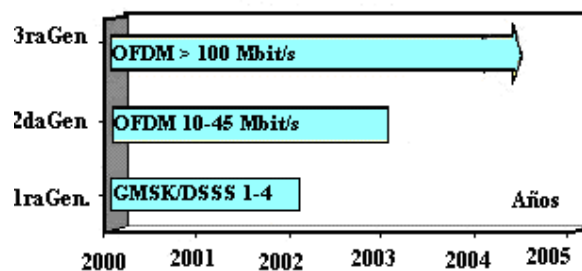


Figura 1.1 Evolución de la tecnología PLC

1.2 Aspectos Técnicos Principales

PLC son las siglas de Power Line Communication, tecnología que permite la transmisión de voz y datos a través de la red eléctrica existente. Se trata de aprovechar la ubicuidad de la mayor red construida por el hombre, convirtiéndola en una de las mayores redes de telecomunicaciones, siendo un complemento para las redes telefónicas y de datos; facilitando el acceso a Internet y la distribución de servicios de información, tanto en entornos externos como internos.

Para el caso del acceso a Internet, al usuario le basta un módem **PLC** conectado a cualquier enchufe eléctrico para recibir la conexión de banda ancha, sin que sea necesario el tendido de ningún cable nuevo, lo cual implica una ventaja económica y estética.

En ambientes internos (Redes de área local, caseras o de oficina) la utilización de la tecnología **PLC** facilita la adición de nuevos puntos o estaciones de trabajo a la red, y

permite la reutilización de la red eléctrica ya instalada, una vez mas brindando ventajas económicas y estéticas.

Entre las principales características de la tecnología **PLC**, se destacan las siguientes:

- Es una tecnología de banda ancha
- No afecta la frecuencia de la corriente eléctrica (50-60 Hz),
- Opera en la banda de 1,8 a 30 MHz
- Alcanza velocidades de transmisión de hasta 200 Mbps
- Permite la transmisión simultánea de voz y de datos
- Conexión permanente sin afectar la prestación del suministro eléctrico.

1.2.1 Estudio Y caracterización del Canal de Transmisión de PLC

Para la introducción y despliegue de sistemas **PLC**, es necesario tener un conocimiento detallado de las propiedades del canal de transmisión, tales como la función de transferencia, el escenario de interferencias y la capacidad del canal. Su entendimiento representa las bases para analizar la mayoría de las más poderosas técnicas de codificación y modulación. Entonces, las líneas de energía podrían ser capaces de proveer servicios populares tales como acceso a Internet o redes dentro del hogar u oficina con costos mínimos. En este capítulo se analizan posibles formas para el modelaje de canales de transmisión sobre la red de distribución de bajo voltaje junto con varias técnicas de modulación y codificación. Los aspectos teóricos y técnicos presentados representan un conocimiento básico suficiente para el diseño del modelo del canal **PLC** que puede ser extremadamente útil para varias pruebas y comparaciones de rendimiento.

Para poder evaluar completamente el tipo de canal de transmisión de datos en una tecnología como **PLC**, primero se debe analizar el tipo de conductor que utilizan las redes eléctricas, que son el principal soporte para la transmisión, donde las líneas constituyen uno de los principales elementos que intervienen en la composición de dicha red eléctrica.

Como ya se indicó en el capítulo anterior, la interconexión de sistemas, el transporte y distribución de la energía se realizan por medio de líneas aéreas o cables aislados. En la interconexión entre redes regionales o nacionales y el transporte entre grandes centros de producción y consumo, en que se emplean altas tensiones con distancias de orden elevado, se utilizan exclusivamente las líneas aéreas.

En las redes de distribución en media tensión se utilizan líneas aéreas y cables aislados. En redes rurales, provinciales, o para distancias que superan algunos kilómetros, predominan las líneas aéreas. Las líneas subterráneas se utilizan en centros urbanos, zonas industriales densas o cortas distancias.

En baja tensión, en general se tienen distancias cortas y distribuciones directas a los usuarios, razón por la cual predominan los conductores aislados.

En casos de densidades de carga pequeñas y medias, se utiliza normalmente el sistema aéreo, en cambio para grandes densidades de carga en áreas congestionadas de las ciudades se utiliza el sistema subterráneo a lo largo de las calles.

Las líneas de transmisión se caracterizan por una serie de parámetros primarios y secundarios, los cuales no están concentrados en puntos específicos de la línea de transmisión, sino que cada longitud l del circuito presenta sus propios valores, por eso se denominan parámetros distribuidos. Por esta razón no se puede concentrarlos como parámetros individuales, excepto en el caso en que la longitud de la línea considerada sea menor que la longitud de onda de la señal a transmitir. A continuación se analizará la propagación de señales por la línea de transmisión considerando sus parámetros primarios y secundarios.

1.2.1.1 Parámetros primarios de la línea de transmisión.

Los parámetros primarios dependen básicamente de la construcción de los cables. Considerando que el cobre es uno de los principales materiales utilizados para la

construcción, el análisis se basará en conductores eléctricos de este material. Los parámetros primarios se clasifican en longitudinales y transversales.

Los parámetros longitudinales se caracterizan por la resistencia **R** distribuida de manera uniforme a lo largo del conductor y la inductancia **L** causada por el flujo de corriente eléctrica a través de la línea.

Los parámetros transversales están caracterizados por la capacitancia **C** debida al acoplamiento que se produce entre dos o más conductores aislados o aéreos y la influencia de los transformadores de distribución en los sistemas eléctricos. La conductancia **G** no se toma mucho en cuenta en este caso porque los cables de distribución eléctrica, aéreos o subterráneos, están normalmente separados a una cierta distancia por lo que es difícil la transferencia de corriente entre los conductores. En este caso, la forma típica de pérdida de potencia es por radiación en las líneas aéreas que normalmente no poseen cubierta.

Resistencia primaria R

La resistencia por unidad de longitud del conductor está distribuida de manera uniforme en toda su longitud y se expresa en **Ω/Km**. El comportamiento de la resistencia es diferente si la corriente es directa o alterna, pero en bajas frecuencias, como el rango de la voz, la resistencia es similar para los dos casos y solo depende de las características constructivas del conductor, por lo que puede representarse mediante la siguiente expresión:

$$R = \frac{\rho \cdot 2L}{S} = \frac{\rho \cdot 2L}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{8\rho \cdot L}{\pi d^2} \quad (\text{E1.1})$$

Donde: **ρ**: resistividad del conductor [Ω·mm²]

L: longitud del conductor [Km]

S: sección transversal del conductor

d: diámetro del conductor en milímetros [mm]

La expresión de la resistencia a la corriente directa en Ω/Km para el cobre es la siguiente:

$$r_{dc} = \frac{44}{d^2} \quad (\text{E1.2})$$

En los primeros 150 KHz la resistencia varía de una manera compleja con el aumento de la frecuencia. Al aumentar la frecuencia, el área transversal efectiva de circulación de la corriente disminuye respecto al área geométrica del conductor por el denominado **efecto pelicular** de la corriente. En este caso el campo magnético producido por la corriente puede ser descrito como un flujo de líneas circulares y concéntricas con el conductor.

Algunas de estas líneas magnéticas pueden atravesar el conductor y constituyen una parte de la corriente que viaja por el, por lo tanto la corriente que va por el centro del conductor es únicamente una parte de la corriente total. Al aumentar la frecuencia, la corriente tiende a concentrarse en la superficie del conductor.

En alta frecuencia, tanto la resistencia como la inductancia se pueden calcular mediante el empleo de funciones tabuladas, estas se derivan de funciones de Bessel. Para simplificar su complejidad y para los cables eléctricos separados, los utilizados en las redes de distribución, se consideran dos efectos resistivos: la resistencia a corriente directa y la resistencia por el efecto pelicular de la corriente. Ambos efectos producen la componente resistiva del conductor que depende de la frecuencia.

$$R_{ac} = r_{dc} \cdot F(m_r) \quad (\text{E1.3})$$

Donde: **F (m_r):** función obtenida mediante funciones de Bessel

$$m_r = 0.335d\sqrt{f(\text{KHz})} \quad (\text{E1.4})$$

f (KHz): frecuencia en KHz

Para frecuencias relativamente altas la variación de la resistencia es aproximadamente [16]:

$$R_{ac} = \sqrt{f} \quad (\text{E1.5})$$

Además, la resistencia de la línea de transmisión depende de la temperatura, pero en Ecuador la temperatura no varía significativamente por lo que no se considerará esta característica.

Inductancia primaria L

La circulación de la corriente por los conductores produce un campo magnético a su alrededor que se opone al flujo de corriente, esa fuerza de oposición es la inductancia distribuida L , la cual está determinada por las características constructivas del conductor. A menor diámetro del conductor y mayor separación entre los cables paralelos de la red de distribución eléctrica, mayor inductancia. Igual que la resistencia, la inductancia está distribuida a lo largo del conductor y se opone al paso de la señal a causa de la reactancia inductiva X_L que se produce. Es importante notar que la resistencia es directamente proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia, en cambio la reactancia inductiva es directamente proporcional a la frecuencia [16], sin considerar que la inductancia primaria L depende de la frecuencia:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (E1.6)$$

Donde: f : frecuencia de la señal en Hz

L : inductancia en Henrios

La inductancia por unidad de longitud está determinada por la inductancia interna y externa y es expresada en **mH/Km**:

$$L = L_i + L_e \quad (E1.7)$$

Donde: L_i : inductancia interna

L_e : inductancia externa

La inductancia externa L_e es independiente de la frecuencia y depende de las dimensiones geométricas del conductor. En cambio, la inductancia interna L_i es

inversamente proporcional a la frecuencia. El valor de la inductancia al aumentar la frecuencia depende del efecto pelicular, por el cual la corriente se mueve hacia la superficie disminuyendo el flujo interno y provocando la reducción de la inductancia interna L_i [16]. Con estas consideraciones, las dos inductancias se pueden expresar así:

$$L_e = 0.4 \ln\left(\frac{2a-d}{d}\right) \quad (\text{E1.8})$$

$$L_i = 0.1L(m_r) \quad (\text{E1.9})$$

Donde: **L(m_r)** : función obtenida de las funciones de Bessel
a : separación entre los conductores paralelos en milímetros
d : diámetro de los conductores en milímetros.

En el caso de los conductores eléctricos, la distancia de separación entre ellos y su diámetro es considerable, por lo tanto predomina la inductancia externa, mientras que la inductancia interna que depende de la frecuencia debe determinarse mediante las funciones de Bessel.

Capacitancia primaria C.

La capacitancia del conductor es independiente de la frecuencia, pero depende de la separación entre los conductores paralelos, puesto que se crea un efecto capacitivo que produce una reactancia capacitiva X_c que puede expresarse de la siguiente manera:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (\text{E.1.10})$$

Considerando que la separación entre los conductores paralelos **D** es grande, tal como se muestra en la Figura 3.1, la capacitancia producida entre ellos será pequeña, pero no debe despreciarse pues en la red de distribución eléctrica la mayor parte está constituida por cables sin aislamiento y por lo tanto con el aire como dieléctrico fundamental.

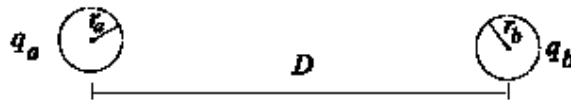


Figura 1.2 Línea monofásica para el análisis de capacitancias

En conclusión, en estos casos la capacitancia es inversamente proporcional a la distancia entre los conductores [16], de acuerdo a la siguiente expresión:

$$C_{ab} = \frac{2 \Pi \epsilon}{\ln (D/r)} \quad (E1.11)$$

Donde: D = distancia entre conductores

ϵ = permitividad del medio circundante

r = radio de los conductores

Conductancia o Permitancia primaria G .

Debido a que los conductores están muy separados en las líneas eléctricas el efecto de la conductancia es casi despreciable.

Aun no existe un modelo matemático preciso para la Conductancia G con la simplicidad apropiada para poderlo manejar. Este parámetro resulta de la observación de las “corrientes de fuga” describiendo una trayectoria de las fases a tierra. Principalmente, estas corrientes fluyen a través del aislador hacia la torre, siendo función de la eficiencia del aislador, la cual varía significativamente con el calor, humedad atmosférica, contaminación y salinidad del ambiente, entre otros factores. Por esta razón, obtener un modelo matemático representativo de este fenómeno, resulta una tarea compleja. Por otro lado, es común despreciar el efecto de estas corrientes de fuga, debido a que representan un porcentaje muy pequeño con respecto a las corrientes nominales de la línea.

Conociendo los parámetros primarios de la línea de transmisión R , L , C y G se puede determinar los parámetros secundarios.

1.2.1.2 Parámetros secundarios de la línea de transmisión.

Al igual que los parámetros primarios, los secundarios están distribuidos a lo largo de la línea de transmisión. En el caso de las líneas construidas de manera uniforme se puede considerar que los parámetros se encuentran distribuidos uniformemente a lo largo del conductor. Uno de los parámetros secundarios más importantes a considerarse en las transmisiones por conductores de cobre es la impedancia característica Z_0 (que permite determinar las condiciones óptimas de acoplamiento entre el generador y la carga para lograr la máxima transferencia de energía) conjuntamente con otros parámetros adicionales que establecen el nivel de calidad de la transmisión de señales, tales como los coeficientes de atenuación (que determina el alcance del sistema) y de variación de fase (que determina, en buena medida la interferencia intersímbolos) y la velocidad de propagación de la señal por la línea.

Impedancia del canal de transmisión.

La impedancia de la red eléctrica no influye directamente en la calidad de la señal transmitida pero si en la potencia del transmisor y depende de los siguientes factores:

1. La impedancia que presentan los transformadores de distribución de medio voltaje/bajo voltaje puesto que en la red eléctrica hay muchos acoplamientos inductivos de este tipo, en los que la impedancia es directamente proporcional a la frecuencia y se presenta una dispersión de la señal en el acoplamiento entre fases.
2. La impedancia característica de los cables es la impedancia de carga para la que no se genera onda reflejada de la misma al excitarla con una determinada señal. No depende de la longitud de la línea ni de la impedancia de los equipos terminales instalados, aunque establece características para esos equipos. La impedancia característica de una línea considerada de longitud infinita, viene dada por la relación entre el voltaje aplicado y la corriente alterna que circula por la misma en un punto cualquiera de ella:

$$Z_0 = \frac{V_s}{I_s} \quad (\text{E1.12})$$

La impedancia característica depende de los parámetros primarios de la línea. La resistencia y la inductancia varían con la frecuencia y por consiguiente varía la

impedancia característica del cable. También depende del calibre del conductor. Al aumentar las frecuencias de operación de los sistemas, disminuye la impedancia característica. Así, Z_0 es mínima para frecuencias mayores a 100 o 150 KHz y permanece casi constante para frecuencias superiores.

Resumiendo, Z_0 depende de los parámetros constructivos de la línea: material, longitud, calibre, etc. Varía su naturaleza inductiva a capacitiva y viceversa en tramos correspondientes a fracciones de longitudes de onda.

Entonces, en general se puede expresar que:

$$\frac{V_A}{I_A} = \frac{R + j\omega L}{\gamma} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G - j\omega C}} \quad (\text{E1.13})$$

$$\frac{V_B}{I_B} = -\frac{(R + j\omega L)}{\gamma} = -\sqrt{\frac{R - j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (\text{E1.14})$$

Donde la impedancia característica en cualquier punto x será:

$$Z(x, s) = \frac{v(x, t)}{i(x, t)} = Z_0 \left[\frac{e^{-\gamma(x-l)} + \rho e^{\gamma(x-l)}}{e^{-\gamma(x-l)} - \rho e^{\gamma(x-l)}} \right] \quad (\text{E1.15})$$

Siendo γ la constante de propagación compleja que será definida en el epígrafe siguiente.

3. La impedancia de los equipos conectados a la línea, los cuales normalmente se conectan en paralelo e influyen en el sistema las cargas más significativas.

Con el transcurso del tiempo la impedancia total de un sistema puede variar porque el estado de las líneas, la carga que fluye por la red y el punto de operación de los equipos puede cambiar, lo cual hace que el acoplamiento de impedancias sea complicado.

Como resultado de este análisis, se puede desprender que es necesario que la etapa de salida asociada a un módem **PLC** tenga una impedancia de salida muy baja.

Constante de propagación γ .

Si se considera una línea de transmisión homogénea cerrada por su impedancia característica, se produce una caída de voltaje y corriente a partir del origen que se puede expresar como:

$$V(x) = V_0 \cdot e^{-\gamma x} \quad (\text{E1.16})$$

Donde γ es la constante de propagación de la línea y varía según la frecuencia, con los parámetros primarios de la línea básicamente, por lo que puede expresarse en función de estos y de los coeficientes de atenuación α y velocidad de fase β , mediante la expresión:

$$\gamma^2 = (\alpha + j\beta)^2 = (R + j\omega L)(G + j\omega C) \quad (\text{E1.17})$$

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (\text{E1.18})$$

Atenuación del canal

La atenuación del canal depende de la topología de la red y las cargas conectadas a ella en cada instante. En general, se puede decir que la atenuación varía con el tiempo, la frecuencia, la topología de la red, las distancias, el número de cargas y las formas de acoplamiento (capacitiva o mediante transformadores) de las fases.

Coefficiente de atenuación α .

La amplitud de una señal que se propaga en una línea de transmisión disminuye gradualmente debido a las pérdidas que ocurren en la misma, las cuales dependen de la disipación de potencia en el cable, la energía electromagnética irradiada al espacio y la energía reflejada hacia el origen por la diversidad de las líneas eléctricas por sus empalmes de diferentes calibres y las secciones húmedas. Las pérdidas por la disipación de potencia se producen por la caída de voltaje en la resistencia serie distribuida a lo largo del cable y pueden expresarse como:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (\text{E1.19})$$

Como ya se expresó anteriormente, el voltaje y la corriente disminuyen exponencialmente al propagarse por el conductor de la siguiente manera:

$$I_1 = I_0 e^{-\alpha l} \quad (\text{E1.20})$$

$$V_1 = V_0 e^{-\alpha l} \quad (\text{E1.21})$$

En general, la atenuación del canal es el producto de las pérdidas en las líneas y las pérdidas por acoplamiento. Mediante un buen diseño de los transmisores y receptores es posible minimizar las pérdidas por acoplamiento, de esta manera, las pérdidas en las líneas se constituyen en la principal causa de la atenuación de la señal.

El coeficiente α se expresa en Nepers por metro (Np/m) pero generalmente se acostumbra usar decibeles y considerando las grandes distancias de los enlaces se utiliza como unidad el kilómetro, por lo que el coeficiente α se expresa en decibeles por kilómetro (dB/Km), siendo válido que

$$1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB} \quad (\text{E1.22})$$

Al incrementarse la frecuencia crece la atenuación debido al carácter pasabajo de la línea. Una solución sería disminuir la resistencia de los conductores aumentando el calibre de los mismos pero esto implica un mayor costo.

En las líneas eléctricas de baja tensión que utilizan conductores de menor calibre, la atenuación por pérdidas en las líneas es de 10 a 12 dB/Km [18]. La variación de las cargas en las redes eléctricas es la causa principal del aumento del coeficiente de atenuación.

En la propagación de señales de radiofrecuencia por la red eléctrica hay que considerar la atenuación que producen los continuos cambios de carga que soporta la red. De esta manera, a causa de los dispositivos que continuamente se conectan a la red, esta puede considerarse un medio hostil para las comunicaciones.

En las Figuras 3.2 y 3.3 se presentan ejemplos de la atenuación producida en un canal PLC por la variación de las cargas en la red eléctrica.

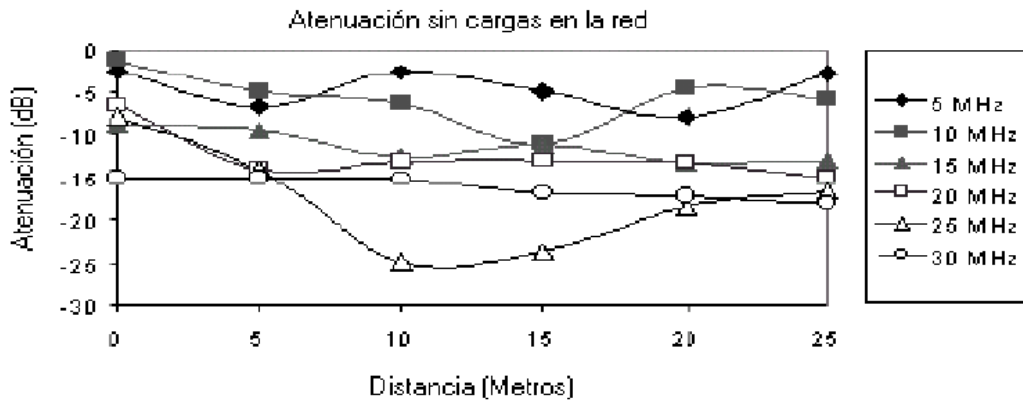


Figura 1.3 Atenuación en la red eléctrica sin presencia de cargas. (Tomado de IEEE Transactions on Power Delivery, Octubre del 2002)

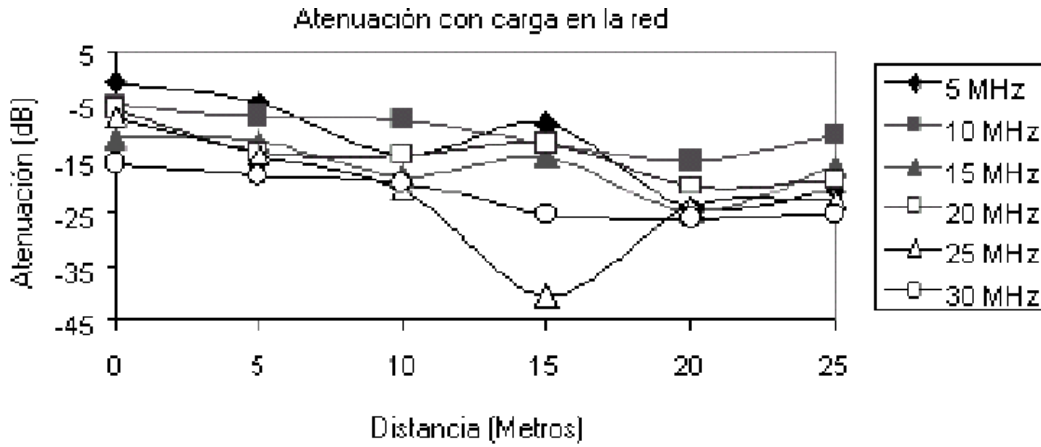


Figura 1.4 Atenuación en la red eléctrica con presencia de cargas. (Tomado de IEEE Transactions on Power Delivery, Octubre del 2002)

1.2.1.3 Características de fase del canal de transmisión

La **velocidad de fase** es aquella a la que se propaga la señal en la línea de transmisión y depende de la frecuencia de la onda si es una línea dispersiva [19]. El **coeficiente de**

variación de fase o **constante de fase β** es la diferencia de fase de la señal de voltaje entre un punto cualquiera de la línea y el origen y se expresa en radianes.

La **longitud de onda λ** , es la distancia x que viaja una onda por la línea de transmisión para una variación de fase de 2π , de tal manera que:

$$x = 2\pi \quad (\text{E1.23})$$

y: $\beta \cdot \lambda = 2\pi \quad (\text{E1.24})$

de donde:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (\text{E1.25})$$

o:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (\text{E1.26})$$

La velocidad a la que viaja una onda sinusoidal por una línea de transmisión es la velocidad de propagación de fase V_p . Si las ondas viajan a una velocidad de una longitud de onda λ por ciclo y la cantidad de ciclos por segundo corresponde a la frecuencia f de la señal, la velocidad de propagación de fase V_p , considerando que la fase varía 2π radianes en cada longitud de onda es:

$$V_p = \lambda f \quad [\text{metros/segundo}] \quad (\text{E1.27})$$

Entonces:

$$V_p = \frac{2\pi}{\beta} * f = \frac{\omega}{\beta} \quad (\text{E1.28})$$

Una onda repetitiva no sinusoidal incluye componentes de un número de frecuencias diferentes en que cada una viaja a una determinada velocidad de fase por la línea, lo cual se representa por la **velocidad de grupo V_g** . Para que todos esos componentes viajen a la misma velocidad y por lo tanto lleguen al otro extremo al mismo tiempo β debe variar linealmente con la frecuencia, o sea que ω/β debe ser constante para todas las frecuencias. β varía con la frecuencia de manera no lineal para bajas frecuencias.

Generalmente se considera la velocidad de grupo de una onda compleja en vez de la velocidad de fase de cada componente aisladamente, o sea que se considera la velocidad de propagación de la envolvente de la onda modulada. El inverso de la velocidad de grupo por la longitud de la línea determina el **retardo o demora de grupo**, que influye en la interferencia intersímbolos causando que las diferentes componentes espectrales tengan velocidades diferentes, esto es **distorsión de retardo de grupo**.

Coefficiente de reflexión ρ .

Si la línea de transmisión termina en una impedancia de carga Z_L diferente a la impedancia característica del sistema, ocurre un retorno de energía hacia la fuente, el cual puede ser parcial o total, lo cual se denomina reflexión de la señal o eco [19]. Por el contrario si la línea termina en su impedancia característica, es decir $Z_L = Z_0$, no ocurre ninguna reflexión, para lo cual debe cumplirse la siguiente expresión:

$$\frac{L}{C} = \frac{R}{G} \quad \text{o} \quad LG = CR \quad (\text{E1.29})$$

Si en el trayecto de la línea se produce alguna variación de la impedancia, se produce una reflexión parcial o total de la señal hacia la fuente. Por lo tanto, de la terminación de la línea depende la magnitud de la señal que se refleja hacia el emisor.

Si $Z_L = Z_0$, la potencia disipada viene dada por:

$$P = \frac{(V_{pp})^2}{Z_0} \quad (\text{E1.30})$$

En cambio si la impedancia de carga es diferente de la impedancia característica, la potencia transferida se determina por la expresión:

$$P = \frac{(V_{PP})^2}{Z_L} \quad (\text{E1.31})$$

En este caso pueden considerarse dos situaciones:

- Si $Z_L > Z_0$ una parte de la energía en la carga se refleja hacia la fuente y es absorbida por la resistencia interna de la misma.

- Si $Z_L < Z_0$ la carga puede disipar más energía de la que dispone y habrá una reflexión de pedido de mayor potencia que puede considerarse una reflexión negativa.

Adicionalmente a los inconvenientes a causa de la variación de las cargas, en la red eléctrica hay empalmes entre tramos de diferentes calibres o ramales múltiples que terminan en una impedancia de carga o no, lo cual produce una diferencia de impedancia entre tramos de una línea por lo que ocurren reflexiones de la señal hacia el emisor.

La relación entre el voltaje incidente V_A y el voltaje reflejado V_B permite determinar el coeficiente de reflexión de voltaje de la onda:

$$\rho_V = \frac{V_A e^{\gamma L}}{V_B e^{-\gamma L}} = \frac{V_A}{V_B} e^{2\gamma L} \quad (\text{E1.32})$$

Si la resistencia interna de la fuente R_S es igual a la impedancia característica, $R_S = Z_0$, los voltajes V_A y V_B pueden determinarse mediante las expresiones:

$$V_A = \frac{V_S}{2} \quad (\text{E1.33})$$

$$V_B = \frac{V_S}{2} e^{-2\gamma L} \left[\frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right] \quad (\text{E1.34})$$

Sustituyendo estas ecuaciones en la expresión para el coeficiente de reflexión de voltaje de la onda, se obtiene:

$$\rho_V = \left[e^{-2\gamma L} \left(\frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right) \right] e^{2\gamma L} \quad (\text{E1.35})$$

Entonces, el coeficiente de reflexión de voltaje para la carga es:

$$\rho_V = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (\text{E1.36})$$

Y el coeficiente de reflexión de voltaje para el emisor es:

$$\rho_g(s) = \frac{Z_s - Z_0}{Z_s + Z_0} \quad (\text{E1.37})$$

Expresión en la que se aprecia la relación entre el coeficiente de reflexión y la impedancia característica de la línea.

Función de transferencia del canal de transmisión.

El comportamiento de un sistema en el dominio de la frecuencia puede ser descrito mediante su función de transferencia. Así, hay dos funciones de transferencia que pueden utilizarse para las líneas de transmisión que estamos analizando: la de voltaje y la de corriente de la línea de transmisión respectivamente. En este análisis se está asumiendo una línea de longitud l , con una impedancia Z_L en el punto $x = l$, como se observa en la Figura 3.4.

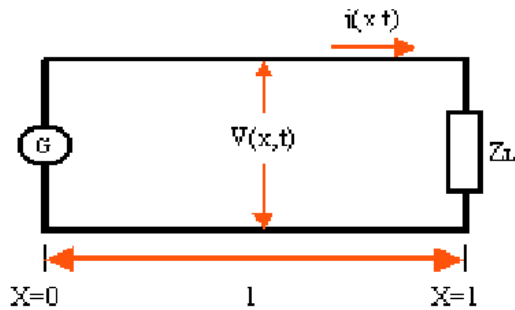


Figura 1.5 Línea de transmisión de longitud l con un generador de entrada

Mediante estas funciones de transferencia se representa las respuestas de voltaje y corriente del conductor en el punto $x = l$, para el voltaje e^{st} del generador ubicado a la entrada del cable ($x = 0$). Entonces, el voltaje y la corriente en cualquier punto de la línea de transmisión puede expresarse así:

$$v(x,t) = H_v(x,s)e^{st} \quad (E1.38)$$

$$i(x,t) = H_i(x,s)e^{st} \quad (E1.39)$$

De esta manera, se puede calcular la impedancia de la línea de transmisión en cualquier punto mediante la siguiente expresión:

$$Z(x, s) = \frac{v(x, t)}{i(x, t)} = \frac{H_v(x, s)}{H_i(x, s)} \quad (\text{E1.40})$$

Sustituyendo en esta ecuación la función de transferencia de la corriente y agrupando, se llega a la siguiente expresión:

$$\frac{d^2 H_v}{dx^2} = (R + j\omega L)(G + j\omega C)H_v = \gamma^2 H_v \quad (\text{E1.41})$$

Cuya solución general es:

$$v(x, t) = \left[V_A e^{-\gamma x} + V_B e^{\gamma x} \right] e^{st} \quad (\text{E1.42})$$

De la misma forma se deriva la siguiente expresión para la corriente de línea:

$$i(x, t) = \left[I_A e^{-\gamma x} + I_B e^{\gamma x} \right] e^{st} \quad (\text{E1.43})$$

V_A y V_B son constantes determinadas por las condiciones del entorno en la entrada y salida de la línea y evaluadas en el generador ($x = 0$) donde V_A es la diferencia entre el voltaje de la fuente y la caída de voltaje en la resistencia interna del generador:

$$V_A = V_S - iR_S \quad (\text{E1.44})$$

En $x = l$ se puede también evaluar una segunda condición del entorno en la que la relación de corriente y voltaje debe ser igual a la impedancia de carga:

$$\left. \frac{V(x)}{I(x)} \right|_{x=l} = Z_L = Z_0 \frac{(V_A e^{-\gamma l} + V_B e^{\gamma l})}{(V_A e^{-\gamma l} - V_B e^{\gamma l})} \quad (\text{E1.45})$$

V_A y V_B también pueden calcularse por el coeficiente de reflexión:

$$V_A = \frac{1}{1 + \rho(s) e^{-2\gamma l}} \quad (\text{E1.46})$$

$$V_B = \frac{\rho(s) e^{-2\gamma l}}{1 + \rho(s) e^{-2\gamma l}} \quad (\text{E1.47})$$

Las funciones de transferencia determinadas anteriormente para voltaje $v(x, t)$ y corriente $i(x, t)$ para la línea de transmisión serían:

$$H_v(x, s) = \left[\frac{e^{-\gamma(x-l)} + \rho e^{\gamma(x-l)}}{e^{\gamma l} + \rho e^{-\gamma l}} \right] \quad (\text{E1.48})$$

$$H_i(x, s) = \frac{1}{Z_0} \left[\frac{e^{-\gamma(x-l)} - \rho e^{\gamma(x-l)}}{e^{\gamma l} + \rho e^{-\gamma l}} \right] \quad (\text{E1.49})$$

Estas funciones de transferencia se han obtenido para un generador ideal, pero en la práctica debe considerarse su resistencia interna \mathbf{R}_S y por consiguiente el coeficiente de reflexión determinado por la diferencia entre la impedancia del generador y la de carga. Esta característica es muy importante para conductores eléctricos con cargas variables en el tiempo.

Para $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ y $\rho = \rho_L$ en la expresión de la impedancia característica de la línea:

$$Z_{eq} = Z_0 \frac{e^{\gamma l} + \rho_L e^{-\gamma l}}{e^{\gamma l} - \rho_L e^{-\gamma l}} \quad (\text{E1.50})$$

Al considerar la atenuación producida en los terminales de la línea por el factor:

$$\frac{Z_{eq}}{Z_s + Z_{eq}} \quad (\text{E1.51})$$

Se obtienen las funciones de transferencia de la línea [19]:

$$H'_v(s) = \frac{Z_0}{Z_0 + Z_s} \left[\frac{(1 + \rho_L(s))e^{-\gamma l}}{1 - \rho_L(s) \cdot \rho_S(s) \cdot e^{-2\gamma l}} \right] \quad (\text{E1.52})$$

$$H'_i(s) = \frac{1}{Z_0 + Z_s} \left[\frac{(1 - \rho_L(s))e^{-\gamma l}}{1 - \rho_L(s) \cdot \rho_S(s) \cdot e^{-2\gamma l}} \right] \quad (\text{E1.53})$$

Las causas de la distorsión en amplitud y fase que sufre la señal al propagarse por la línea están dadas por la presencia de un sistema cuya función de transferencia presenta un módulo no constante con frecuencia ($|H(f)| \neq K$) y una característica de fase no lineal con frecuencia ($\theta(f) \neq -2\pi f t_0$), respectivamente. También depende de las cargas conectadas a la red y de su topología y no tanto de la distancia entre transmisor y receptor. Para aplicaciones en el hogar, la atenuación entre sus distintas habitaciones no supera los 35 dB.

1.2.1.4 Perturbaciones que afectan el canal PLC

Es necesario ahora considerar las causas que producen perturbaciones en el canal **PLC**, las cuales pueden ser desde el ruido externo producido por los diversos dispositivos ligados a la red hasta aquellas introducidas por los mismos dispositivos **PLC**. Las redes eléctricas actúan como antenas transmisoras a las frecuencias de operación **PLC** y además son capaces de recibir cualquier señal en esa banda, lo cual provoca un alto nivel de ruido en las líneas.

Así, los ruidos e interferencias que se producen en **PLC** pueden clasificarse en aquellos que se presentan en el entorno local, en los hogares u oficinas y aquellos que se introducen en el trayecto de la red eléctrica a causa de la propia red o por las incompatibilidades con otros sistemas de comunicaciones en el entorno de la línea. Por lo tanto, el efecto que producen en la señal de datos transmitida en **PLC** las interferencias y el ruido, van a depender de sus niveles de potencia y sus anchos de banda.

Ruido en las líneas eléctricas

Se pueden detallar seis tipos de interferencias como las más comunes en la red eléctrica:

1. **Impulsos transitorios de voltaje** son altos voltajes que van de los 50 V hasta los kV, o altas corrientes que van de los A a los kA y que se inducen en las líneas eléctricas. Estos impulsos tienen un tiempo de elevación muy corto, aproximadamente 1 μ s y de descenso un poco más largo, caen al 50% de su valor máximo en 1 ms, son difíciles de detectar y no presentan patrones de frecuencias repetitivos. Es posible detectar la presencia de transitorios mediante analizadores de líneas, pero la señal de que se están produciendo es la presencia de errores en los datos, computadoras dañadas y circuitos destruidos. Estos transitorios ocurren si la corriente de una carga inductiva, como la provocada por motores, transformadores o bobinas, cambia rápidamente de valor a causa de los dispositivos conmutadores. También pueden inducirse en la red a causa de descargas eléctricas cercanas o porque otras líneas están siendo conmutadas.

Estos transitorios pueden dañar las computadoras y otros dispositivos electrónicos de acuerdo a la amplitud y duración del transitorio. Los daños que se producen pueden ser la destrucción de los componentes, inestabilidad del sistema o la memoria y degradación en la eficiencia de la operación del sistema.

2. **Los ruidos**, son señales de bajo voltaje, menos de 50 V, baja corriente, de los μA a los mA y alta frecuencia. Hay dos causas principales del ruido:

- **La EMI** (Electromagnetic Interference, Interferencia Electromagnética) causada por las cercanías de sistemas de alta potencia, líneas de transmisión de datos, motores, etc.
- **La RFI** (Radio Frequency Interference, Interferencia de Radiofrecuencia) causada por sistemas de radiofrecuencia cercanos.

2 **La distorsión armónica**, es la aparición de múltiplos de la frecuencia fundamental, llamados armónicos, en el canal. Una señal de 60 Hz no es típicamente sinusoidal y produce armónicos en 180, 300, 420, etc. Hz, únicamente los terceros, quintos y séptimos armónicos son considerados significativos. Estas distorsiones son causadas por la utilización de dispositivos no lineales y fuentes conmutadas en sistemas de computación.

La **distorsión armónica** se evalúa mediante el **factor de distorsión total** o **factor de distorsión armónica k** , que expresa la calidad de la transmisión y permite determinar el **índice de no-linealidad** o **factor de distorsión**, el cual relaciona las armónicas de una señal con su frecuencia fundamental de la siguiente manera:

$$k = \frac{\sqrt{a^2_1 + a^2_2 + \dots + a^2_n}}{a_1} = \frac{\sqrt{\sum_{n=1} a^2_n}}{a_1} \quad (\text{E1.54})$$

Donde $\mathbf{a_n}$ = valores efectivos de cada armónica

Mediante los valores $\mathbf{a_n}$ se puede establecer una relación entre las armónicas y la señal útil en porcentaje.

- 3 **Altos y bajos voltajes de línea**, que pueden detectarse fácilmente mediante un voltímetro y cuya causa puede hallarse en los paneles de distribución y en las líneas eléctricas altamente cargadas, el arranque o parada de motores y la mala regulación de voltaje. La duración de las variaciones de voltaje va de los 8,3 ms a los 2 segundos.

- 4 **No voltaje**, el cual es fácil de detectar y puede producirse por la caída de las líneas y circuitos eléctricos o por fallas en los transformadores, pueden durar desde un ciclo de 60 Hz (8,3 ms) hasta muchas horas, pero generalmente solo duran unos segundos.

- 5 **Voltaje a tierra no regulado**, si el voltaje a tierra supera los 2 V pico a pico puede provocar daños en los sistemas conectados a la red. Pueden ser provocados por la excesiva longitud de los cables, fallas en el aterramiento, etc.

Estos problemas no ocurren aisladamente unos de otros y en la práctica se presentan combinaciones de ellos. Por ejemplo: los transitorios van combinados con el estado de no voltaje, los altos o bajos voltajes causan ruido si las fuentes de los equipos electrónicos operan con voltajes de entrada distintos para los que fueron diseñados.

Los porcentajes de incidencia de estas perturbaciones en un sistema eléctrico externo se muestran en la Figura 3.5.

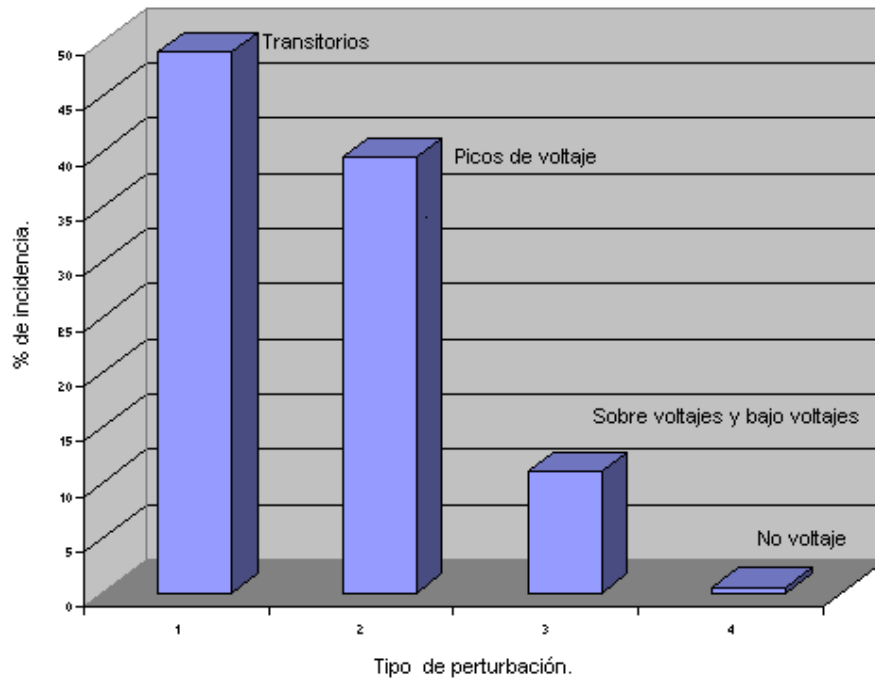


Figura 1.6 Porcentaje de incidencia de las principales perturbaciones presentes en la red eléctrica.

Puede notarse que las perturbaciones transitorias tienen el mayor porcentaje de incidencia y en la práctica son las que mayor efecto causan en el canal **PLC**, los ruidos electromagnéticos y de radiofrecuencia por su gran ancho de banda son también significativos.

Sin embargo, la mayoría de estas perturbaciones no afecta a la señal **PLC**, a menos que sea una caída de línea o interferencias de mayor ancho de banda y potencia, pero hay que considerarlas especialmente por los dispositivos usados para contrarrestarlas que pueden afectar la señal de datos.

Soluciones

Para solucionar las interferencias en la red eléctrica se fabrican equipos cada vez más seguros para proteger a los sistemas eléctricos de las interferencias. Las empresas eléctricas dentro de un cierto estándar procuran ofrecer un servicio lo más estable posible y libre de interferencia. Algunos de estos dispositivos para proteger contra las interferencias o corregirlas son los siguientes:

1. **Transformadores de aislamiento:** se usan para rechazar el ruido de modo común pero no son eficientes ante el ruido a modo normal. Permiten reducir o eliminar problemas causados en el voltaje de tierra.
2. **Transformadores de regulación:** incluyen los transformadores ferresonantes, electrónicos, de control de fase, multiprimarios, etc., que funcionan como un regulador para mantener el voltaje de salida constante para largas variaciones del voltaje de entrada dentro de las condiciones de regulación.
3. **Acondicionadores de línea:** permiten regular el voltaje y filtrar el ruido al mismo tiempo. El filtrado se realiza con filtros **LC** o amplificadores retroalimentados que disminuyen el ruido en las líneas. El ruido en modo común puede transformarse en ruido a modo transversal debido a los transformadores, para atenuar estos casos se usa un transformador de Faraday con blindaje en el primario y secundario. Los filtros se diseñan para una banda específica de frecuencia.
4. **Supresores de transitorios:** eliminan los altos voltajes de corta duración y alta potencia inducidos en la red eléctrica. Además permiten limitar los transitorios de voltaje a modo común y normal. Se encuentran en tres tipos: de alerta, de corte y combinaciones de ambos.

Los tiristores o rectificadores controlados de silicio actúan como supresores de corte pero son los menos usados. Los Diodos Supresores de Avalancha de Silicio (**SASD**) y los Varistores de Oxido de Metal (**MOV**) son los más usados. Los supresores combinados se denominan híbridos y pueden contener varias etapas.

Las características que deben considerarse para elegir el supresor adecuado son:

- **El nivel de protección de voltaje máximo o punto de alerta,** es el máximo voltaje que puede soportar el equipo protegido.
- **Disipación de potencia máxima,** sin exceder el nivel de voltaje de protección máximo.
- **Operación libre de interferencia,** el supresor no debe interferir con la operación del sistema que protege. Ciertos supresores híbridos oscilan con los equipos que usan fuentes conmutadas.

- **Fiabilidad**, implica la habilidad de manipular muchos transitorios de voltaje sin degradar sus características o sin fallar.
 - **Tiempo de vida**, es el tiempo de trabajo del supresor antes de degradarse o fallar.
5. **Filtros**: permiten atenuar ruidos eléctricos presentes en las líneas eléctricas del modo normal o común. Tienen un máximo de atenuación para una banda de frecuencia determinada. Su efecto sobre los transitorios es muy pequeño pues esta clase de interferencia ocupa un gran ancho de banda y los filtros solo actúan en un rango específico de este ancho de banda y los altos valores de energía de los transitorios pueden saturar los componentes de los filtros anulando su acción.
- 6 **UPS (Uninterruptible Power Supply, Fuente de Energía Ininterrumpida)**: provee voltaje alterno a los sistemas en caso de falla de voltaje y está en una situación de no voltaje.

La Tabla 3.1 presenta un resumen de los principales dispositivos usados contra las perturbaciones de la red eléctrica.

Tabla 1.1

	SOBRE VOLTAJE	ALTO Y BAJO VOLTAJE	NO VOLTAJE	RUIDO	IMPULSOS TRANSITORIOS
TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO					
TRANSFORMADORES DE BLINDAJE				X	
TRANSFORMADORES DE REGULACIÓN	X	X			
ACONDICIONADOR DE LÍNEA	X	X		X	
SUPRESOR DE TRANSITORIOS					X
FILTROS LC				X	
UPS	X	X	X	X	

Perturbaciones en el hogar u oficina

Es posible que las perturbaciones que afectan a **PLC** en la red eléctrica externa también afecten el sistema dentro del hogar u oficina.

- **Ruido impulsivo**, son eventos aislados, aunque frecuentes, causados por el encendido y apagado de aparatos eléctricos, o eventos periódicos, más habituales y críticos porque son impulsos de más duración y se producen a la frecuencia de la red (60 Hz) o armónicos superiores. Este ruido puede ser provocado en el hogar u oficina por los interruptores instalados en la red y el equipamiento propio de los hogares y cada impulso afecta un gran ancho de banda del espectro, siendo significativo desde unos KHz hasta los MHz.
- **Ruido tonal**, es también conocido como ruido de banda estrecha porque en dominio frecuencia se caracteriza por un espectro muy reducido y su importancia depende de la frecuencia en que está centrado.
- **Ruido de fondo**, es la componente de ruido que queda después de eliminar la componente impulsiva y la de banda estrecha en la red del hogar u oficina. Su potencia disminuye con la frecuencia. Presenta un espectro de frecuencia plano en un gran ancho de banda. Es causado por motores, por ejemplo de aspiradoras, herramientas, etc., que producen chispas en sus tomacorrientes y se presenta durante cortos periodos de tiempo. Para contrarrestarlo se emplean códigos correctores de errores. Su densidad espectral de potencia puede calcularse con la expresión [23]:

$$N(f) = 10^{K_{tr} - 3.95 \cdot 10^{-3} f / Hz} \quad [w / kHz] \quad (E1.55)$$

Donde K varía con el tiempo y la ubicación del transmisor y receptor. Teniendo en cuenta que estas variaciones son lentas en comparación con las velocidades de transmisión rápidas de la tecnología **PLC**, entonces este tipo de ruido puede ser considerado como estacionario. Para mediciones en largos periodos de tiempo K presenta una variación aproximadamente gaussiana con $\mu = -5,64$ y desviación estándar $\sigma = 0,3$ [23].

- **Ruido sincrónico frecuente**, se presentan frecuentemente otros ruidos en el canal **PLC** en el hogar u oficina, son los ruidos sincrónicos frecuentes y aparecen en las redes eléctricas provocados por los equipos reguladores de luz o dimmer light, que son disparadores controlados de silicio que según la cantidad de energía eléctrica producen cortes de corriente que determinan la intensidad de iluminación de los

bombillos en que están instalados. Esta conmutación de energía es sincrónica con la frecuencia de la red y produce armónicos de diferente amplitud, la cual es muy pequeña en comparación con la de la energía eléctrica pero puede ser significativa con las amplitudes de las señales de datos transmitidas por la red **PLC**. Aparecen entre los 100 y 150 KHz.

Las computadoras y los televisores producen un tipo de ruido conocido como los periódicos asincrónicos y su repetición es función de la velocidad de barrido de la pantalla de estos equipos.

1.2.1.5 Modelo del canal PLC

El entorno en que se desarrolla la tecnología **PLC** es muy variable y por lo tanto difícil para formar un modelo de simulación, aunque las redes eléctricas construidas con cables de cobre cuyos parámetros han sido estudiados a través de sus principales características, son muy conocidas, pero son muy diferentes las variables que provocan su desenvolvimiento final en la transmisión de datos debido a la variación de sus parámetros por el aumento de la frecuencia de la señal transmitida o por los continuos cambios de carga que debe soportar y los diferentes equipos electrónicos conectados a la red. Sin embargo, considerando los parámetros primarios y secundarios de la red **PLC** es posible elaborar una propuesta de modelo para este canal.

Las características básicas de las líneas de transmisión presentan una respuesta a los pulsos del tipo pasabajo e introducen una atenuación que aumenta con la frecuencia, esa respuesta al impulso $\mathbf{h}_e(t)$, del canal **PLC** puede expresarse así:

$$h_e(t) = \sum_{i=1}^N k_i \cdot \delta(t - T_i) \quad (\text{E1.56})$$

Donde: \mathbf{T}_i : representa los retardos que introduce el canal
 \mathbf{K}_i : representa la atenuación que introduce el canal para el i-ésimo pulso
 δ es la función impulso o delta de Dirac

Mediante la Transformada de Fourier de la expresión anterior se obtiene la función de transferencia del canal:

$$H_e(f) = \sum_{i=1}^N k_i \cdot e^{-2jT_i} \quad (\text{E1.57})$$

Los coeficientes k son función de la frecuencia y de las características del conductor, principalmente de la longitud, por lo que se puede determinar una relación más exacta para expresar los valores de k_i :

$$k(f, l_i) = a_i e^{-\alpha(f) \cdot l_i} \quad (\text{E1.58})$$

l_i es la longitud del cable y a es un factor de corrección de acuerdo a la topología de la red y $\alpha(\mathbf{f})$ es el coeficiente de atenuación del canal y depende de la frecuencia.

La función de transferencia puede reescribirse así:

$$H_e(f) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot e^{-\alpha(f) l_i} \cdot e^{-2jT_i} \quad (\text{E1.59})$$

Considerando que en la práctica otros factores con la variación de la frecuencia influyen en el valor de $\alpha(\mathbf{f})$, se puede describirlo más ampliamente así:

$$\alpha(f) = \alpha_R(f) + \alpha_G(f) = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_L}{2} \approx v_1 \cdot \sqrt{f} + v_2 \cdot f \quad (\text{E1.60})$$

$\alpha_R(\mathbf{f})$ representa la atenuación por el efecto pelicular y $\alpha_G(\mathbf{f})$ las pérdidas en el dieléctrico aislante del cable. La resistencia por unidad de longitud R , la conductancia transversal por unidad de longitud G y la impedancia característica del cable Z_0 pueden determinarse por las características geométricas del cable. v_1 y v_2 son constantes conocidas para los cables empleados en la red eléctrica.

Mediante el análisis teórico del canal **PLC** y las principales características de sus parámetros es posible presentar el modelo genérico del canal que se muestra en la Figura 1.8:

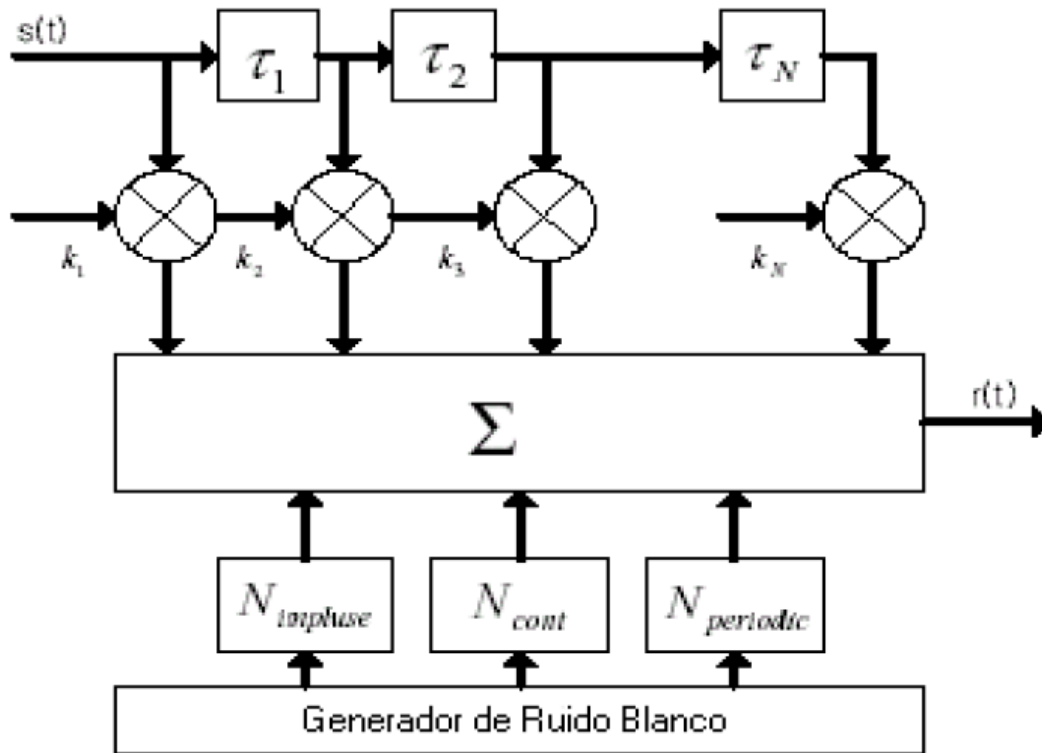


Figura 1.8 Modelo genérico del canal PLC

$s(t)$ es la secuencia de datos que ingresan al canal y $r(t)$ es la secuencia saliente. La inclusión del ruido que puede aparecer en el canal permite obtener una mejor aproximación a la realidad, los principales son el ruido impulsivo, el de tipo periódico y el ruido blanco gaussiano.

1.2.2 Ventajas y Desventajas de la Tecnología PLC

Ventajas

- Permite brindar todos los servicios de comunicación: Voz, Internet y eventualmente Televisión, así como el servicio eléctrico; a través de una única red. Esto se conoce como Cuatri-Play.
- Permite la utilización de la red más ubicua existente, la red eléctrica, para prestar servicios de banda ancha a lugares donde las redes de comunicaciones tradicionales no tienen cobertura.
- Para el caso de redes LAN (Local Area Network, Red de Área Local) en PLC, su cobertura de hasta 500 mts es mucho mayor que la provista por las

tecnologías tradicionales, como son 100 metros para **WIFI** (Wireless Fidelity, Redes Inalámbricas locales) sin obstáculos, o 100 metros para Fast Ethernet/**UTP** (Unshielded Twisted Pair, Par Trenzado sin Blindaje).

- En ambientes de oficina u hogar, la utilización de una única red es tanto un beneficio económico como estético para el usuario o administrador.

Desventajas

- Actualmente se encuentra aun en proceso de standardización, por lo que existen en el mercado varias opciones de equipamiento muchas veces incompatibles entre si.
- Si bien la integración de todos los servicios en una sola red es una ventaja económica y técnica, incrementa la responsabilidad sobre el mantenimiento y monitoreo de la misma, ya que de fallar el usuario se quedarían sin ninguno de los 4 servicios.
- Las bandas del espectro electromagnético utilizadas por **PLC** son también utilizadas por los radioaficionados; pruebas realizadas por este grupo indican que puede existir interferencia en la utilización de dichas bandas en zona aledañas a nodos o cabeceras **PLC**. Existen incluso procesos legales en ciertos países donde se busca hallar una solución para ambas partes.

1.2.3 Clasificación de PLC

PLOC (Power Line Outdoors Telecoms): Utilización de la red eléctrica como medio de acceso para servicios de banda ancha, voz, etc.; a través de una “Cabecera **PLC**” la red eléctrica se incorpora con la red de transporte de datos. De este mismo punto la última milla eléctrica, transporta el suministro eléctrico así como los servicios de datos hasta la ubicación del usuario.

En el domicilio del usuario se instala un **MODEM PLC** (similar a los de **ADSL**) donde se podrán conectar sus equipos de transmisión de voz y datos como computadoras, teléfonos, impresoras y potencialmente otros dispositivos preparados para ello (como alarmas, aire acondicionado, etc.).

La tecnología **PLC** basa su estructura de funcionamiento, en la utilización de los cables eléctricos de baja tensión como medio de transporte desde un Centro Transformador hasta el cliente, permitiendo entregar servicios de transferencia de datos.

Básicamente, esto transforma al cableado de baja tensión, en una red de telecomunicaciones donde los enchufes de cada hogar u oficina, se vuelven puntos de conexión, como se aprecia en la Figura 1.2.

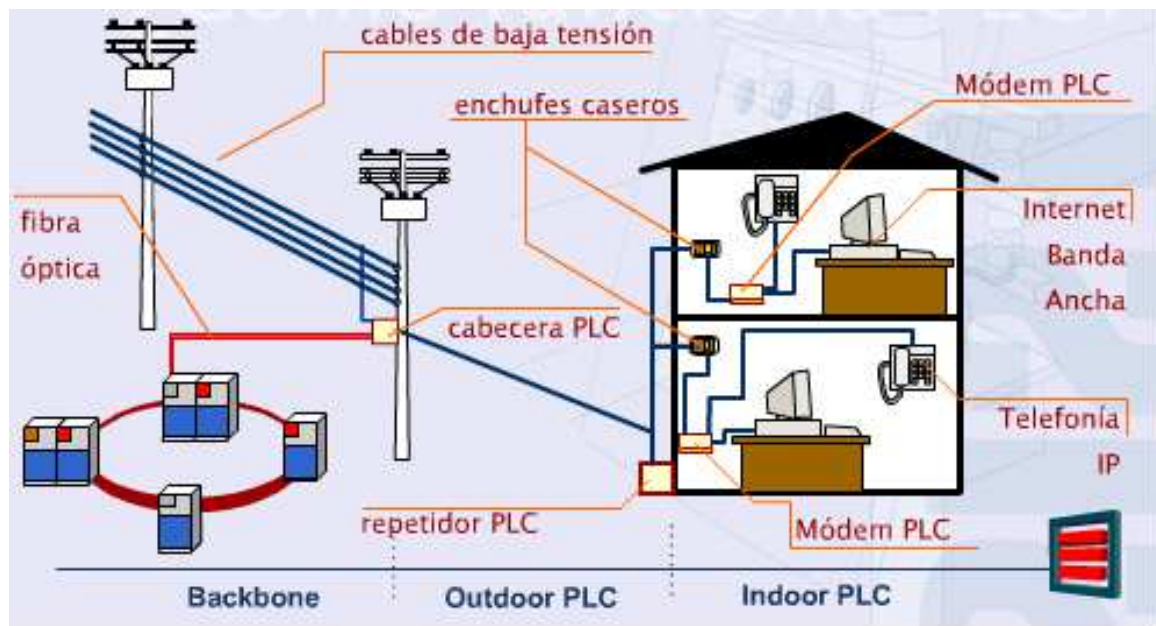


Figura 1.2 Arquitectura PLC

El primer sistema denominado “de Outdoor o de Acceso”, cubre el tramo de lo que en telecomunicaciones se conoce como “ultima 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 red de transporte de telecomunicaciones o backbone. De esta manera este equipo cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte.

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

Para comunicar estos dos sistemas, se utiliza un equipo repetidor, segundo elemento de la red **PLC**. Este equipo, que normalmente se instala en el entorno del medidor de energía eléctrica, esta compuesto de un **MODEM Terminal** y equipo cabecera. El primer componente de este repetidor recoge la señal proveniente del equipo cabecera del sistema outdoor y el segundo componente se comunica con la parte terminal del repetidor e inyecta la señal en el tramo indoor (Ver la Figura 1.3).

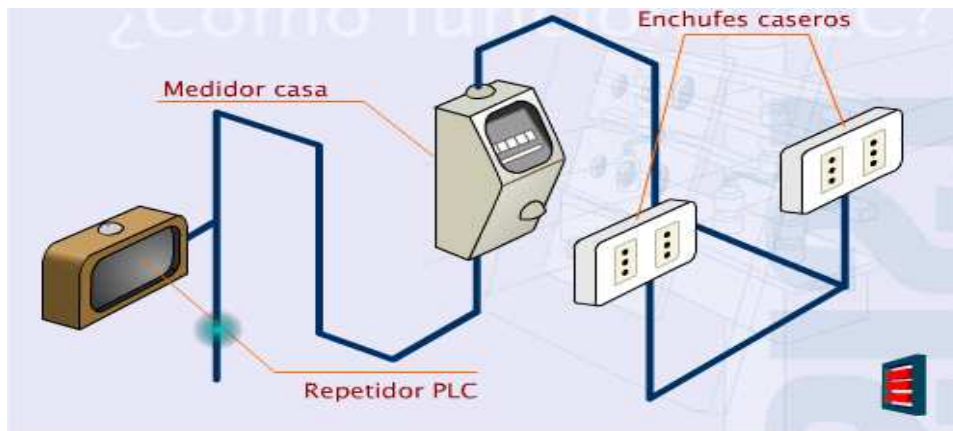


Figura 1.3 Sistema Indoor **PLC**

PLIC (Power Line Indoor Communications). La red eléctrica interna de las casas u oficinas es utilizada para la interconexión de las **PCs**, Teléfonos **IP** u otros dispositivos de comunicación en una red de área local (**LAN**). Esto permite compartir recursos como Internet, Impresoras, Almacenamiento masivo, etc.; así como la adición de nuevos puntos de red o estaciones de trabajo sin la necesidad de la instalación de una red interna paralela.

La tecnología “Indoor **PLC**” también puede ser utilizada en conjunto con “Outdoor **PLC**” para la distribución de los servicios de información que llegan a través de la red de acceso **PLC** directamente a los enchufes del edificio, casa u oficina.

Para el caso de una red LAN en PLC, el usuario instala adaptadores PLC en cada uno de los puntos eléctricos donde desea el servicio. Al formar todos ellos parte del mismo circuito eléctrico todos estos puntos quedaran interconectados como se observa en la Figura 1.4:

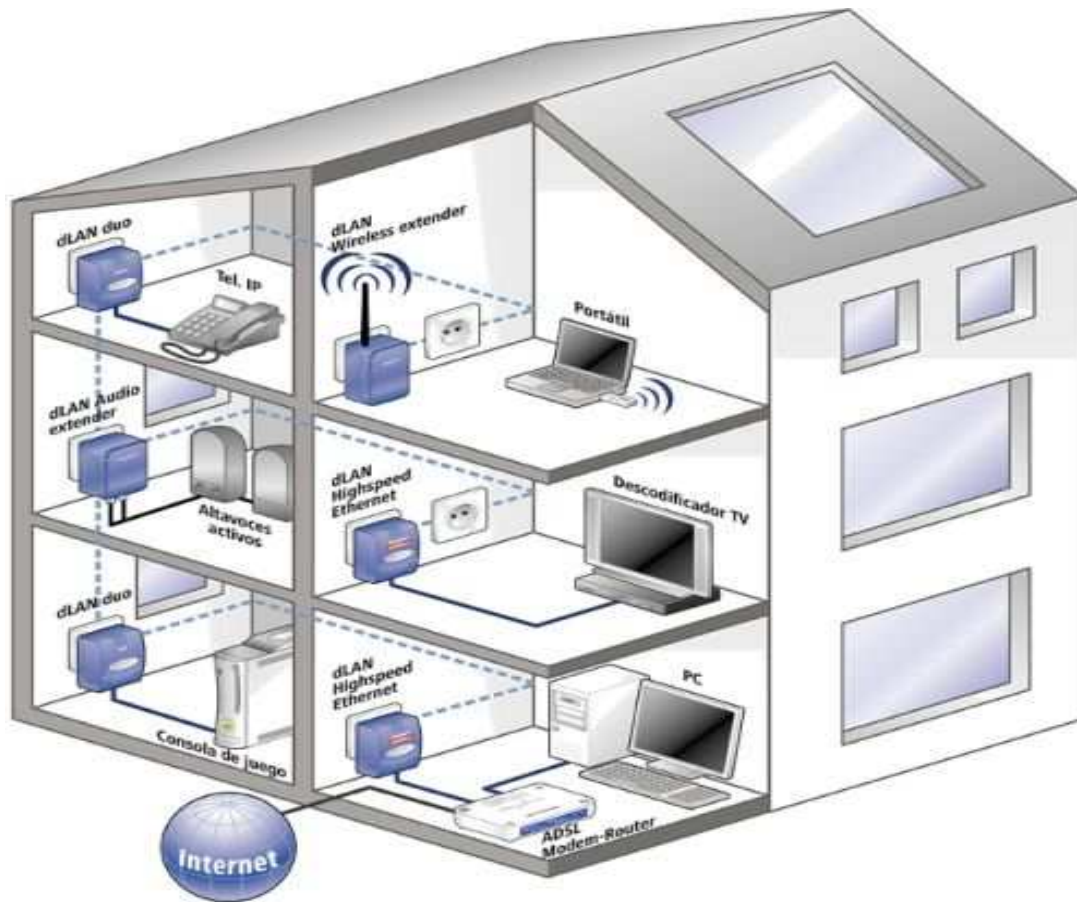


Figura 1.4 Distribución de un sistema Indoor

1.3 Descripción de Modulación/Múltiplexación OFDM

Como se mencionó anteriormente, la última generación de Modems PLC utiliza la tecnología OFDM como técnica de multiplexación y modulación. Es de hecho el desarrollo de esta tecnología lo que ha permitido alcanzar el ancho de banda y robustez necesaria para volver a PLC una tecnología factible para los servicios de acceso de banda ancha y la implementación de redes locales. A continuación se realizará una revisión de dicha tecnología y se buscará establecer criterios básicos para la comprensión de la misma, ya que la descripción detallada de sus fundamentos teóricos

matemáticos está fuera del alcance de este trabajo. Una vez establecidos estos criterios se los aplicará dentro del marco de **PLC**, para descubrir las ventajas y desventajas de **OFDM** que influyen sobre esta tecnología.

Definición:

OFDM es una técnica de modulación que divide un canal, de frecuencia, en un número determinado de bandas de frecuencias equiespaciadas, en cada banda se transmite un sub portadora que transporta una porción de la información del usuario.

Cada sub portadora es ortogonal al resto, dándole el nombre a esta técnica de multiplexación por división de frecuencia. **OFDM** es una técnica basada en la multiplexación por división de frecuencia (**FDM**), pero el hecho de que cada subportadora sea ortogonal al resto permite que el espectro de cada una estén traslapadas, ver Figura 1.5, y no exista interferencia, aumentando la eficiencia del uso del espectro debido a que no se utilizan bandas de separación entre subportadoras. La información en cada una de las subportadoras es modulada en un esquema convencional, como **QPSK** (Quaternary Phase Shift Keying, Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura) o **QAM** (Quadrature Amplitude Modulation, Modulación de Amplitud en Cuadratura).

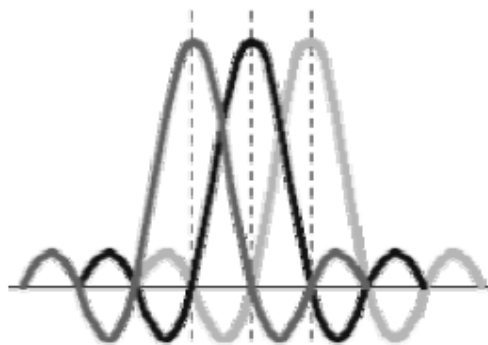


Figura 1.5 Modulación **OFDM**

1.3.1 Características de la modulación OFDM

La modulación **OFDM** es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a los desvanecimientos selectivos en frecuencia y frente a las interferencias de **RF** (Radio Frecuencia). Debido a las características de esta modulación, las distintas señales con distintos retardos y amplitudes que llegan al receptor contribuyen positivamente a la recepción, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia.

Si se compara a las técnicas de banda ancha como **CDMA** (Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código), la modulación **OFDM** genera una alta tasa de transmisión al dividir el flujo de datos en muchos canales paralelos que se transmiten en igual número de portadoras de banda angosta y con tiempos de símbolo (uno o varios bits) mayores al caso de usar banda ancha donde para lograr la misma tasa de transmisión los tiempos de símbolo son más cortos.

En **OFDM** las subportadoras usadas para transmitir son escogidas de modo que sean ortogonales entre sí (desfase de 90° entre señales de la misma frecuencia). Esto tiene una ventaja para realizar la modulación, que puede ser realizado por una simple Transformada Inversa de Fourier Discreta (**IDFT**) el cual puede ser implementado muy eficientemente mediante una Inverse Fast Fourier Transform (**IFFT**) en concordancia con el receptor solo se necesita una **FFT** (Fast Fourier Transform, Transformada rápida de Fourier) para invertir esta operación, de acuerdo a la Transformada de Fourier la forma del pulso rectangular guiará a los espectros de las subportadoras del tipo $\text{sinc}(x)/x$.

Como se infiere de la definición anterior, las diferentes subportadoras no están separadas en frecuencia, se superponen. Usando **IFFT** para la modulación, implícitamente se escoge las portadoras en tal manera que la frecuencia en la que se evalúa es la señal recibida, las demás son consideradas como cero. En orden para preservar esta ortogonalidad lo siguiente debe ser verdadero:

- El receptor y el transmisor deben estar perfectamente sincronizados. Esto significa que ambos deben asumir exactamente la misma frecuencia y la misma escala de tiempo para la transmisión.

- Los componentes análogos, parte del transmisor y receptor deben ser de muy alta calidad.
- No debería haber canales multicamino.

La transformada de Fourier se utiliza para pasar al «*dominio frecuencial*» una señal para así obtener información que no es evidente en el «*dominio temporal*». Se demuestra matemáticamente que una señal periódica se puede descomponer en una suma de senos y cósenos formando una base ortogonal, de esta forma, señales como la voz o las ondas se pueden descomponer en un sumatorio de señales trigonométricas. El conjunto de constantes que multiplican a cada frecuencia forman el espectro de frecuencias. De esta forma se pueden llegar a diversos experimentos muy interesantes:

1. La voz humana recorre el espectro de los 100Hz a los 15.000Hz y el oído humano se encuentra entre los 20 Hz y los 20.000 Hz.
2. Si se conoce la densidad espectral de un sistema y la entrada se puede conocer la densidad espectral de la salida. Esto es muy útil para el diseño de filtros de radio transmisores.
3. La transformada de Fourier también es utilizada en el ámbito del tratamiento digital de imágenes, como por ejemplo para mejorar o definir más ciertas zonas de una imagen fotográfica o tomada con una computadora.

Debido a que los canales de banda angosta de **OFDM** son ortogonales entre sí, lo que evita el uso de bandas de guardas y así un eficiente uso del espectro. Ya que los desvanecimientos (fading) afectan selectivamente a uno o un grupo de canales, es relativamente simple ecualizarlos en forma individual lo que también se contrapone a la ecualización de un sistema de banda ancha.

1.3.2 Sistemas que utilizan la modulación OFDM

Entre los sistemas que usan la modulación **OFDM** destacan:

- La televisión digital terrestre **DVB-T** (Digital Video Broadcasting-Terrestrial, Difusión Terrestre de Video Digital).
- La radio digital de baja frecuencia **DRM** (Digital Radio Mondiale, Radio Mundial Digital)
- El protocolo de enlace **ADSL** (Asynchronous Digital Subscriber Line, Línea Digital de Abonado Asíncrona).
- El protocolo de red de área local **IEEE 802.11a/g/n**, también conocido como Wireless **LAN**
- El sistema de transmisión de datos basados en **PLC UPA** (Universal Powerline Association, Asociación Universal de Redes Eléctricas), objeto principal del presente estudio.
- El sistema de transmisión inalámbrica de datos de banda ancha **WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave access, Interoperabilidad Mundial para Acceso vía Microonda).

1.4 Normativas Técnicas y Estándares PLC

El mercado de soluciones en **PLC** para redes internas y ambientes **LAN** ha dado cabida a la existencia de varias organizaciones que buscan la creación de estándares y lineamientos para el desarrollo de esta tecnología. Estas son formadas por empresas de servicios, fabricantes de equipos, desarrolladores de tecnología; todos buscando demostrar su opción como la mejor. Entre las especificaciones actuales tenemos la **HOMEPLUGAV, UPA HPC, HD-PLC** entre otras.

Muchos de estas normas, creadas bajo el enfoque de competitiva comercial, son incompatibles entre sí, lo que limita la escalabilidad y flexibilidad de la tecnología o equipamiento que las utiliza. Sin embargo, el ente regulatorio **UIT** (Unión Nacional de Telecomunicaciones), publicó recientemente una nueva norma para redes caseras, la **G.hn**, a partir de la cual se comenzará a desarrollar esta tecnología y la cual se convertirá en el estándar oficial de la misma. La primera recomendación para este nuevo estándar ya está lista y es la **G.9660**.

1.4.1 HOMEPLUGAV

Es un estándar creado por la organización **Homeplug Powerline Alliance** para la transmisión de video, voz y datos sobre las redes de corriente alterna de los edificios y casas.

Características Principales:

- Tasa de transmisión de canal de 200mbps y de tasa de transmisión de datos (información útil) de 150 Mbps.
- Acceso al medio basado en **CSMA/CA** (Carrier Sense Multiple Access, Acceso Multiple por Censo de Portadora) o en **TDMA** (**T**ime **D**ivision Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Tiempo).
- Soporta calidad de servicio QoS para tráfico de tiempo real como voz o video.
- Seguridad de la información a través de encriptación **AES** (Advanced Encryption System, Sistema Avanzado de Encriptación) 128 bits.

La compañía principal que soporta esta tecnología es **LINKSYS**.

1.4.2 UPA HPC

Creado por la **Universal Powerline Association**, de igual forma creado para la distribución de servicio multimedia y de banda ancha sobre líneas eléctricas.

Características Principales:

- Tasa de transmisión de canal de 200mbps y de tasa de transmisión de datos (información útil) de 150 Mbps.
- Acceso al medio a través de **TDMA**
- Dos modos de utilización de ancho de banda: modo normal y modo de coexistencia.
- Eficiencia espectral de hasta 8bits/seg./Hz
- Seguridad a través de Encriptación **3DES**.
- Compatible con la **OPEN PLC** European Research Alliance (Opera)

- Calidad de servicio **QoS**

Entre las compañías principales que soportan este producto están **NETGEAR** y **DLINK**.

Coexistencia de redes PLC

Una de las características de las redes eléctricas caseras o de zonas residenciales, es que por la forma como están dispuestas, en ciertos casos las redes de diferentes casas no forman circuitos eléctricos independientes. Esto también es cierto para ciertos edificios donde oficinas continuas son ocupadas por empresas diferentes. Esto puede crear problemas en la utilización del medio de transmisión (el cable eléctrico). Para solucionar esto los estándares incorporan características de coexistencia, donde sobre un mismo medio pueden haber múltiples redes **PLC** simultáneamente, incluso de distintas tecnologías, pero obviamente estas redes no podrán interactuar entre si.

1.4.3 La Norma UIT G.hn y la Recomendación G.9660

La norma **G.hn** es el nombre común para el Standard de “Siguiete generación” para redes caseras que está siendo desarrollado actualmente por la **ITU**. Este estándar soporta la trasmisión de información del orden de los gigabits sobre los 3 tipos de cables existentes en un hogar: eléctrico, telefónico, y coaxial. Dado que la mayoría de los equipos son alimentados con corriente alterna, la tendencia más probable es que el desarrollo se enfoque inicialmente en el desarrollo de tecnologías **PLC**.

La primera recomendación, la cual se enfoca en la capa Física de la tecnología, es la **G.9960**, comenzó a desarrollarse en Diciembre del 2008. La promesa eventual de este estándar es la transmisión de información del orden de los gigabits sobre cualquier medio físico disponible en las redes del hogar.

El trabajo sobre la norma **G.hn** se inició impulsado por proveedores de servicio que deseaban ampliar los servicios de banda ancha y vídeo en el hogar. Estos servicios no sólo se prestan a mayor velocidad que la anterior sino que también pueden agregarse para formar una red complementaria a la **WiFi**, lográndose así, gracias a esta norma,

una mayor cobertura, que se extenderá, por ejemplo, a partes del hogar a las que no llegaba la **WiFi**.

La recomendación del **ITU**, que recibió la aprobación el 9 de octubre de 2009, especifica la capa física y la arquitectura de G.hn. La capa de transmisión de datos (recomendación G.9961) está en desarrollo y apuntado para ser aprobado en 2010. El trabajo se está haciendo en el sector de la estandarización de la telecomunicación de **ITU-T**, grupo de estudio 15, pregunta 4. Sobre 20 compañías que están participando regularmente, representando una sección amplia de la industria de las comunicaciones incluyendo a las compañías telefónicas más grandes del mundo, compañías importantes del equipos de comunicación, y algunas de las compañías caseras principales de la tecnología del establecimiento de una red.

La Recomendación **UIT-T G.9960** se centra en la capa física o capa **PHY** y proporciona la velocidad de bits de datos y la calidad de servicios necesarias para prestar servicios residenciales de triple oferta, así como servicios de tipo comercial a través de **xDSL**, **PON** (Red Óptica Pasiva) y otras tecnologías de acceso. Atendiendo a las directrices formuladas por la **UIT** en relación con el desarrollo de nuevas normas, se han incluido varias modalidades para ahorrar consumo de energía. El trabajo en curso se centra en la capa de control de acceso de medios (**MAC**).



Basic Information								
Title	Study Group	Current Status	Consent Date	Approval Date	Study Period	Provisional Name	IPR	Input used
Next generation home networking transceivers	15	AC	2008-12-12	2009-10-09	2009-2012	G.hn	?	<input type="checkbox"/> TD 206-WP1 <input type="checkbox"/> TD 89-PLN

Figura 1.6 Recomendación G.9960

G.9960 esta basada en la conocida modulación **OFDM**, utilizando además el código de corrección de errores **FEC** (Forward Error Correction, Corrección de Errores sin Retransmisión) conocido como **LDPC** (Low Density Parity Check, Revisión de Paridad

de Baja Densidad). Este código permite la recuperación de la información frente a errores, dentro de ciertos límites.

El control de acceso al medio esta basado en acceso múltiple por división de frecuencia **FDMA**.

Para la seguridad utiliza la norma de encriptación **AES** de 128 bits. La autenticación y el intercambio de claves se realizan a través de la recomendación de la **UIT X.1035**.

Cabe recalcar que este es un estándar en desarrollo y aun no hay equipos disponibles en el mercado que soporten esta norma.

En el siguiente capítulo se aplicarán los conocimientos técnicos adquiridos en la primera parte para establecer criterios de diseño para la red **PLC**; y se utilizarán dichos criterios para elaborar la nueva propuesta de red en función de la situación actual y los requerimientos del nuevo sistema.

CAPITULO 2

DISEÑO DE LA RED LAN-PLC DE 5 NODOS PARA LA SECRETARIA DE LA FACULTAD

En el presente capítulo se definirán los criterios fundamentales para el diseño de una red **PLC** de área local, luego se aplicarán estos conocimientos en el proyecto de la red de la secretaria de la Facultad Técnica. Esta nueva propuesta de red busca demostrar el funcionamiento de **PLC** al proveer una solución confiable y transparente para los usuarios de la misma.

2.1 Criterios Técnicos para del Diseño de la Red PLC

Para que un sistema local basado en **PLC** pueda proveer las mismas garantías que las redes tradicionales y al mismo tiempo brindar los beneficios de integración, flexibilidad y beneficio económico propios de esta nueva tecnología, es necesario tomar en cuenta varios factores técnicos durante el diseño y la operación de cualquier sistema **PLC** local. Muchos de estas consideraciones son comunes para todos los sistemas de comunicación por medios eléctricos alámbricos, pero existen ciertos criterios únicos a tomar en cuenta para garantizar el correcto funcionamiento de una red **PLC**.

2.1.1 Parámetros Eléctricos de la Red

Como todo dispositivo de comunicaciones, el equipamiento **PLC** necesita una fuente de energía eléctrica para que funcionen sus elementos electrónicos. Esta debe ser lo mas estable posible y encontrarse siempre dentro o muy cerca de los parámetros nominales para el correcto funcionamiento de los dispositivos. Para el caso de este medio seria 120 VAC, necesitando además una conexión a tierra la cual brindará la protección necesaria a los circuitos contra variaciones abruptas de voltaje o corriente. En el caso particular de **PLC**, la señal de datos así como la de energía eléctrica viajan ambas sobre el mismo medio, pero al trabajar sobre frecuencias muy diferentes (60 Hz para el caso de la señal eléctrica, y frecuencias del orden de los Mhz para las de **PLC**), no hay riesgo de interferencia entre ellas.

Establecido lo anterior, se recomienda la revisión de lo siguiente al inspeccionar una red eléctrica previa a la instalación de equipamiento **PLC**:

- Existencia de conexión a tierra
- Voltaje Fase a Neutro (debe ser 120 voltios)
- Voltaje Fase a Tierra (debe ser 120 voltios)
- Voltaje Tierra a Neutro (deber ser 0 voltios)

Ya en la práctica, normalmente se encuentran pequeñas variaciones en estos voltajes, como por ejemplo voltajes de entre 119-123V en la fase, y voltajes menores a 1 voltio entre Neutro y Tierra. Si se mantienen dentro de estos valores, aun se consideran aceptables para la red **PLC**, pero en caso de ser mayores estas diferencias, se recomienda una revisión de la red eléctrica.

2.1.2 Disposición del Circuito Eléctrico

PLC es una tecnología de comunicación de medio compartido, es decir todos los dispositivos **PLC** utilizan el mismo medio, en este caso la red eléctrica, para el intercambio de información entre ellos. Para que esto sea posible es necesario que todos ellos se encuentren dentro del mismo circuito eléctrico, y la verificación de esto es uno de los pasos fundamentales al implementar una red **PLC**.

2.1.3 Elección de Equipamiento

Las redes eléctricas a lo largo del mundo obedecen a distintos estándares, tanto en voltajes utilizados, cableado y conectores eléctricos. Es muy importante al momento de escoger equipamiento **PLC** elegir el apropiado en función de la región en la que se realizará el proyecto. La escasa disponibilidad actual de estos productos en ciertos mercados hace común la importación de equipamiento para desarrollar los proyectos, y es de vital importancia revisar todos los parámetros técnicos a la hora de adquirirlos. Se debe tomar en cuenta:

- Voltaje AC de funcionamiento (120V o 230V, Frecuencia de 50HZ o 60HZ)

- Tipo de Conector Eléctrico (Dos contactos, Tres contactos, etc)
- Tipo de Cableado eléctrico (calibre; sólido o flexible).

Adicionalmente a esto se debe tomar en cuenta el Standard que utilizan los equipos. Como se mencionó en el capítulo anterior, al momento existen varios estándares independientes, muchas veces incompatibles entre sí. Hasta que el ente regulatorio oficial, la **UIT**, termine la estandarización mediante la norma G.hn, lo recomendable es utilizar un único proveedor al realizar una implementación. Esto también facilitará el soporte de fábrica de ser necesario.

2.1.4 Otras consideraciones de Diseño

Adicionalmente a todo lo ya establecido, existen otros criterios más generales que se deben tomar en cuenta:

Estética: Es importante, tanto al instalar una red nueva como al acondicionar una existente, asegurarse que se cumplan todas las normas de ordenamiento de cableado estructurado, utilizando canaletas, codos y elementos ordenadores según sea necesario.

Disposición de Equipamiento: Todos los dispositivos deben ser colocados de tal forma que no interfieran física ni eléctricamente con otro equipamiento circundante, esto es especialmente cierto para los adaptadores **PLC** que se conectan directamente en el tomacorriente, se debe procurar dejar suficiente espacio para la conexión de computadoras, monitores, etc.

Escalabilidad: La solución debe tomar en cuenta el crecimiento futuro, o al menos establecer pautas sobre cual sería el correcto proceder en caso de que sea necesario expandir la red.

Costo: La eficiencia en el uso de los recursos económicos que respaldan el proyecto es siempre un factor importante a tomar en cuenta.

2.2 Situación actual de la red y requerimientos para el nuevo sistema

Actualmente la red de datos del área de secretaría de la Facultad Técnica está compuesta por 5 computadores conectados hacia la red principal a través de interfaces Fast Ethernet sobre cable UTP. Una parte de este cableado está organizado en canaletas y pasa por una canalización al cuarto de equipos contiguo a la secretaría. Ahí se conectan al switch de datos para integrarlos a la red LAN administrativa de la Universidad. Cabe destacar que muchos de estos cables están tendidos por el suelo sin protección ni identificación.

Para el caso de la red eléctrica existen dos circuitos instalados: uno de tomacorrientes sobrepuestos que cuenta con respaldo de UPS y otro con tomacorrientes empotrados con respaldo de generador.

Es requerimiento del departamento eléctrico de la facultad instalar cableado eléctrico independiente desde la secretaría hasta el panel de breakers para esta nueva red, por lo que se construirá un circuito adicional solo para la red PLC con tomacorrientes sobrepuestos.

La red de datos en **UTP** va a ser readecuada estéticamente dentro de lo posible, y se la mantendrá como contingencia en caso de fallo de la red **PLC**.

2.3 Descripción del diseño y Diagrama de la nueva red LAN PLC de 5 nodos

La red estará constituida por un circuito eléctrico nuevo e independiente el cual irá conectado al generador mediante su respectivo breaker. Este circuito eléctrico tendrá 6 tomacorrientes, 5 de ellos corresponden a las estaciones de trabajo y uno para el enlace de uplink (subida) o integración a la red de datos. Esta red eléctrica irá en canaletas de pared corriendo de forma paralela a los circuitos existentes. La comunicación entre el circuito **PLC** y el panel de breakers ubicado en el área de cafetería se realizará mediante cableado eléctrico que correrá por el tumbado.

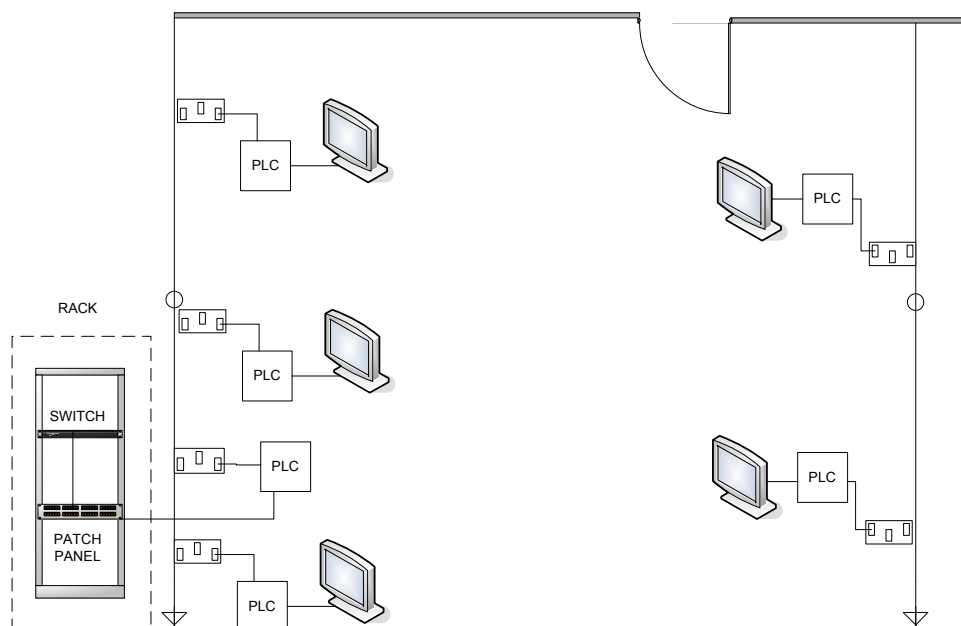


FIGURA 2.1 Diagrama de Red PLC

2.4 Materiales y Equipamiento a utilizarse.

A continuación la descripción del equipamiento que intervendrá en la red **PLC**:

- **Adaptador PLC:** Se utilizará el adaptador **PLC BELKIN F5D4073**. Es un adaptador que tiene un puerto RJ-45 hembra para la conexión del computador o red y un enchufe eléctrico macho o clavija de tipo A para la conexión a la red eléctrica; el adaptador se conecta directamente al tomacorriente. Estos adaptadores funcionan con la norma **Homeplug 1.0**. Para el proyecto se utilizaran 6 de estos adaptadores, 5 para las conexiones de los computadores, y 1 para el Uplink hacia la red de datos administrativa de la universidad.
- **Switch de datos:** Uno de los adaptadores **PLC** servirá para integrar el segmento **PLC** a la red de la universidad. Para esto deberá ir conectado al switch de datos existente que sirve a esa red dentro de la facultad. Por lo cual se dispondrá de un puerto Fast Ethernet RJ-45 previamente solicitado al centro de Computo; departamento encargado de la administración de este equipo.

A continuación se detallan los materiales de cableado estructurado y herramientas a utilizarse:

Materiales de cableado Eléctrico y de Datos:

- 6 tomacorrientes sobrepuestos de dos tomas
- 6 patchcords UTP de 1.5 mts
- 6 metros de canaleta de pared de 1 pulgada
- 3 metros de canaleta de piso
- 50 metros cable eléctrico calibre 12 flexible
- 7 metros cable STP para conexión uplink al rack
- 2 conectores RJ-45 para el cable de uplink
- 1 breaker sobrepuesto de 20 amperios

Herramientas:

- Ponchadora RJ-45
- Cortadora de cable
- Estilete
- Destornillador estrella y plano
- Multímetro
- Escalera
- Cinta aislante

En el próximo capítulo se presentarán ciertas nociones generales sobre los procesos de instalación de una red de telecomunicaciones, y se describirá de forma detallada la implementación de la red **PLC** en la secretaria de la facultad.

2.4.1 El Adaptador PLC Belkin F5D4073

El adaptador PLC Belkin F5D4073 Powerline Turbo Starter Kit es un dispositivo PLC que permite la comunicación de datos sobre circuitos eléctricos caseros o de oficina que funcionen en 120VAC. El kit incluye lo siguiente:

- Dos Adaptadores PLC Belkin F5D4073.
- Disco con aplicativo de configuración.
- 2 Cables Extensores de Energía.
- 2 Patch Cords Ethernet RJ-45.

Características Técnicas Básicas

- Tasas de transmisión de hasta 85 Mbps (dependiendo de la calidad del cableado eléctrico).
- Alcance promedio de 300 mts.
- Estándar de encriptación 56-bit DES
- Interfaz Ethernet IEEE 802.3
- Cumple con la especificación Homeplug Powerline 1.0 Turbo

Especificaciones de Funcionamiento

- Temperatura de Funcionamiento: 0- 40 grados Centígrados
- Humedad: 5% a 90%
- Voltaje: 120VAC

El dispositivo viene de fábrica con un nombre de red: **“Homeplug”** el cual es utilizado como llave para la encriptación DES. El dispositivo está diseñado para funcionar directamente de fábrica sin ninguna configuración inicial, por lo que puede ser utilizado en redes de computadores basados en cualquier sistema operativo: Linux, Windows, Unix, Solaris, etc. Si se desea se puede cambiar dicha clave mediante el aplicativo de configuración, cuya operación detallada se describe en los anexos.

No se recomienda conectar el Adaptador PLC a extensiones, regletas eléctricas o circuitos eléctricos donde existan UPS intermedios, ya que pueden interferir con la

comunicación, especialmente los UPS que muchas veces poseen transformadores de aislamientos.

El adaptador PLC provee conectividad de Capa 1 y 2 dentro del modelo OSI, por lo que configuraciones de niveles superiores, como direcciones IP, Puerto TCP/UDP o características de comunicación de las aplicaciones se pueden mantener sin ningún problema.



Figura 2.2: Adaptador Belkin PLC con extensión de cable

Al igual que todo dispositivo electrónico, el circuito al cual se encuentran conectados los adaptadores PLC debe estar correctamente aterrizado y protegido contra sobretensiones mediante disyuntores. Si los requerimientos del sistema obligan a instalar sistemas de respaldo, se recomienda utilizar un UPS online centralizado, y que todos los adaptadores Belkin PLC se conecten a la salida del UPS.

CAPITULO 3

IMPLEMENTACION DE LA RED PLC EN LA SECRETARIA DE LA FACULTAD

En el último capítulo se describirá paso a paso el proceso de instalación de la red **PLC** para el área de secretaria, en base al diseño establecido y a la información obtenida durante la inspección y se revisarán cuales son las pruebas a realizarse luego de la instalación para validar el desempeño de la nueva red.

3.1 Metodología de Trabajo para la instalación de la red PLC

Completado el diseño y antes de iniciar el proceso de instalación, es necesario establecer un conjunto de pasos ordenados que se seguirán durante la implementación, con el objetivo de verificar que se hayan tomado en cuenta todas las variables y reducir así el rango de errores. Esto también permitirá confirmar que se disponen de todos los recursos técnicos y logísticos necesarios.

3.1.1 Consideraciones Generales

Antes de desarrollar la metodología de instalación, es importante tomar en cuenta los siguientes puntos, los cuales se aplican para cualquier tipo de implementación técnica:

Permisos de las autoridades pertinentes para la instalación: En este caso, al ser un área de uso oficial de la facultad, con acceso restringido a los estudiantes, es necesario solicitar los permisos correspondientes para el acceso al sitio así como para la instalación de la red. Esta deberá ser en un horario no laborable o de baja carga ocupacional, para no afectar las operaciones del área de secretaria.

Verificación de Inventario de Equipamento y Materiales a utilizarse: Es importante que el inventario este completo y contar de ser posible con elementos de reserva en caso de fallo de alguno durante la instalación. Se deben contar también con todas las herramientas necesarias para realizar la instalación con todas las normas técnicas, estéticas y de seguridad.

Disponibilidad de Recursos Externos: Es muy común en implementaciones técnicas que se requieran recursos adicionales fuera de la jurisdicción del instalador, y es importante confirmar que contamos con ellos. Para el caso de la red **PLC** estos recursos externos son los siguientes:

- Un puerto en el conmutador de datos de la red **LAN** al cual se va a conectar la red **PLC**, a cargo del centro de Computo de la Universidad.
- El panel de Breakers (disyuntores eléctricos) donde se instalará la protección de la red, y la canalización o espacio físico en el tumbado por donde pasaran las nuevas líneas eléctricas. Esto a cargo de la coordinación administrativa y el encargado del sector eléctrico de la facultad.

3.1.2 Descripción de la metodología de Implementación

Para la instalación del nuevo circuito eléctrico el primer paso es tomar la referencia de voltaje del panel de breaker de generador de la facultad. Dado que todos los breaker dentro del panel se encuentran ya utilizados, se utilizara un breaker sobrepuesto de 20 amperios colocado junto al mismo. Luego se instala través del tumbado el cableado eléctrico hasta al área de secretaria, utilizando canaletas guía para el ordenamiento del cableado dentro del tumbado, de tal forma que no se ocupe las tuberías que corresponden a los otros circuitos eléctricos. Cabe recalcar que en el panel de generador el neutro se encuentra conectado a la tierra, es decir no cuenta con tierra aislada, sin embargo este no es un requisito indispensable para el funcionamiento de PLC.



Figura 3.1: Breaker/Disyuntor de 20 Amperios

En el área de secretaría el circuito eléctrico se instalará sobre canaletas de pared, corriendo de forma paralela al circuito de UPS ya existente. En total se instalaran 6 tomacorrientes sobrepuestos de 2 tomas, mas debido las dimensiones de los adaptadores

PLC, la segunda toma en cada tomacorriente no estará disponible, y el circuito será utilizado exclusivamente para la red PLC.

Los tomacorrientes se instalarán cercanos a las estaciones de trabajo correspondientes, de tal forma que se permita una fácil conexión entre el adaptador **PLC** y el computador. Para dicha conexión se utilizarán patchcords de 1.5 y 2 mts según el caso.



Figura 3.1: Patchcord RJ-45 Amarillo utilizado en la conexión a los computadores.

En el área próxima a la canalización que comunica el área de secretaria con el cuarto de equipos, se instalará un adaptador PLC que servirá como Uplink. De este adaptador saldrá un cable de red **UTP CAT6** el cual irá por la canalización hasta el rack en el cuarto contiguo, donde se instalará en el patch panel C puerto 10 asignado por el departamento de cómputo. De ahí saldrá un patchcord el cual se conectará al puerto 35 del switch Cisco que provee la integración con la red de administración Universitaria. El modelo es un Cisco Catalyst como el de la figura:



Figura 3.2: Switch Cisco Catalyst

Una vez habilitada la alimentación eléctrica del circuito se realizan las mediciones de voltaje correspondiente. Aquí los resultados:

Voltaje Fase-Neutro en tomacorrientes: 119V

Voltaje Neutro-Tierra: 0V

Voltaje Fase- Tierra: 119V

Para esas mediciones se utiliza el Multímetro:



Figura 3.3: Multímetro

Fase de Pruebas de Red Datos

Previo a la conexión de las estaciones de trabajo a la red **PLC** se conectará un computador portátil al puerto del switch para comprobar conectividad. Se realizará monitoreo mediante **PING** y pruebas de conectividad hacia el servidor **DNS**. Para este caso la latencia promedio fue de 1ms y pérdida de paquetes de 0%.

Luego, con el enlace de uplink conectado al switch, se conectará el computador portátil a cada uno de los adaptadores **PLC** y se realizaran pruebas de estabilidad, esto mediante las herramientas de red del programa Solarwinds. Aquí los resultados:

Latencia Promedio de Red PLC hacia puerta de Enlace IP: 4ms

Perdida de Paquetes Promedio de Red PLC: 0%

Jitter(diferencia de latencia) promedio de red PLC: 2 ms

Estas pruebas se realizan mediante las herramientas incluidas en Windows XP y mediante la herramienta de monitoreo Solarwinds:



Figura 3.4: Logo Solarwinds

Una vez comprobada la estabilidad de la red se conectarán las estaciones de trabajo a la red **PLC**.

El siguiente paso es la adecuación de la red de datos existente, para lo cual se acomodarán con canaletas y codos el cableado **UTP** donde sea factible. Esta red servirá en caso de contingencia. Para diferenciarla de la red PLC se han utilizado patchcords amarillos y azules en las conexiones para su más fácil identificación. El cableado de la antigua red UTP es gris.

El siguiente paso es la evaluación de la red por los usuarios de las estaciones de trabajo, en este caso, el personal del área administrativa de la Facultad. Se confirmó que la experiencia de red es idéntica a la percibida en la red anterior, sin latencias adicionales en la utilización de aplicativos de red o navegación en Internet.

Al momento de la instalación los cortes de electricidad decretados por el Gobierno Ecuatoriano habían sido suspendidos, pero en caso de que vuelvan a entrar en vigencia, la red quedará fuera de servicio en el tiempo entre el corte de energía y el arranque de generador (1 minuto aproximadamente) de encontrarse este en funcionamiento.

Este tiempo es aceptable ya que el tiempo de recuperación de los servidores, ubicados en el centro de cómputo, a los cuales acceden las estaciones de trabajo para el sistema universitario, es mucho mayor.

Conclusiones

- La tecnología **PLC** es una solución eficiente y confiable para la disposición integrada de los servicios de transmisión eléctrica y de datos. Aprovecha la red de mayor expansión mundial para brindar servicios que históricamente corrían sobre redes paralelas, lo que permite facilitar la interconexión, ahorrar tiempo, reducir costos y carga operativa.
- El advenimiento de esta tecnología obliga a reconsiderar los parámetros de diseño para las nuevas redes eléctricas; tomando en cuenta la posible implementación de PLC. Esto significara cambios en la disposición de los nuevos circuitos eléctricos, protecciones y calidad de los conductores a utilizarse.
- La técnica de Modulación OFDM, al brindar mayor robustez a la señal y optimizar el uso de ancho de banda, es una tecnología que permitirá a futuro la integración total de servicios de banda ancha sobre cualquier medio de transmisión disponible para el usuario; disminuyendo eventualmente los costos y mejorando la calidad de servicio, aun en condiciones de transmisión muy adversas.
- La altas tasas de transmisión que esta tecnología permite, en conjunto con su facilidad de implementación, la volverán una de las mas elegidas para la instalación de redes LAN en entornos caseros o de oficina, donde cada día se utilizan más los nuevos servicios de banda ancha: videoconferencias, televisión IP, Telefonía IP empresarial, juegos en red, etc.
- La red implementada en la facultad podrá servir de modelo para futuros proyectos universitarios, donde se podrá aprovechar al máximo el recurso de la red eléctrica para beneficio de estudiantes y docentes.

Recomendaciones

- Tomando como modelo el presente trabajo, considerar la instalación de redes PLC en los nuevos proyectos de expansión de campus universitario; con el objetivo de ahorrar costos y mejorar la escalabilidad de dichas nuevas redes.
- Enfatizar el estudio de modulación digital OFDM en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, ya que esta técnica es utilizada por todas las tecnologías de transmisión de nueva generación.
- Basándose en los criterios planteados en el presente estudio, realizar una revisión del sistema eléctrico de toda la facultad, determinando las áreas donde la instalación de una red PLC involucre mayor eficiencia en el uso de recursos de red y mejor disposición estética.
- Hacer un seguimiento cercano del proceso de estandarización del mismo. Es recomendable que futuros proyectos se basen en equipamiento que cumpla la norma ITU G.9960, una vez que se encuentren disponibles en el mercado.

BIBLIOGRAFIA

SITIOS WEB:

PLC

- WIKIPEDIA, La enciclopedia Libre, “*Power Line Communication*” (Comunicaciones por redes Eléctricas). Consultado 15/10/2009. Disponible en: http://en.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication
- Electronics Information Online, “*Power line Communications*”, (Comunicaciones por Redes Eléctricas). Consultado el 15/10/2009. Disponible en Inglés: <http://www.electronics-manufacturers.com/info/communication-equipment/power-line-communication-plc.html>

OFDM

- Instituto de Sistemas Integrados de Procesamiento de Señal, Tutorial: “*OFDM and the Orthogonality Principle*” (OFDM y el principio de Ortogonalidad). (Consultado el 20/11/2009). Disponible en Inglés: <http://www.iss.rwth-aachen.de/Projekte/Theo/OFDM/node2.html>

Documentos Digitales:

- HOMEPLUG ALLIANCE: “*Homeplug AV White Paper*”. (Consultado el 10/12/2009). Disponible en Inglés: <http://www.homeplug.org/tech/whitepapers/>
- Universal Powerline Association: “*UPA DHS White Paper*”. (Consultado el 17/12/2009). Disponible en inglés en: http://www.upapl.org/page_viewer.asp?page=White+Papers&pid=22

- Unión Internacional de Telecomunicaciones: “*G.9960, Transmisores de Siguiete Generación para redes caseras*”.(Consultado el 5/01/2010)
Disponible en Ingles:
<http://www.itu.int/itut/recommendations/index.aspx?ser=G>
- Ing. Manuel Romero Paz/Ing. Gabriel Armando Cucalón, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil: “*Estudio y proyección del despliegue de la tecnología PLC como alternativa de acceso en Ecuador*”, Agosto 2009.

GLOSARIO

A

Analógica (señal): Es una señal que es representable por una función matemática continua dentro de un intervalo de tiempo; en la cual es variable su amplitud y periodo en función del tiempo.

ADSL (Asynchronnous Digital Subscriber Line): La línea digital de abonado asíncrona es una tecnología de acceso de banda ancha que utiliza un par trenzado de cobre para brindar el servicio. Se le conoce como asíncrona porque la velocidad de descarga máxima posible es superior a la de carga

B

Banda Ancha: Se conoce como banda ancha a todo canal de comunicación de datos de alta velocidad capaz de soportar servicios de siguiente generación; como son el video, la voz y la navegación web de alto contenido multimedia.

C

CDMA(Code Division Multiple ACCESS): La técnica de acceso múltiple por división de código es utilizada en redes donde el medio de transmisión es compartido y basa su funcionamiento en asignar un código de transmisión único a cada nodo para que codifique la información a enviar, de esta forma puede transmitir sin interferir con la información de los nodos vecinos ya que el trasmisor y receptor solo son capaces de comprender la información enviada y recibida en dicho código.

CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collition avoidance): La técnica de acceso múltiple de detección de portadora con prevención de colisiones es una técnica utilizada en sistemas de comunicación de medios compartidos para permitir la utilización ordenada y confiable del medio de transmisión por parte de los nodos conectados al mismo.

D

DSSS(Direct Secuence Spread Spectrum): Técnica de espectro ensanchado de secuencia directa, en la cual la información a transmitir es codificado utilizando una secuencia pseudo-aleatoria de dígitos binarios, ocupando todo el ancho de banda de la frecuencia de funcionamiento del transmisor. El proceso inverso es realizado en la parte de recepción, para lo cual se requiere que tanto transmisor como receptor se encuentren sincronizados.

E

Ethernet: Es un conjunto de tecnologías para la transmisión de datos en tramas utilizadas en redes LAN. Actualmente alcanza velocidades de hasta 1Gbps.

Espectro Electromagnético: Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las [ondas electromagnéticas](#). El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los [rayos gamma](#), hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las [ondas de radio](#)

F

FEC(Forward Error Correction): La corrección de errores sin reenvío de información es una técnica de recuperación de errores que se basa en la transmisión de información redundante en un sistema de comunicación, la cual permite cierto nivel de tolerancia a los errores producidos por los elementos adversos del medio de transmisión sin necesidad de volver a enviar toda la información.

G

GSMK: Es un tipo de modulación digital por variación de frecuencia. En este tipo de modulación la señal a ser modulada es primero pasada por un filtro gaussiano antes de entrar al modulador.

I

IEEE: Corresponde a las siglas de **Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos**, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la [estandarización](#), entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como [ingenieros electricistas](#), [ingenieros en electrónica](#), [científicos de la computación](#), ingenieros en [informática](#), ingenieros en [biomédica](#), ingenieros en [telecomunicación](#) e Ingenieros en Mecatrónica.

M

Modem(modulador-demodulador): Un **módem** es un dispositivo que sirve para [modular](#) y [demodular](#) (en amplitud, frecuencia, fase u otro sistema) una señal llamada *portadora* mediante otra señal de entrada llamada *moduladora*, con el propósito de insertar información en la señal portadora y transmitirla por un medio dado.

N

Neutro (eléctrico): Sirve como conductor de retorno de la corriente que circula por los circuitos monofásicos, y tiene una referencia de potencial eléctrico de 0 voltios.

O

OFDM: La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*, es una multiplexación que consiste en enviar un conjunto de [ondas portadoras](#) de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en [QAM](#) o en [PSK](#). Cada subportadora tienen un espaciamiento específico de tal forma que se vuelven matemáticamente ortogonales entre sí, y no interfieren entre ellas.

P

PLC: Power Line Communications, también conocido por sus siglas PLC, es un término inglés que puede traducirse por [comunicaciones](#) mediante cable eléctrico y que se refiere a diferentes tecnologías que utilizan las líneas de [energía eléctrica](#) convencionales para transmitir señales de radio para propósitos de comunicación. La tecnología PLC aprovecha la red eléctrica para convertirla en una línea digital de alta velocidad de transmisión de datos, permitiendo, entre otras cosas, el acceso a [Internet](#) mediante [banda ancha](#).

PC (Personal Computer): Una computadora personal u ordenador personal es una [microcomputadora](#) diseñada en principio para ser usada por una sola persona a la vez, y que es compatible con la [PC de IBM](#) (aunque en el lenguaje corriente se puede referir también a equipos incompatibles). Una computadora personal es generalmente de tamaño medio y es usado por un sólo usuario (aunque hay sistemas operativos que permiten varios usuarios simultáneamente, lo que es conocido como multiusuario).

Q

QAM: La modulación de amplitud en cuadratura es una técnica de [modulación](#) digital avanzada que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora de información tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasando 90° la fase y la amplitud.

QPSK: La modulación por desplazamiento de fase o PSK (Phase Shift Keying) es una forma de [modulación](#) angular que consiste en hacer variar la fase de la [portadora](#) entre un número de valores discretos. La diferencia con la [modulación de fase](#) convencional (PM) es que mientras en ésta la variación de fase es continua, en función de la señal moduladora, en la PSK la señal moduladora es una [señal digital](#) y, por tanto, con un número de estados limitado.

T

Tierra (eléctrica): El término "tierra", como su nombre indica, se refiere al [potencial](#) eléctrico de la superficie de la [Tierra](#).

Es un concepto vinculado a la seguridad de las personas, porque éstas se hallan a su mismo potencial por estar pisando el suelo. Si cualquier aparato está a ese mismo potencial no habrá diferencia entre el aparato y la persona, por lo que no habrá descarga eléctrica peligrosa.

U

UTP: UTP RJ45 (*Unshielded Twisted Pair, par trenzado no apantallado*) es un tipo de [cableado](#) utilizado principalmente para [comunicaciones](#). Se encuentra normalizado de acuerdo a la norma estadounidense TIA/EIA-568-B y a la internacional ISO-11801.

V

Voltaje: La tensión, voltaje o diferencia de potencial es una magnitud física que impulsa a los [electrones](#) a lo largo de un conductor en un [circuito eléctrico](#) cerrado, provocando el flujo de una corriente eléctrica. La diferencia de potencial también se define como el trabajo por unidad de carga ejercido por el campo eléctrico, sobre una partícula cargada, para moverla de un lugar a otro.

W

WIFI: Wi-Fi siglas en inglés de Wireless Fidelity, es un [sistema](#) de envío de [datos](#) sobre [redes computacionales](#) que utiliza ondas de radio en lugar de [cables](#), además es una marca de la *Wi-Fi Alliance* (anteriormente la [WECA: Wireless Ethernet Compatibility Alliance](#)), la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares [802.11](#).

ANEXOS

Anexo 1: Guía de Configuración de adaptador PLC Belkin f5d4073



Figura A.1: Adaptador PLC Belkin

El adaptador incluye formas de conexión a la red eléctrica: una clavija que permite conectarlo directamente al tomacorriente y una extensión de cable para los casos en los que se desee ubicar el adaptador alejado del tomacorriente. Una vez encendido conectar a un computador a través de un cable de red para su configuración inicial. Es importante recordar que el equipo no funcionara si se encuentra conectado a una extensión o regleta eléctrica.

Insertar el CD del adaptador Belkin f5d4073 en la unidad de disco óptico. Esto instalara la utilería de administración del adaptador. Una vez que la instalación culmine, hacer doble clic en el icono del escritorio para dar inicio al programa.

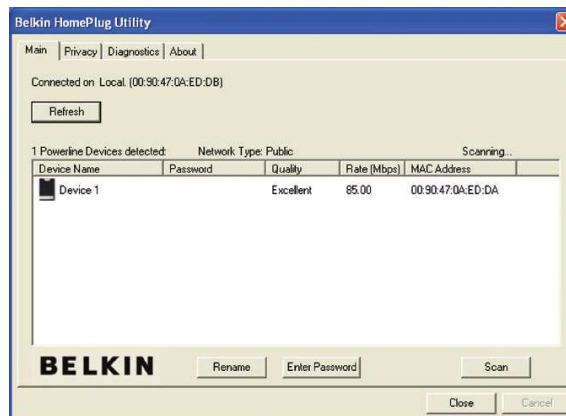


Figura A.2: Pantalla Inicial Programa

Al iniciar el programa buscará automáticamente todos los adaptadores PLC disponibles, podrá localizar tanto el adaptador PLC conectado directamente por cable como aquellos ubicados dentro del mismo circuito eléctrico. Los mostrara en la pestaña “Main” (principal). También mostrara un indicador de la calidad de la conexión a ese dispositivo en la columna “Quality” (Calidad).

Seleccionar el adaptador PLC que se desea configurar y luego hacer clic en la pestaña “Privacy” (Privacidad). En ella el programa brinda la opción de configurar un identificador para la red PLC llamada “Network Passport’ (Contraseña de Red). Todos los equipos deben tener el mismo identificador de red para que exista comunicación entre ellos. Luego de establecer una contraseña de red podemos seleccionar si deseamos aplicar esta contraseña para todos los dispositivos o solamente para el conectado directamente al PC.

Una vez configuradas estas opciones hacemos clic en “Close” (Cerrar), para guardar los cambios.

El equipo cuenta con 2 LEDs que nos dan información sobre el dispositivo y su estado:

- **Powerline LED (Indicador de red PLC):** Encendido de forma permanente cuando se ha detectado otro adaptador PLC en el circuito eléctrico. Parpadea con la actividad de red.
- **Ethernet LED (Indicador de interfaz Ethernet):** Encendido de forma permanente cuando existe conexión activa en la interface Ethernet. Este indicador parpadea durante la transmisión de información.

Anexo 3: Fotos de la Instalación



Figura A3.1: Adaptador PLC Uplink. Se aprecia la conexión al cableado hacia el bastidor.



Figura A3.2: Adaptador PLC Estación de Trabajo #5



Figura A3.3: Conexión en el patch Panel del Bastidor de equipos

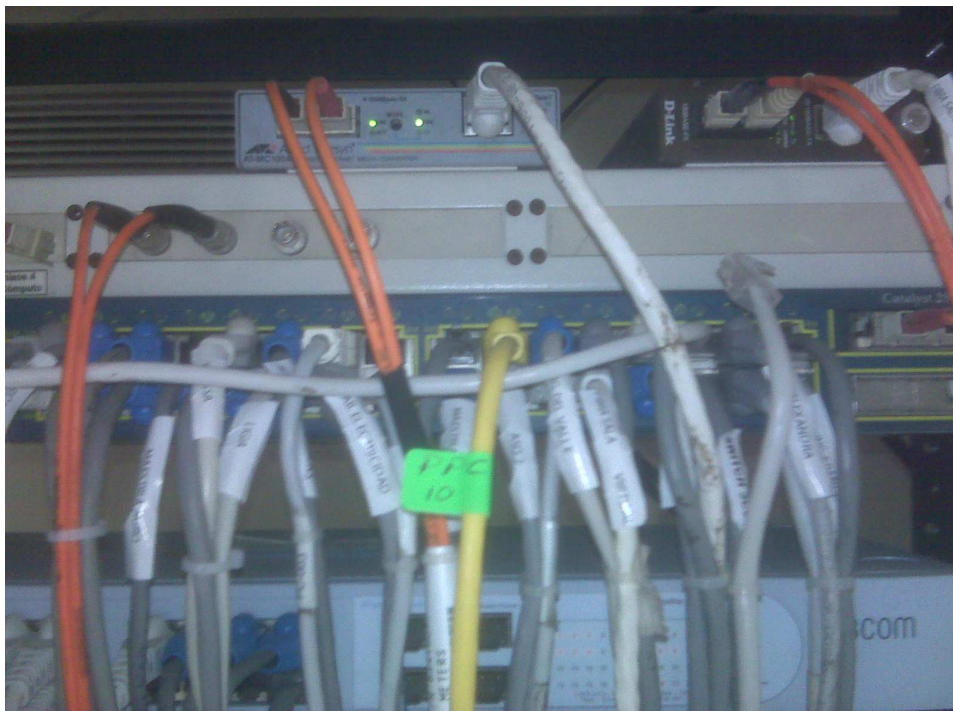


Figura A3.4: Conexión al Puerto 35 del Switch Cisco; asignado por el Centro de Cómputo



Figura A3.5: Adaptador PLC Estación #3 y PLC Uplink