



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

## **POTENCIAL Y PERSPECTIVAS DE POWER LINE COMMUNICATIONS EN MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**PRESENTA:  
GERARDO AGUILAR AGUILAR**

**DIRECTORA DE TESIS:  
ING. MARGARITA BAUTISTA GONZÁLEZ**



**MÉXICO, D.F.**

**Septiembre 2010**

“La ciencia puede descubrir lo que es cierto, pero no lo que es bueno, justo y humano”

Marcus Jacobson

## AGRADECIMIENTOS

A Dios.

En la grata memoria de mi abuela. Por su infinito amor, dedicación y entrega para que yo fuera un hombre de bien.

A mi madre. A quien le dedico este trabajo, porque nunca conoceré a nadie con tanta fuerza y coraje para sacar adelante a su familia. Porque lo que soy hasta ahora es fruto de todo su amor, sacrificio y trabajo. Un ejemplo de vida, y sin duda alguna la persona más admirable que existe y existirá para mí, y por todo eso y más me siento muy orgulloso de ser su hijo.

A Dayra. Por todo su amor, alegría e ilusión que inyecta a mi vida. Por ser mi compañera, en las buenas y en las malas. Por todo su apoyo incondicional para la realización de esta tesis, porque nadie sabe más que ella lo difícil que realmente fue. Por enseñarme a ver la vida desde otra perspectiva, como nunca nadie antes lo había hecho.

A mi familia. Porque siempre se preocuparon por mi formación, además de ser un sostén en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis amigos. Por todos los momentos de risa, felicidad y llanto que hemos compartido, y por estar ahí siempre que los he necesitado.

A mis sinodales. Por todo su apoyo y consejos durante el desarrollo de este trabajo. En especial a mi directora de tesis, por toda la disposición, conocimiento y paciencia que invirtió en este escrito para que pudiera finalizarse.

# ÍNDICE

	<b>PÁGINA</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>I. ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
1.1 Utilización de la red eléctrica como medio de transmisión	1
1.2 Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión, OPLAT	3
1.2.1 Elementos constitutivos	3
1.2.2 Características Generales	6
1.3 Transmisión de datos a través del cable de guarda	6
<b>II. TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS</b>	<b>9</b>
2.1 Descripción de la tecnología PLC	9
2.2. Elementos constitutivos	13
2.3 Parámetros de la red y del sistema PLC	15
2.3.1 Clasificación de niveles de Voltaje	15
2.3.2 Características de una línea de transmisión	18
2.3.3 Modelo del canal de transmisión PLC	22
2.3.4 Compatibilidad Electromagnética	26
2.3.5 Ruido	33
2.3.6 Técnicas para codificar y modular la información en PLC	35
2.3.7 Método de Transmisión de Datos	35
2.3.8 Modulación	39
2.4 Ventajas y Desventajas de la tecnología PLC	41
2.4.1 Ventajas	41
2.4.2 Desventajas	42
2.4.3 Cuadro comparativo de tecnologías de acceso	43
2.5 Estado del Arte	44
<b>III. DESARROLLO Y REGULACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PLC</b>	<b>49</b>
3.1 Desarrollo e implementación del PLC en otros países	50
3.2 Normatividad	57
3.2.1 Regulación en Estados Unidos y Europa	57
3.2.2 Alianzas	60
3.3 Tendencias Generales	68
3.3.1 Next Generation Networks	68

	<b>PÁGINA</b>
3.3.2 Estandarización	70
3.3.3 Triple Play y empresas Multiservicios	71
<b>IV. PERSPECTIVAS DE PLC EN MÉXICO</b>	<b>72</b>
4.1 La Experiencia de PLC en Jocotitlán	72
4.2 Legislación	76
4.3 Posible impacto social	78
4.4 La Fibra Negra y el PLC: ¿La nueva gran Red?	84
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>87</b>
5.1 Conclusiones Generales	87
<b>APÉNDICE</b>	
<b>REFERENCIAS</b>	
<b>REFERENCIAS WEB</b>	
<b>GLOSARIO</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	

# ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1	Diagrama de la estructura del sistema OPLAT	4
Figura 1.2	Cables OPGW	7
Figura 2.1	Ámbito del PLC	11
Figura 2.2	Red PLC In-door	12
Figura 2.3	Estructura general de un sistema de automatización usando PLC	12
Figura 2.4	Elementos constitutivos del sistema PLC	14
Figura 2.5	Diagrama general de los elementos constitutivos de PLC	15
Figura 2.6	Estructura general de una red eléctrica de potencia	17
Figura 2.7	Modelo eléctrico de parámetros distribuidos de una línea de dos cables	19
Figura 2.8	Representación de la transmisión de datos a través de un canal de comunicación	23
Figura 2.9	Modelo Eco	24
Figura 2.10	Modelo básico de problema de la EMC	26
Figura 2.11	Clasificación de perturbaciones EM de acuerdo al espectro de frecuencia	28
Figura 2.12	Modelo general de una fuente de perturbaciones EM	29
Figura 2.13	Medición de Campo Radiado	31
Figura 2.14	Tipos de ruido en el canal de comunicación de PLC	34
Figura 2.15	Señal pulso en el dominio de la frecuencia	36
Figura 2.16	Multiplicación de un pulso rectangular por una señal senoidal en el dominio del tiempo	37
Figura 2.17	Función sinc desplazada	37
Figura 2.18	Creación de una señal multiportadora	38
Figura 2.19	Representación de una señal OFDM con N subportadoras	39
Figura 2.20	Modulación PSK	40
Figura 2.21	Codificación dibit	40

Figura 2.22	Cuadro comparativo de tecnologías de acceso	43
Figura 2.23	Unidad concentradora	45
Figura 2.24	Repetidor	45
Figura 2.25	Módem	46
Figura 2.26	Elementos compatibles con el módem	47
Figura 2.27	Panel de conexión del cableado eléctrico de un velero	48
Figura 3.1	Países involucrados en el desarrollo y comercialización del PLC	56
Figura 3.2	Límites permitidos por la FCC para el campo eléctrico radiado del PLC	59
Figura 3.3	Estado del Arte del proyecto OPERA	64
Figura 3.4	Distribución del mercado eléctrico europeo	66
Figura 3.5	Modelo general de la arquitectura de la NGN	69
Figura 3.6	Cuadro comparativo entre RPTC	69
Figura 4.1	Localización del municipio de Jocotitlán Estado de México	73
Figura 4.2	Sitios de medición y pruebas en Jocotitlán	75
Figura 4.3	líneas de telefonía fija por cada 100 habitantes en México	79
Figura 4.4	Comparativo internacional de densidad de telefonía fija por cada 100 habitantes del año 2008	80
Figura 4.5	Comparativo nacional de densidad de telefonía fija por cada 100 habitantes	81
Figura 4.6	indicador anual de usuarios de telefonía móvil en México	82
Figura 4.7	comparativo internacional de penetración de telefonía móvil por cada 100 habitantes para el año 2008	82
Figura 4.8	comparativo internacional de penetración de internet por cada 100 habitantes para el año 2007	83
Figura 4.9	Mapa de la red nacional de la fibra óptica de la CFE	86

## INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones desempeñan un papel muy importante en el desarrollo económico, social y cultural de un país. Favorecen la productividad económica y el bienestar social, también el acceso al conocimiento, a la cultura y a la difusión de la información. En las últimas décadas la evolución y el uso de las telecomunicaciones han crecido considerablemente. El avance en el desarrollo de nuevas tecnologías ofrece variadas alternativas para poder establecer diferentes tipos de comunicaciones. Alrededor del mundo se han construido y desarrollado redes de comunicación con cobertura nacional e internacional, con gran capacidad de tráfico de información, y a través de éstas se pueden ofrecer diferentes servicios. A pesar del crecimiento de estas redes, una de sus limitantes para su expansión, es el alto costo de la interconexión de los nodos de las múltiples empresas proveedoras de los servicios, así como también los costos de conexión con el usuario final (última milla).

Como una alternativa que permita abatir los costos debidos a la creación de nuevas redes y a la conexión del usuario final, se pensó en aprovechar la infraestructura de la red de distribución eléctrica, empleándola como medio de transmisión. La tecnología que permite lo anterior es llamada, *Power Line Communications, PLC*, la cual también recibe el nombre de *Broadband Over Power Line, BPL*. PLC ofrece servicios de telecomunicaciones de Banda Ancha para transmitir voz, audio y video, utilizando las redes de distribución eléctrica en los ámbitos de Tensión Media y Tensión Baja. Algunos de estos servicios son: internet de Banda Ancha, telefonía, videoconferencias, capacitación y telecontrol, entre otros.

Aunque no es tan reciente como puede suponerse, PLC ha sido objeto de gran atención en los últimos años, y el hecho de que en la actualidad se esté incrementando su uso en muchos países europeos y que aún se sigan efectuando pruebas y despliegues más o menos extensos en países de todo el mundo, son muestra de su potencial y del interés que despierta.

Una de las características que hace a la tecnología PLC muy atractiva, es el hecho de que la red eléctrica es la red más grande y de mayor cobertura en el mundo. Según datos del INEGI

del censo del año 2000, el porcentaje de viviendas con electricidad en México era del 95%, por lo que existe la posibilidad de que servicios de telecomunicaciones de Banda Ancha puedan llegar a poblaciones y familias en donde la red eléctrica es la única red de acceso, lo cual permitiría una reducción de la Brecha Digital. Según reporte de la ITU, “medición de la sociedad de la información 2010”, la tasa de penetración de la Banda Ancha es del 23% de habitantes en los países desarrollados, y solo del 4% en los países de desarrollo (si se excluye a China sólo el 2%) [28]

Al ser una tecnología emergente, PLC aún presenta retos regulatorios, de normalización, homologación y legislación. En algunos países del mundo se han realizado diversas pruebas y despliegues del PLC, y pocos son los pioneros en la comercialización y uso masivo de servicios de Banda Ancha sobre esta tecnología. En el caso de México, sólo se han efectuado algunas pruebas sobre PLC, una de las más relevantes la llevo a cabo la Comisión Federal de Electricidad, CFE, la cual es la empresa paraestatal encargada de la generación, transmisión y distribución de la electricidad.

En este trabajo se presentan antecedentes de la tecnología, una descripción de ésta, su desarrollo, regulación y las perspectivas del PLC en México, así como las conclusiones finales de la investigación del tema.

---

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

En este capítulo se aborda de manera general la historia de la transmisión de datos a través de la red de energía eléctrica, y se ofrece una breve descripción de las tecnologías predecesoras de *PLC (Power Line Communication)*. Todo ello con el objetivo de tener los antecedentes y un contexto más amplio para el estudio de ésta tecnología.

### **1.1 UTILIZACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN**

La idea de utilizar la infraestructura de la red eléctrica como medio de transmisión de datos no es nueva, aunque en la última década ha tenido más auge y resonancia a nivel mundial por las múltiples aplicaciones que se han desarrollado.

A principios del siglo XX, el canal de transmisión de información más popular era la red telefónica pública conmutada. Sin embargo, para las compañías de energía eléctrica su aplicación como red de telecomunicaciones quedaba limitada por tres razones fundamentales:

---

en primer lugar, ciertas aplicaciones tales como la transmisión de señales de tele protección, precisan alta fiabilidad y disponibilidad prácticamente instantáneas del canal, las cuales son dos características que la red telefónica no podía garantizar; en segundo lugar, las aplicaciones de telemedición y telecontrol implican un estado de transmisión casi permanente; y en tercer lugar, pero no por ello menos importante, era la falta de servicio telefónico en subestaciones muy apartadas en donde no llegaba la red telefónica. Debido a lo anterior, el uso de una red de transmisión privada parecía la mejor opción.

Por consiguiente, el sistema de comunicaciones a ser empleado debía ser altamente confiable, eficaz y económico. Fue entonces cuando se pensó en el uso de las mismas líneas de transmisión de energía eléctrica como el medio para la transmisión de información. Dichas líneas, al conectar a todos los elementos que componen el proceso de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, y al ser mecánicamente más resistentes a las perturbaciones ambientales que el tradicional par telefónico, resultaron ser los elementos idóneos para la transmisión de señales de inteligencia de las compañías eléctricas.

No fue sino hasta el año 1919, que la compañía *General Electric* demostró la factibilidad de este tipo de transmisión de datos, instalando el primer sistema de este tipo en el año 1921. Inicialmente su uso se limitaba al telecontrol de equipos; al análisis de pérdidas y demandas; a la administración de cargas remotas, y a la transmisión a baja tasa de datos de medidas. Posteriormente las compañías eléctricas comenzaron a utilizar sus propias redes eléctricas para la transmisión interna de datos, incluyendo el servicio de telefonía.

A este tipo de tecnología, en la que se transmiten simultáneamente señales de radio de baja frecuencia y la señal de energía eléctrica, sin ocasionar interferencia, se le designó en español como Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión, OPLAT.

Es así como el sistema OPLAT abre las puertas de las comunicaciones utilizando la infraestructura de la red eléctrica como medio efectivo de transmisión de datos.

---

## 1.2 ONDA PORTADORA POR LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN (OPLAT)

Todas las compañías encargadas de la generación y distribución de energía eléctrica establecen parte de sus comunicaciones utilizando como medio de transmisión de datos, sus líneas de alta tensión, debido a que estas líneas constituyen el elemento de enlace entre sus instalaciones. Como ya se mencionó, estos tipos de sistemas reciben el nombre OPLAT, Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión. En inglés se les denomina *Power Line Carrier, PLC*, lo cual tiene el mismo acrónimo que *Power Line Communications*. Sin embargo, se debe tener presente que son dos tipos de tecnologías diferentes. Por ahora diremos que la tecnología OPLAT opera en líneas de transmisión de alta tensión, y PLC en líneas de media y baja tensión.

El sistema de comunicaciones de OPLAT, consiste en la transmisión de señales de radio de baja frecuencia en forma simultánea y sin interferencia con la señal de la energía eléctrica. En este proceso se agrega la señal de comunicación ya modulada a la línea de alta tensión y se envía a través de ésta a otra central o subestación eléctrica, en donde la señal pasa por un proceso de demodulación.

El ancho de banda en el cual operan los sistemas OPLAT se encuentra generalmente dentro del rango de 30 KHz a 500 KHz. Esta asignación del ancho de banda se debe fundamentalmente a que por arriba de 30 KHz se dispone de un margen lo suficientemente amplio como para que no existan problemas de ruido ocasionado por la frecuencia a la que opera la señal de potencia, la cual es de 60 Hz. Por el otro lado, la frecuencia no rebasa los 500 KHz, para que se reduzcan las posibilidades de atenuación, ya que a mayor frecuencia de operación en este medio de comunicación, mayor es la atenuación. Si se respeta este límite, la interferencia que se tiene con las ondas de radio comercial y con las de banda libre es menor.

### 1.2.1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

El sistema OPLAT se encuentra integrado principalmente por los siguientes elementos:

- a) Equipo transceptor (transmisor / receptor)
- b) Capacitor de acoplamiento
- c) Equipo sintonizador
- d) Trampa de onda
- e) Línea de transmisión de alto voltaje

En la Figura 1.1 se presentan los elementos antes mencionados, así como la estructura general del sistema.

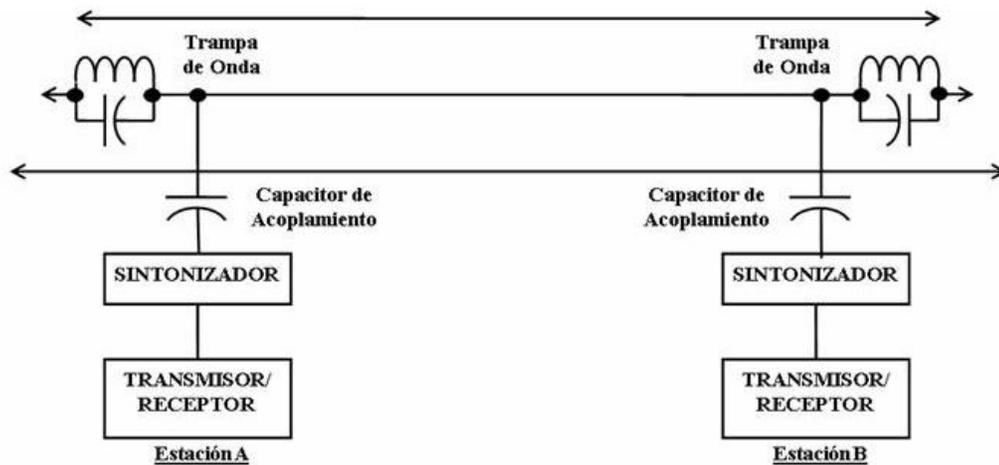


Figura 1.1 Diagrama de la estructura del sistema OPLAT. [8]

A continuación se describen de manera general los elementos constitutivos:

**a) Equipo Transceptor (transmisor/receptor).** Los dispositivos de transmisión y recepción son equipos de radio que generalmente operan con modulación de Banda Lateral Única (BLU), a través de ellos se envían las señales de voz, protección y datos. Otros tipos de modulaciones que pueden utilizar estos equipos son: Modulación de Amplitud (AM), Modulación de Frecuencia (FM), Modulación por Corrimiento de Frecuencia (*FSK Frequency Shift Keying*), etc. Sin embargo, el tipo de modulación BLU, es el más utilizado, debido a que en una sola banda se envía toda la información, por lo

---

cual se reduce la cantidad de energía requerida para la transmisión. El equipo transceptor se instala en las localidades donde se requiere establecer la comunicación, por lo regular subestaciones y centros de control.

**b) Capacitor de acoplamiento.** Este dispositivo permite el paso de la señal de la onda portadora debido a la baja impedancia que presenta para dicha señal, a la vez que impide el paso de la señal de potencia, ya que para la frecuencia de 60 Hz presenta una impedancia muy elevada.

**c) Equipo Sintonizador.** También llamado sintonizador de línea, se encarga de discriminar los diferentes canales de onda portadora y enviarlos a los transmisores/receptores. Reducen los efectos de la reactancia capacitiva del capacitor de acoplamiento, lo que ofrece un mejor equilibrio de impedancias para lograr la máxima transferencia de energía. Otra de sus funciones es atenuar las señales no deseadas del sistema, es decir, elimina el ruido excesivo. Además, el equipo sintonizador cuenta con elementos de protección contra eventuales sobrecargas, los cuales tienen la doble función de proteger al equipo y al personal que labora en las tareas de mantenimiento del mismo.

**d) Trampa de onda.** Este dispositivo presenta una impedancia relativamente alta para la gama de frecuencias de la onda portadora, que van desde los 30 KHz a los 500 KHz, por el contrario, para la señal de potencia, a una frecuencia de 60 Hz, la impedancia es casi nula. La trampa de onda consta de un circuito resonante en paralelo y es colocado entre el punto de conexión del capacitor de acoplamiento y la subestación.

**e) Línea de transmisión de alta tensión.** Este elemento constitutivo del sistema OPLAT es el elemento conductor de la señal de potencia, y también es el canal de transmisión de las señales de información.

---

## 1.2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las principales características del sistema OPLAT son las siguientes:

- a) Viabilidad económica y técnica para usarse como medio de transmisión.
- b) Capacidad de transmisión para varios canales de comunicación.
- c) No son requeridos o son mínimos los repetidores que se tienen que utilizar cuando las distancias son muy grandes.
- d) Bajo costo de mantenimiento.
- e) Se puede tener un sistema telefónico completo y fácil de instalar.
- f) Confiable y versátil.
- g) Es susceptible al ruido de la línea de energía eléctrica.
- h) Tiene un limitado ancho de banda.
- i) Espectro de frecuencia nominal: 30 KHz - 500 KHz.

## 1.3 TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DEL CABLE DE GUARDA

Las subestaciones de transmisión y recepción de energía eléctrica están interconectadas por líneas de transmisión. Estas líneas están soportadas por torres, en cuya parte superior se instalan hilos de guarda, también llamados cables de guarda, cuya función es proteger a las líneas contra las descargas atmosféricas. Esta protección consiste en interceptar dichas descargas y conducir las a tierra por medio del conductor, evitando así afectación a las líneas de transmisión y al equipo de la subestación. Sin embargo, la protección contra fenómenos meteorológicos no es la única función del cable de guarda, también sirven como medio de transporte de datos debido a las fibras ópticas que contienen en su interior.

Los hilos de guarda utilizados para mantener servicios de comunicación en sistemas de alta tensión, deben ser cables de guarda ópticos denominados *Optical Power Ground Wire (OPGW)*. Existen otros tipos de cables ópticos aéreos, sin embargo, el *OPGW* es el idóneo para redes de alta tensión. Estos cables se utilizan para descargar a tierra la energía eléctrica

atmosférica, y al mismo tiempo permiten, a través de las fibras ópticas, la intercomunicación, señalización y enlaces telefónicos del sistema eléctrico de alta tensión. Esta tecnología se empezó a utilizar aproximadamente a mediados de los años ochenta. Debido a sus grandes beneficios empezó su propagación de manera acelerada en todo el mundo. El uso de la fibra óptica en los cables de guarda proporciona un valor agregado, que supera por mucho su uso original para protección y control. Cabe mencionar que para una mayor protección de la fibra óptica contra los agentes ambientales como el sol, agua y aire, los cables *OPGW* incluyen químicos en forma de gel para evitar la degradación de materiales.

Por lo regular se utilizan fibras ópticas de tipo monomodo para esta aplicación, debido a que ofrecen mayor capacidad de transmisión a grandes distancias y menor atenuación por unidad de longitud. La Figura 1.2 muestra dos tipos distintos de hilos de guarda ópticos.

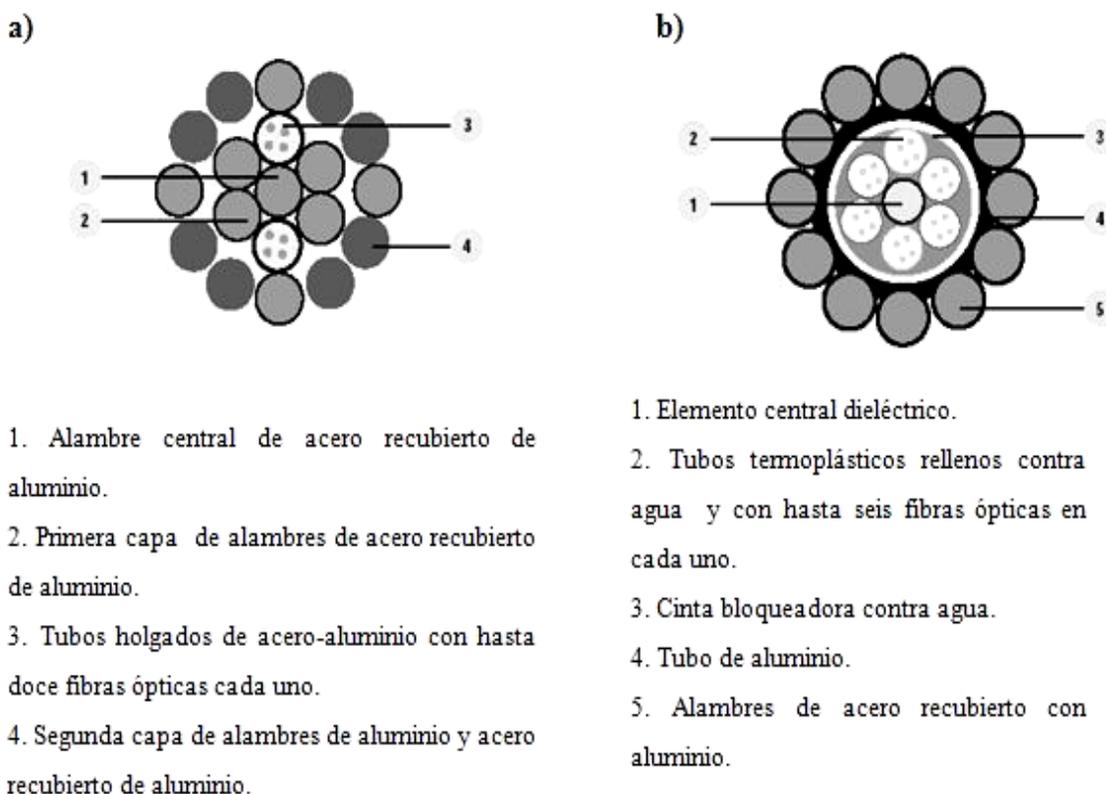


Figura 1.2. Cables OPGW a) con tubos de acero–aluminio b) con tubos de aluminio. [8]

---

Actualmente algunos hilos de guarda ópticos pueden tener hasta 144 fibras ópticas. La elección del tipo de cable de guarda dependerá de las necesidades del cliente, de la importancia de la línea de transmisión y del costo. Algunas ventajas que presentan las fibras ópticas son las siguientes:

- Tienen baja pérdida de transmisión, lo que permite transmisiones a larga distancia sin repetidores.
- No están sujetas a polarización ni a interferencias magnéticas.
- Proveen las señales de transmisión de la más alta calidad.
- Proporcionan una capacidad alta para transmisiones de banda ancha.
- Facilitan la transmisión de grandes volúmenes de información a tasas elevadas.

En la actualidad, algunos de los servicios de telefonía y datos en los sistemas eléctricos de alta tensión se suministran a través del hilo de guarda óptico. Cabe señalar que el uso de la fibra óptica en los sistemas eléctricos es prácticamente exclusivo para la red de alta tensión, ya que el uso a niveles de distribución y baja tensión es poco rentable debido a los altos costos de inversión y mantenimiento que tiene. En la red eléctrica de media y baja tensión, la tecnología que se podría utilizar es la de Power Line Communication, la cual se describirá en el capítulo siguiente.

---

## **CAPÍTULO II. TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS**

El objetivo de este capítulo es realizar una descripción general de la tecnología Power Line Communication, PLC. Se presentan sus características generales, los elementos que la constituyen y sus principales ventajas y desventajas.

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PLC**

En términos generales, la tecnología PLC se define como un sistema que permite la transmisión de datos de banda ancha, utilizando la red del cableado eléctrico existente como el canal de transmisión para aplicaciones de voz, datos y video.

La implementación de esta tecnología se realiza sobre la red de tensiones media y baja, ya que por los alcances propios de PLC no se justifica su utilización en la red de alta tensión, debido a que esta última cuenta con la fibra óptica instalada en el cable de guarda, y como se

---

mencionó en el capítulo anterior, resulta ser por mucho, una mejor alternativa para la transmisión de información. A continuación se describen los elementos involucrados.

- **Centrales transformadoras.** En los centros de transformación se realiza el cambio de voltaje, según se necesite. Puede que sea una central elevadora o reductora de voltaje, y por lo regular en ésta última, es el sitio donde se instalan los routers y módems que permiten la transmisión de información a través de la red eléctrica, así como el punto de conexión con la red WAN por medio de fibra óptica, ya sea por cable de guarda de las líneas de transmisión, que servirían a su vez como red dorsal, o por la interconexión con algún otro proveedor de servicios de internet.
  
- **Red de media tensión.** Es la red eléctrica que empieza en la subestación reductora y se dirige a los transformadores de media a baja tensión. Por lo regular este tipo de red presenta diversas topologías de conexión, entre la que destaca la de anillo, para poder ofrecer redundancia en el servicio ante alguna eventual falla en la red.
  
- **Red de baja tensión.** Es la red que se instala después de los transformadores de media a baja tensión, y en la cual, la energía eléctrica se encuentra en el nivel de voltaje adecuado para el consumidor. En estos transformadores se instalan unidades de concentración (UC), las cuales transmiten y reciben las señales de datos entre las subestaciones eléctricas y los usuarios finales.
  
- **Usuarios finales.** Viviendas, edificios públicos, empresas, zonas rurales, entre otros, que puedan requerir del suministro de la energía eléctrica para fines comerciales o domésticos, además de la posibilidad de tener que navegar en Internet, enviar y recibir datos, voz y video utilizando un módem PLC.

La representación gráfica del ámbito del PLC se ilustra en la Figura 2.1

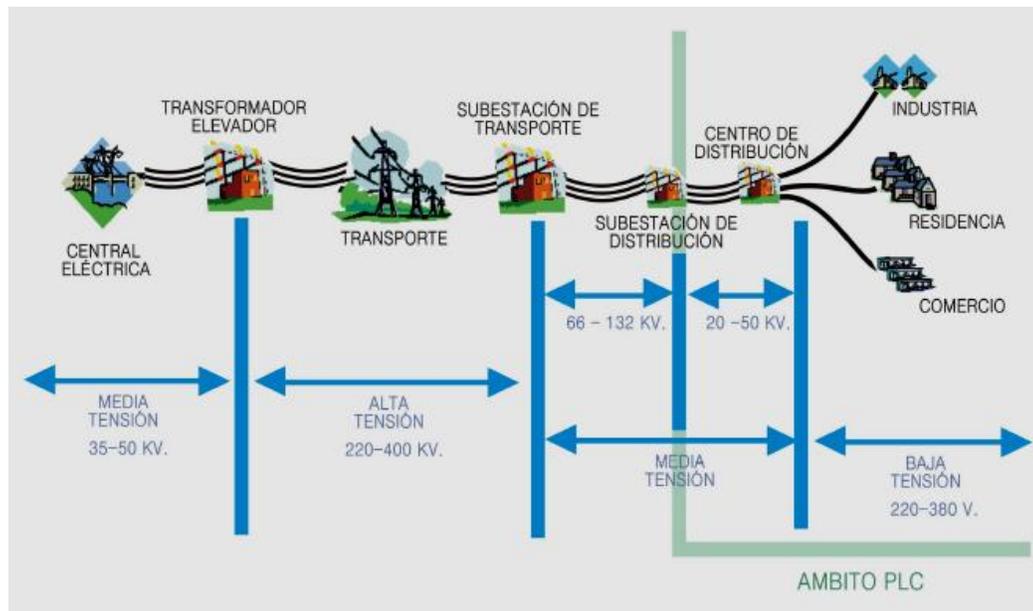


Figura 2.1 Ámbito de PLC [24]

Debido a su versatilidad, el sistema PLC puede tener aplicaciones de dos tipos:

▪ **Interiores (*In-door*)**

El modo Interior resulta muy útil para la transmisión de datos dentro de un edificio, oficina o casa, ya que es posible hacer conexiones de tipo LAN, sin instalaciones de cableado adicional, para la interoperabilidad de diversos dispositivos como computadoras, impresoras, módems, ruteadores, dispositivos de control hogareño, entre otros. Cabe mencionar que el uso de aparatos electrodomésticos no afecta la calidad de la señal de datos, por lo tanto, el uso de Internet y demás aplicaciones tendrán disponibilidad en cualquier momento, aun esté en operación el refrigerador o cualquier otro dispositivo eléctrico, electrónico o electrodoméstico. En la Figura 2.2 se muestra un diagrama general de la red PLC In-door. Además, en la actualidad la automatización de servicios se está haciendo cada vez más popular, no solamente para las aplicaciones de la industria en los grandes corporativos o fábricas, sino también en los hogares. Servicios tales como video vigilancia, control de temperatura, control de equipos de iluminación, seguridad, entre otros, necesitan tener interconectados un gran número de dispositivos y sensores. Es por ello que el sistema PLC en su modo In-door parece ser una solución viable para poner en red el control y funcionamiento de todos

---

esos dispositivos, especialmente dentro de viejas casas o construcciones que no tienen una adecuada infraestructura interna para comunicaciones. La Figura 2.3 ilustra la estructura de un sistema de automatización utilizando la red PLC In-door.

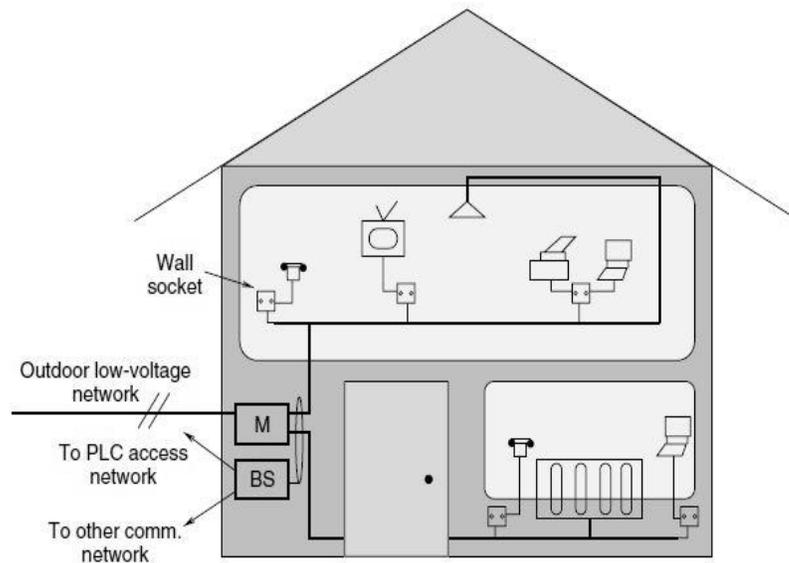


Figura 2.2 Red PLC In-door. Tomado de [3]

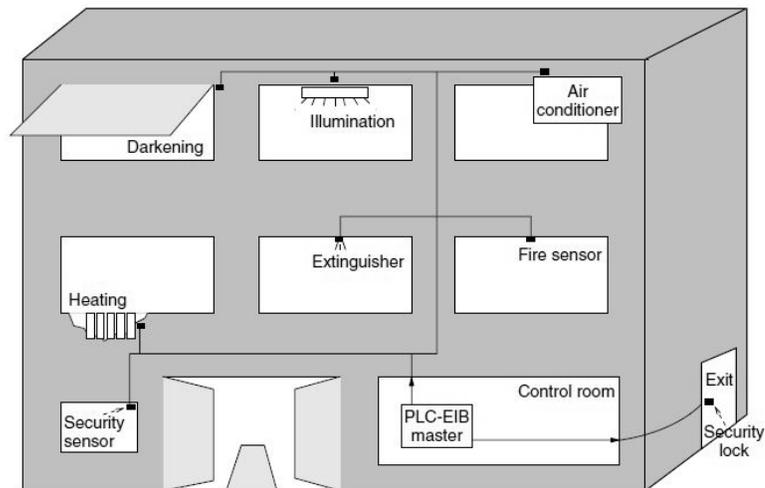


Figura 2.3 Estructura general de un sistema de automatización usando PLC. Tomado de [3]

#### ▪ Exteriores (*out-door*)

En lo que refiere al modo exterior, también conocido como “aplicaciones de última milla”, se incluye la distribución en edificios, casas y oficinas de Internet y otros

---

servicios por parte de los proveedores de banda ancha a través de la red de distribución eléctrica. La banda ancha es capaz de proporcionar aplicaciones de voz (Telefonía IP), video bajo demanda (VOD), videoconferencias, sistemas de vigilancia y aplicaciones de medición de variables como: electricidad, gas, agua.

Cabe señalar que la instalación de la red de última milla representa para las compañías proveedoras de los servicios de banda ancha un costo muy elevado. Por esta razón, algunas de esas empresas estarían interesadas en utilizar la red de distribución de energía eléctrica como medio para alcanzar a los usuarios finales. Dicho alcance se puede conseguir utilizando la tecnología PLC.

## **2.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS**

El sistema PLC está constituido básicamente por los siguientes elementos:

- a) Unidades de usuario, UU, Módems.**
- b) Unidades concentradoras, UC.**
- c) Unidades repetidoras, UR.**
- d) Acopladores de media y baja tensión**
- e) Red eléctrica de media y baja tensión**

Las unidades de usuario UU, también llamadas módems, son los equipos terminales que se conectan al contacto de la red eléctrica, tanto para alimentarse, como para proporcionar la puerta de enlace y de comunicación con otros equipos conectados en la misma red. Los módems, por medio de sus interfaces Ethernet y USB van a permitir la adición de equipos de cómputo, telefonía y control a la red. A su vez estas unidades de usuario van a reportar a las unidades concentradoras, UC, las cuales son dispositivos encargados de enviar electricidad y datos a los enchufes del lugar donde se pretende crear o ampliar la red de datos. La UC va a estar en comunicación continua con las UU, ya que van a estar intercambiando datos. Por lo regular las UC se colocan al pie de los transformadores de media y baja tensión.

---

En ocasiones, las unidades repetidoras, UR se introducen para amplificar y limpiar la señal de datos cuando la distancia entre la UC y la UU es bastante considerable. También se puede dar el caso en que las UR se coloquen entre las UC y los centros de gestión de red, los que por lo regular se localizan en las subestaciones eléctricas.

Los acopladores de media y baja tensión son los elementos que inyectan y filtran la señal de datos en la red eléctrica para su propagación. La Figura 2.4, muestra versiones de los elementos constitutivos del PLC disponibles en el mercado.



a) Unidades de usuario, UU



b) Unidades concentradoras, UC



c) Unidades repetidoras, UR



d) Acoplador de media tensión

Figura 2.4 Elementos constitutivos del sistema PLC. [24]

La red eléctrica de media y baja tensión está constituida por cables, los cuales son los canales de transmisión que se utilizan para la tecnología PLC. Esta red puede ser aérea o subterránea, y por sus características propias resulta ser un medio hostil y ruidoso para la transmisión de información. Es por ello que se recurre a técnicas eficientes de modulación y de codificación como Multiplexaje por División de Frecuencia Ortogonal, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). La Figura 2.5 muestra un diagrama general de conexión de los elementos constitutivos de PLC.

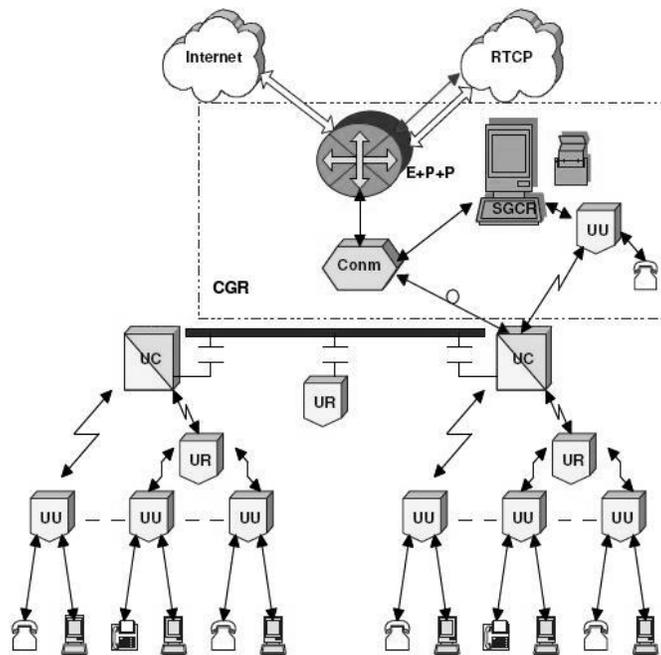


Figura 2.5 Diagrama general de los elementos constitutivos de PLC [14]

## 2.3 PARÁMETROS DE LA RED Y DEL SISTEMA PLC

### 2.3.1 CLASIFICACIÓN DE NIVELES DE VOLTAJE

La infraestructura de la red de transmisión de la energía eléctrica no fue diseñada para transmitir datos a altas tasas, ni a frecuencias elevadas. Únicamente fue proyectada para transportar energía eléctrica a bajas frecuencias (50 ó 60 Hz), y que garantizara el suministro

---

de energía eléctrica solicitada por el consumidor final. Sin embargo, el desarrollo del PLC hace posible que tanto la señal de energía eléctrica, como datos en Banda Ancha puedan transmitirse por el mismo canal de transmisión. Para esta tecnología se utilizan diferentes equipos, y la forma de selección de los mismos dependerá del nivel de tensión del sistema de transmisión del área involucrada. A partir de lo anterior se fundamenta la importancia de hacer la clasificación de los sistemas de transmisión, atendiendo a los niveles de voltaje. La Figura 2.6 muestra la estructura general de una red eléctrica de potencia.

Diversas organizaciones nacionales e internacionales se han encargado de hacer la clasificación y estandarización de voltajes; sin embargo, aún existen ciertas diferencias, las cuales se señalan de manera general a continuación:

La *IEC*, la cual por sus siglas en inglés es la *International Electrotechnical Commission*, en su norma *IEC 38* establece la clasificación de voltajes como:

- Baja tensión. Hasta 1 KV
- Media tensión. Mayor a 1 KV y hasta 36 KV
- Alta tensión. Mayor a 36 KV y hasta 800 KV

Por su parte, la *IEEE*, en su estándar 141-1993 Capítulo 3, sección 3.2.2, establece como:

- Baja tensión. Menor a 1 KV
- Media tensión. Igual o mayor a 1 KV y menor a 100 KV
- Alta tensión. Igual o mayor a 100 KV, hasta 230 KV
- Extra alta tensión, mayor de 230 KV hasta 400 KV

En México los niveles de voltaje se encuentran regulados por la Asociación Nacional de Normalización y Certificación del Sector Eléctrico, AC., ANCE, con base a la norma NMX-J-098-ANCE-1999 referente a Sistemas eléctricos de potencia-Suministro-Tensiones eléctricas

---

normalizadas. (Apéndice A). Esta norma establece que la clasificación, por nivel de tensión eléctrica en el sistema es:

- Baja tensión, desde 100 V hasta 1,000 V.
- Media tensión, mayor a 1 KV hasta 34.5 KV.
- Alta tensión, mayor de 34.5 KV hasta 230 KV.
- Extra alta tensión, mayor de 230 KV hasta 400 KV.

Esta norma mexicana difiere en relación con la Norma Internacional IEC 38, debido a que se realizó con base al estado propio del Sistema Eléctrico en México.

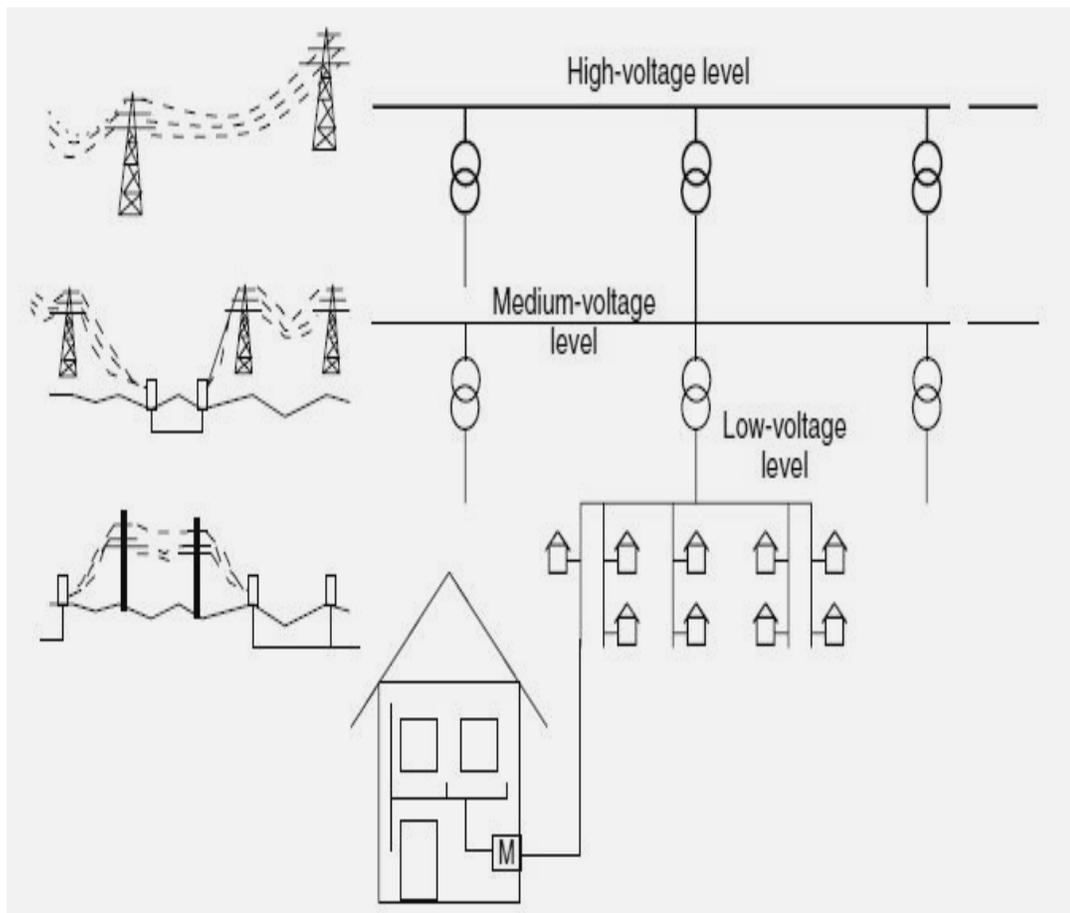


Figura 2.6 Estructura general de una red eléctrica de potencia. Tomado de [3]

---

## 2.3.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

### Clasificación de una línea de transmisión

Las líneas de transmisión forman parte del sistema eléctrico de potencia, y se pueden clasificar según su longitud en:

- Líneas de longitud corta (menor o igual a 80 km).
- Líneas de longitud media (superior a los 80 km e inferior o igual a los 240 km).
- Líneas de longitud larga (mayores a los 240 km).

### Circuito equivalente de una línea de transmisión

La línea de transmisión eléctrica es el medio por el cual se van a transportar tanto la señal de potencia como la de datos al utilizar la tecnología PLC. Debido a que la infraestructura del sistema eléctrico fue diseñada exclusivamente para la óptima transmisión de energía eléctrica, se incluyen las principales propiedades físicas y dieléctricas de los conductores, para conocer su comportamiento y el efecto que tienen éstas sobre la señal de datos.

Para poder efectuar pruebas y mediciones sobre una línea de transmisión se deben considerar diferentes características eléctricas de los cables que la constituyen, como: la conductancia del cable, las constantes dieléctricas del aislante, el diámetro del cable y los espacios entre conductores. Con estos datos se pueden obtener las constantes eléctricas primarias, las cuales son: resistencia en CD en serie (**R**), inductancia en serie (**L**), capacitancia en derivación (**C**) y conductancia de derivación (**G**).

Los valores de la resistencia y la inductancia dependen de la propia línea de transmisión, mientras que los efectos de capacitancia y conductancia ocurren entre los dos conductores. Estos parámetros también reciben el nombre de parámetros distribuidos debido a que, como su nombre lo dice, se distribuyen a lo largo de toda la línea de manera uniforme. De esta forma, agrupando los parámetros distribuidos de la línea, se puede crear un modelo eléctrico que represente de manera precisa, y que permita el estudio y modelado de una línea de

transmisión. La Figura 2.7 muestra el modelo eléctrico equivalente de una línea de distribución de dos cables con sus parámetros distribuidos.

### Constantes secundarias

Las constantes secundarias son la impedancia característica  $Z_0$  y la constante de propagación  $\gamma$ , y se determinan a partir de las cuatro constantes primarias.

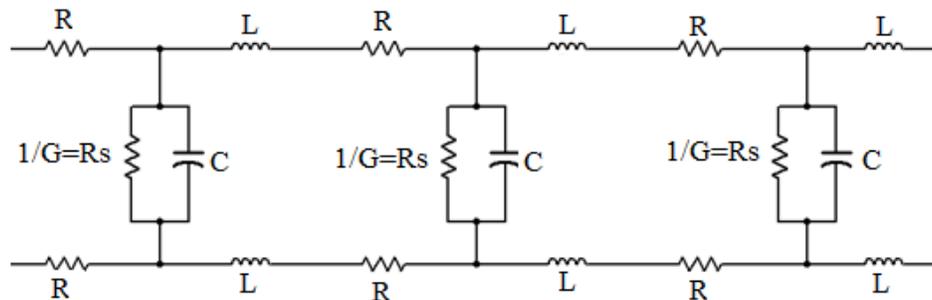


Figura 2.7 Modelo eléctrico de parámetros distribuidos de una línea de dos cables. [5]

### Impedancia característica

La impedancia característica es una cantidad compleja, se mide en ohms y no depende directamente de la longitud de la línea de transmisión. Se puede definir como la impedancia de una línea hipotéticamente infinita que termina en una carga puramente resistiva, de igual valor a la impedancia característica de la línea, la cual suponemos ideal ya que no presenta pérdidas. Esta constante secundaria se puede expresar como:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad \dots (2.1)$$

Esta expresión depende totalmente de la frecuencia. Para frecuencias extremadamente bajas, la expresión se puede simplificar, y observamos que dominan las resistencias y la  $Z_0$  se reduce a:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{G}} \quad \dots (2.2)$$

---

En caso contrario, para frecuencias muy elevadas, la inductancia y la capacitancia dominan, de tal forma que la ecuación 2.1 se puede expresar de la siguiente forma:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \dots (2.3)$$

La impedancia característica de una línea de transmisión también se puede obtener mediante la ley de Ohm. Si se aplica un voltaje  $E_0$  a una línea infinitamente larga. Aunque la carga este abierta, el circuito está completo al tener las constantes distribuidas de la línea. La impedancia característica  $Z_0$ , se obtiene mediante el cociente de la fuente  $E_0$ , y la corriente de la línea.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{E_0}{I_0}} \quad \dots (2.4)$$

### Constante de propagación

La constante de propagación, o coeficiente de propagación, expresa la atenuación de la amplitud y el desplazamiento de fase por unidad de longitud que sufre la onda electromagnética a lo largo de la línea de transmisión. Esta atenuación se produce tanto en corriente como en voltaje. La constante de propagación se expresa de la siguiente manera:

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad \dots (2.5)$$

En donde:

$\gamma$  = constante de propagación

$\alpha$  = coeficiente de atenuación (Nepers por unidad de longitud)

$\beta$  = coeficiente de desplazamiento de fase (radianes por unidad de longitud)

En términos de las constantes primarias, la constante de propagación se define como:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad \dots (2.6)$$

El coeficiente  $\beta$  queda definido como el desplazamiento de fase de  $2\pi$  radianes que se da sobre una distancia de longitud de onda  $\lambda$ .

---

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \dots (2.7)$$

En el caso de frecuencias elevadas,  $\omega L > R$  y  $\omega C > G$ , de tal forma que:

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2} \quad \dots (2.8)$$

$$\beta = \omega \sqrt{LC} \quad \dots (2.9)$$

### **Pérdidas en las líneas de transmisión**

Las líneas de transmisión son sistemas no ideales que presentan pérdida de energía por distintas razones. Algunas de las causas de la pérdida de energía son las debidas al propio conductor, la pérdida por radiación, la pérdida por calentamiento del dieléctrico, pérdida por acoplamiento, y la pérdida debido al efecto corona.

#### **Pérdida debida al conductor**

Debido al efecto resistivo que se presenta a lo largo del conductor, existe una pérdida inherente de energía. Además, el flujo magnético formado por el paso de corriente a través un conductor circular aislado tiene mayor densidad en el centro que en la superficie, provocando una mayor oposición al paso de los electrones, y en consecuencia estos últimos se desplacen por la superficie del conductor. A este comportamiento se nombra efecto piel. Este fenómeno físico equivale a reducir el área transversal del cable y aumentar la resistencia.

#### **Pérdida debida a la radiación**

La cantidad de energía emitida por la línea de transmisión depende de varios factores, como son: el aislante, los espacios entre los conductores y la longitud de onda. Debido a los campos electrostáticos y electromagnéticos del conductor, y cuando la longitud de onda es una fracción considerable de la separación de conductores, la línea se comporta como una antena y

---

puede emitir o percibir energía de materiales conductores cercanos. La frecuencia también se relaciona proporcionalmente con la pérdida por radiación.

### **Pérdida por el calentamiento del dieléctrico**

Al existir una diferencia de potencial entre dos conductores, existe calentamiento del material dieléctrico que se encuentra entre ellos. Este calor es parte de la energía que se transmite por el conductor. Si el aire es el dieléctrico se considera prácticamente cero la pérdida. En el caso de que el dieléctrico sea un material sólido, la pérdida se incrementa debido a la frecuencia.

### **Pérdida por acoplamiento**

Cuando se conectan dos partes separadas de una línea de transmisión, o cuando se tiene una conexión de o hacia la línea de transmisión, existe una pérdida de energía en forma de calor o radiación, la cual es debida a que en esos puntos de conexión las propiedades mecánicas no son uniformes o tienen materiales diferentes.

### **Efecto Corona**

Este efecto se produce cuando la diferencia de potencial que existe entre dos conductores es mayor al voltaje de ruptura del aislante. Este fenómeno se manifiesta como una descarga luminosa.

## **2.3.3 MODELO DEL CANAL DE TRASMISIÓN PLC**

En los párrafos anteriores se mencionaron las características generales que tienen las líneas de transmisión, sin embargo, para el sistema PLC hay ciertas características y modelos particulares, los cuales, se mencionan a continuación.

Las líneas de transmisión de energía eléctrica no fueron diseñadas para transportar datos a altas frecuencias, por lo que son un medio inestable de transmisión. Una de las principales causas de esta inestabilidad es la variación de la impedancia a lo largo de la red eléctrica. Esta variación de impedancia se produce por diversas razones, como son: la topología de la red, la

---

impedancia característica de los cables, las cargas que se conectan al sistema, la frecuencia de la señal, las numerosas interconexiones, entre otras. Todo esto tiene un efecto de reflexión de la señal PLC transmitida, por lo cual se puede considerar a la transmisión como multitrayectoria. Para tratar de representar el modelo del canal de transmisión, a éste se le asocia la función de transferencia  $\mathbf{H(f)}$ , la cual tendrá una respuesta al impulso que servirá para saber el comportamiento del sistema. La señal de entrada será  $\mathbf{s(t)}$ , una señal de tipo sinusoidal real, y la señal de salida será  $\mathbf{r(t)}$ . Ésta última se describe básicamente como una señal, atenuada, con retardo, y con ruido añadido; y se expresa de la siguiente forma:

$$\mathbf{r(t) = h(t) * s(t) + n(t)} \quad \dots (2.10)$$

En la expresión 2.10, el término  $\mathbf{n(t)}$  representa los diferentes tipos de ruidos o perturbaciones que se añaden de forma inherente al canal de comunicación. La Figura 2.8 se representa la transmisión de datos por el canal de comunicación y trata de ilustrar la expresión 2.10.

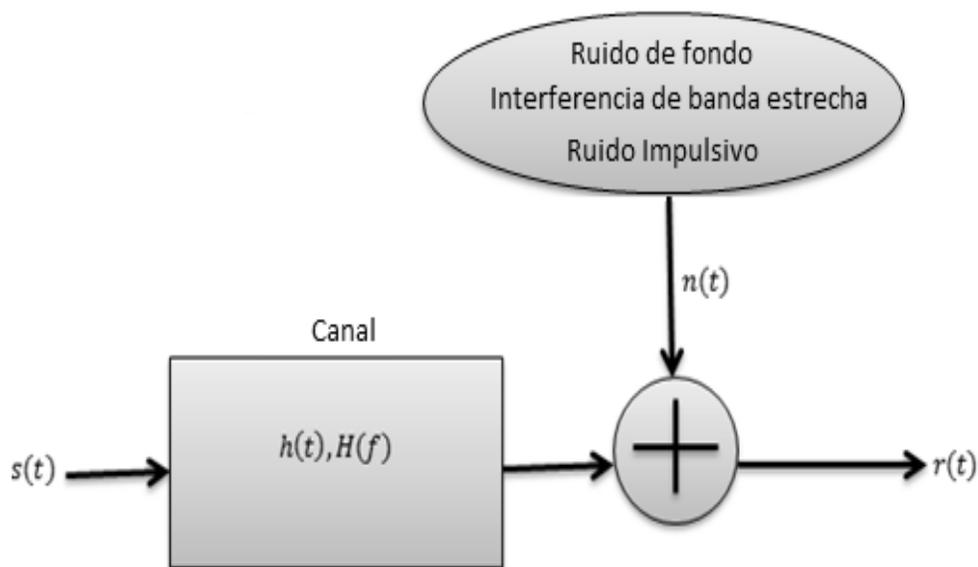


Figura 2.8 Representación de la transmisión de datos a través de un canal de comunicación. [1]

---

## Modelo ECO

La transmisión multitrayectoria es muy representativa en los sistemas inalámbricos, pero ésta no es particular de ellos, también ocurre en el caso de la tecnología PLC, en la cual la señal puede ser reflejada varias veces a lo largo de la red eléctrica, sufriendo degradación. Para poder entender mejor este tipo de transmisión, para el caso específico del PLC, se presenta el modelo ECO, el cual se muestra en la Figura 2.9.

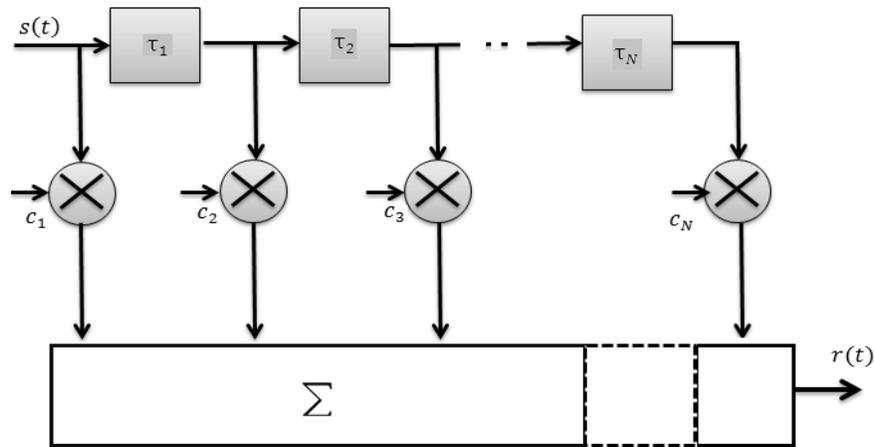


Figura 2.9 Modelo Eco [1]

En este modelo, el comportamiento básico del canal que presenta múltiples trayectorias se puede interpretar en el dominio del tiempo por una respuesta al impulso

$$h(t) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \delta(t - \tau_i) \quad ; \quad \dots (2.11)$$

en la cual los coeficientes  $\tau_i$  son los coeficientes de retardo y los factores  $c_i$  representan la atenuación de cada una de las señales que se suman al sistema. De la ecuación anterior se obtiene a la función de transferencia en el dominio de la frecuencia:

$$H(f) = \sum_{i=1}^n c_i \cdot e^{-j2\pi f \tau_i} \quad \dots (2.12)$$

---

Los coeficientes  $c_i$  dependen tanto de las características del cable como de la frecuencia de la señal. Por tal motivo no se deben trabajar como constantes. Después de numerosas investigaciones se ha determinado una expresión en la que  $c$  es una función de la frecuencia,  $f$ , y de la longitud del cable,  $\ell$  [1]. Esta función corresponde a la expresión:

$$c(f, \ell) = a_i \cdot e^{-\alpha(f)\ell_i} \quad \dots (2.13)$$

Para esta función,  $a_i$  es un factor que corresponde a los detalles de la topología de la red, representa el producto de los factores de reflexión y transmisión a lo largo de la  $i$ ésima trayectoria, y  $\alpha$  representa el coeficiente de atenuación, definido para la expresión 2.5. El coeficiente de atenuación es una función dada por:

$$\alpha(f) \approx (\eta_0 + \eta_1 \cdot f^\epsilon) \quad ; \quad \dots (2.14)$$

en donde los coeficientes  $\eta_0$ ,  $\eta_1$  y  $\epsilon$  son por lo general, constantes del cable, y  $\epsilon$  se encuentra en un rango fijo entre 0.5 y 0.7. Por ello se puede mencionar que al combinar la propagación multitrayectoria y la frecuencia, además del valor de la atenuación y la velocidad de fase  $v_p$ , la cual, es la tasa con la que se propaga la señal, la función de transferencia que resulta es:

$$H_E(f) = \sum_{i=1}^N a_i \cdot e^{-\alpha(f)\ell_i} e^{-j2\pi f \frac{\ell_i}{v_p}} \quad \dots (2.15)$$

Este modelo de canal para la tecnología PLC es el más aceptado, ya que ha sido verificado numerosas veces y los valores obtenidos teóricamente son muy semejantes a los valores reales medidos.[1] En la actualidad, la transmisión multitrayectoria no representa ningún problema debido principalmente a la utilización de un tipo de filtro llamado filtro transversal, con el cual se ecualizan las alteraciones al ajustar las ganancias de cada entrada y después sumándolas se tiene una sola señal final muy representativa, eliminando los ecos de la señal causados por las

---

diversas reflexiones. Estos filtros ya son implementados en circuitos integrados, e incorporados a los equipos PLC.

### 2.3.4 COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

Desde el punto de vista electromagnético, al inyectar la señal de datos en los cables de energía eléctrica se puede producir el fenómeno de radiación de un campo electromagnético al entorno, lo cual puede producir perturbaciones a otros dispositivos o sistemas cercanos. De igual forma, también la señal PLC puede ser alterada por otros dispositivos emisores de señales electromagnéticas. Esto se debe principalmente a que los cables pueden empezar a comportarse como antenas. Estas perturbaciones deben tener ciertos límites para que se cumpla la llamada compatibilidad electromagnética. La compatibilidad electromagnética, *electromagnetic compatibility (EMC)*, es la capacidad de un dispositivo o sistema para funcionar adecuadamente en su entorno electromagnético sin producir un nivel intolerable de perturbaciones electromagnéticas en forma de interferencia a otros sistemas, inclusive a él mismo. Para este caso la emisión electromagnética se abrevia *EME (Electromagnetic Emission)*. Por el contrario, también el sistema debe ser tolerable a otros sistemas, es decir, no debe ser susceptible a señales electromagnéticas externas, y para este caso la susceptibilidad electromagnética se abrevia como *EMS (Electromagnetic Susceptibility)*. En la Figura 2.10 se aprecia el modelo básico del problema de la EMC.



Figura 2.10 Modelo básico de problema de la EMC [3]

---

Este modelo consta de tres partes:

- Una fuente de perturbaciones electromagnéticas
- Un receptor susceptible a las perturbaciones emitidas por la fuente.
- La ruta de acoplamiento por la cual la fuente de perturbaciones electromagnéticas puede interferir con el sistema susceptible.

Al observar el modelo anterior se puede afirmar que prácticamente todos los dispositivos eléctricos y electrónicos pueden tener el mismo modelo, por lo tanto, las empresas del ramo tratan de diseñar sistemas que cumplan con las normas y estándares establecidos por los organismos reguladores de emisiones electromagnéticas.

### **Clasificación de perturbaciones**

Por lo regular, para hacer la clasificación de tipos de perturbaciones electromagnéticas se toman como elementos el nivel de frecuencia y el modo de transmisión. Con respecto al modo de transmisión, el método más común se basa en el tipo de acoplamiento de energía electromagnética entre el emisor y el receptor. Los tipos de acoplamiento son los siguientes:

- Conducido (corriente eléctrica)
- Inductivo (campo magnético)
- Capacitivo (campo eléctrico)
- Radiado (campo electromagnético)

A menudo el tipo de acoplamiento es una combinación de estas cuatro categorías, aunque siempre existe un acoplamiento que predomina. Para el caso de los acoplamientos conducidos y radiados, existe un punto de transición alrededor de 30 MHz, en donde las emisiones conducidas dominan por debajo de dicha frecuencia y las radiadas dominarán por encima de ésta. Es por ello que a las frecuencias en que trabajan los dispositivos PLC, las cuales se encuentran entre el rango de 1.3 MHz y 30 MHz, prevalece el acoplamiento conducido. Sin embargo, también existe el acoplamiento radiado, y más aún si se trabaja en el límite del punto

---

de transición. Es por ello que la tecnología PLC puede interferir sobre distintos equipos y servicios que trabajen sobre el mismo rango de frecuencias. La clasificación de las perturbaciones EM de acuerdo con el espectro que ocupan se encuentra en la figura 2.11.

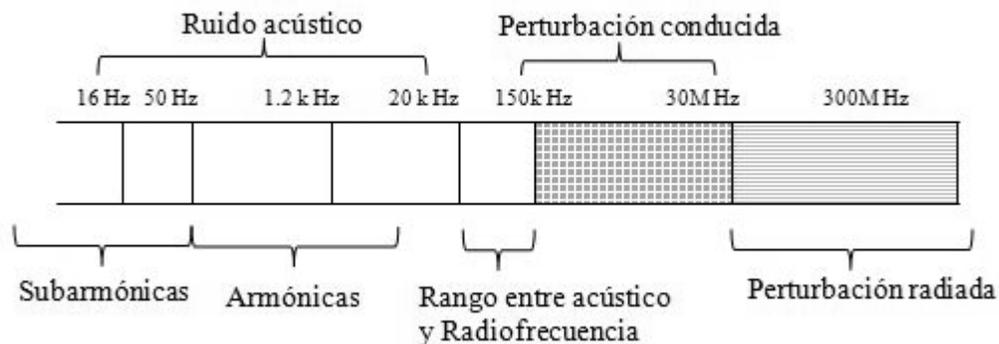


Figura 2.11 Clasificación de Perturbaciones EM de acuerdo al espectro de frecuencia. [3]

Otra forma de clasificar las perturbaciones electromagnéticas es por su duración, la cual puede ser larga o corta. Las perturbaciones de larga duración por lo regular no son incluidas en el dominio de EMC debido a que principalmente producen alteraciones en valor del voltaje RMS. Las perturbaciones con corta duración del orden de microsegundos se clasifican de la siguiente forma:

- **Impulsos**, los cuales tienen picos positivos y negativos sobre el voltaje principal. Los impulsos se caracterizan por tener muy poca duración, tener amplitudes elevadas y tener tiempos rápidos de subida y de caída. Por lo regular, los dispositivos que producen impulsos son los interruptores, relevadores de control y rectificadores.
- **Transitorios**, son aquellos que se generan en condiciones iniciales, antes de que el sistema se estabilice. La mayoría de los elementos eléctricos y electrónicos causan transitorios, sin embargo, los más representativos son los generados por las maniobras de interruptores de potencia.
- **Ruido**, es una alteración en la curva del voltaje. Tiene un comportamiento no periódico y su tasa de repetición es mucho más alta que la frecuencia principal. Por lo regular es

generada por motores eléctricos y su amplitud es inferior al valor pico del voltaje principal.

### Modelo de una fuente emisora de perturbaciones electromagnéticas.

Todos los equipos y sistemas eléctricos producen perturbaciones electromagnéticas, las cuales pueden tener su origen en la forma de voltaje y corriente de modo diferencial y de modo común. El modelo general que representa estos arreglos se muestra en la figura 2.12.

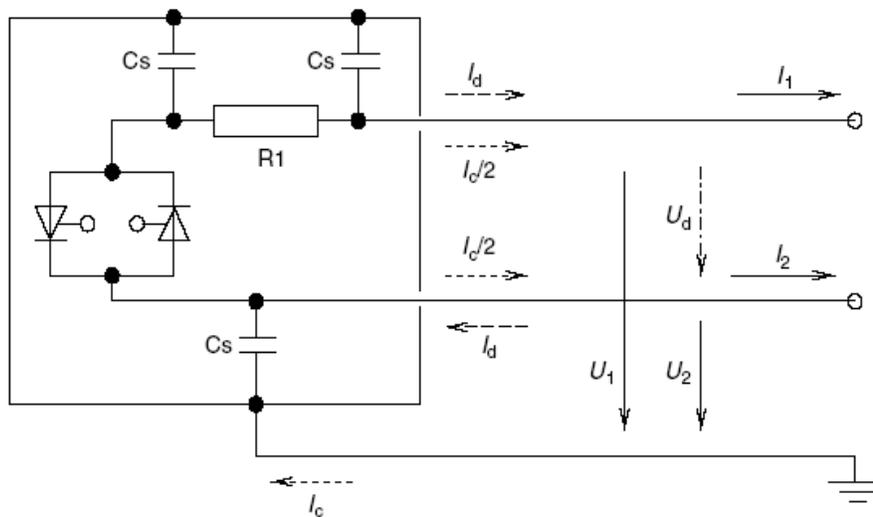


Figura 2.12 Modelo general de una fuente de perturbaciones EM [3]

Donde:

$U_d$ = Componente de voltaje en modo diferencial

$I_d$ = Componente de corriente en modo diferencial

$U_c$ = Componente de voltaje en modo común

$I_c$ = Componente de corriente en modo común

y sus expresiones son las siguientes:

$$U_d = U_1 - U_2 \quad \dots (2.16)$$

---

$$I_d = \frac{I_1 - I_2}{2} \quad \dots (2.17)$$

$$U_c = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad \dots (2.18)$$

$$I_c = I_1 + I_2 \quad \dots (2.19)$$

De acuerdo con el modelo, un dispositivo o sistema eléctrico se considera una fuente de perturbación EM cuando inyecta dos tipos de corrientes a la red. Una de esas corrientes es la de modo diferencial ( $I_d$ ) y la otra es la de modo común ( $I_c$ ). En el caso de modo diferencial, la fuente genera una corriente hacia la red, la cual trae como consecuencia la generación del primer campo EM. A su vez, una corriente del mismo modo y de igual magnitud que la primera pero de sentido contrario viene de la red hacia la fuente. Esta segunda corriente es la que genera un segundo campo EM, sólo que en dirección opuesta. Al existir esta condición de los campos da como resultado una anulación mutua de los mismos, debido a que son de la misma magnitud, de sentido contrario y con un defasamiento de  $180^\circ$ . Con ello la perturbación EM que origina la corriente en modo diferencial no puede propagarse hacia al ambiente.

En caso contrario, la corriente de modo común tiene el flujo en un solo sentido, por tal motivo el campo producido por la misma es el total del campo radiado hacia al ambiente. El rango de las radiaciones EM se encuentra entre los 0.15 a 30 MHZ.

### **Medición del campo eléctrico de PLC**

El campo eléctrico  $E$ , es el más utilizado para la evaluación y caracterización de las perturbaciones electromagnéticas radiadas. La medición de dicho campo se efectúa frecuentemente de manera indirecta, primero se capta el campo magnético y se multiplica por la impedancia del espacio libre para obtener el valor de  $E$ . Las antenas de aro son los dispositivos que más se utilizan para llevar a cabo la obtención del campo magnético. El principio básico que utilizan estos dispositivos es por inducción de la radiación. Si parte del campo magnético cruza el bucle de la antena, se produce un voltaje a través de las terminales,

el cual será función de: la frecuencia, la fuerza del campo y el área del bucle. El campo producirá un voltaje a lo largo de cada longitud elemental del bucle. La señal obtenida se procesa para obtener un valor numérico y representativo del campo eléctrico. La Figura 2.13 muestra un diagrama general de cómo se realiza dicha medición.

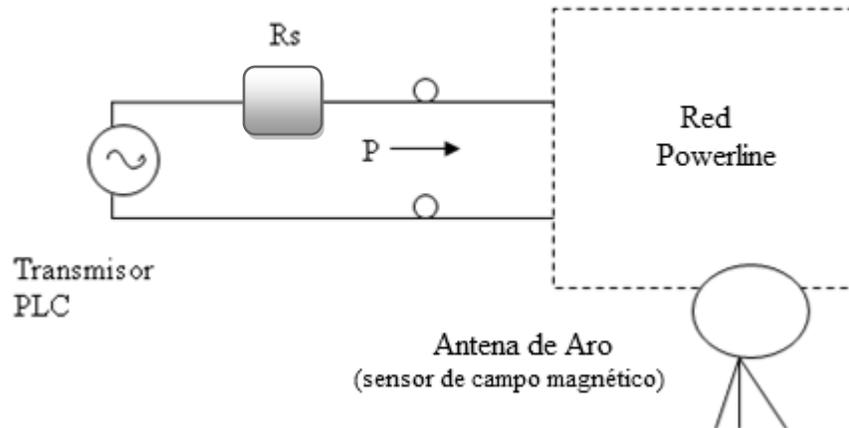


Figura 2.13 Medición de Campo Radiado [3]

De esta forma se obtiene el valor del campo eléctrico que emiten los equipos y la red de PLC. Sin embargo, existen algunas dificultades para efectuar a cabo dichas mediciones y por consecuencia, los valores que se obtienen son poco confiables. Debido a ello, algunos organismos reguladores recomiendan obtener el campo eléctrico con ayuda de un factor de acoplamiento, el cual está en función del campo magnético  $\mathbf{H}$ , y de la energía inyectada al sistema  $U_{inj}$ . La expresión que relaciona los términos anteriores está dada por:

$$k_H[dB] = 20 \log \left( \frac{H(f)}{U_{inj}(f)} \right) \quad \dots (2.20)$$

Donde:

$k_H$  : Factor de acoplamiento

$H(f)$  : Campo magnético

$U_{inj}(f)$  : Energía inyectada al sistema

---

Conociendo el factor acoplamiento de tablas o mediciones, y también la cantidad de energía que se inyecta a la red de potencia referente a la señal de datos, podemos obtener el valor del campo magnético  $\mathbf{H}$ , utilizando la expresión 2.21, en la cual se multiplica ese valor de  $\mathbf{H}$  por la impedancia en espacio libre ( $Z= 377 \Omega$ ), como en el método anterior, para obtener el valor del campo eléctrico.

$$E_{PLC} \left[ \frac{V}{m} \right] = Z \cdot H \quad \dots (2.21)$$

Donde:

$E_{PLC}$  : Campo eléctrico radiado

$Z$  : Impedancia en espacio libre

$H$  : Campo magnético

Comúnmente el valor del campo eléctrico obtenido se transforma a decibeles para poder tener mejor referencia en cuanto al nivel de perturbaciones electromagnéticas radiadas que genera el sistema PLC, y que a su vez, puedan afectar a los diversos sistema que se encuentran en su alrededor.

El factor de acoplamiento puede simplificar las mediciones y hacer que éstas sean muy confiables para diferentes áreas, sin embargo, para otras áreas, de similares características, los valores resultantes pueden ser bastante diferentes. Es por ello que no se puede utilizar el factor de acoplamiento para hacer mediciones estándar, aun siendo áreas de semejantes condiciones. Algunas razones por la cual los valores varían son: por la geometría del lugar, la configuración de la red, el ambiente, los parámetros de la red eléctrica, entre otros. Debido a este problema, algunas instituciones como la ITU proponen como método alternativo para obtener el nivel de perturbaciones electromagnéticas radiadas, la obtención directa de las componentes de la señal PLC causantes de las mismas. Como se mencionó anteriormente, todas las señales eléctricas, tanto útiles como parásitas tienen dos formas de propagarse cuando son conducidas por un enlace bifilar: el modo diferencial y el modo común. La

---

recomendación que se hace consiste en obtener la componente de la señal en modo común y a partir de esto deducir la fuerza del campo radiado.

### 2.3.5 RUIDO

Diferentes factores contribuyen a la generación de ruido en las líneas de energía eléctrica. En primer lugar se mencionan las causas de origen ambiental o atmosférico, como por ejemplo la radiación solar y las tormentas eléctricas. Por otro lado, otras causas de origen de ruido, son las aplicaciones o dispositivos con diferentes características que se encuentran conectados directamente a la red eléctrica. Estos dispositivos al ser encendidos provocan flujos grandes de corriente, con lo cual se genera ruido. Otra causa de ruido se debe a la propiedad de las líneas de comportarse como una gran antena, por lo cual son susceptibles a recibir señales de todo tipo, pero principalmente señales de radio frecuencia, por ejemplo de estaciones de radio o de TV, las cuales actúan como ruido con respecto a las señales que originalmente se transmiten por la línea. En general, estas son las principales causas de ruido. Sin embargo, independientemente del origen, se ha podido definir al ruido en el contexto de PLC como una superposición de 5 tipos ruido, los cuales son los siguientes:

- 1) **Ruido coloreado de fondo**, el cual tiene una densidad espectral de potencia relativamente baja en banda base y decrece con respecto a la frecuencia. Por lo regular este tipo de ruido se debe a la superposición de diferentes tipos de ruido de baja intensidad. Con respecto al tiempo, tiene duración de minutos y hasta de horas.
- 2) **Ruido de banda angosta**, este tipo de ruido frecuentemente mantiene un comportamiento sinusoidal y con amplitud modulada. Además abarca diferentes subbandas en el espectro de frecuencia. Este ruido es producido principalmente por las estaciones de radio y por las señales de onda corta. Su amplitud varía a lo largo del día, y llega a tener los niveles más altos durante la noche, cuando las propiedades de reflexión de la atmósfera llegan a ser muy elevadas.

- 3) **Ruido impulsivo periódico asíncrono**, es asíncrono con la frecuencia fundamental de la red eléctrica. Tiene forma de impulsos con una tasa de repetición entre los 50 y 200 KHz, lo cual resulta en un espectro con líneas discretas espaciadas de acuerdo con la tasa de repetición. La causa principal de este ruido es la apertura y cierre de los elementos de potencia. Debido a su alta tasa de repetición, este ruido ocupa frecuencias que son muy cercanas la una con la otra.
  
- 4) **Ruido impulsivo periódico síncrono**, son impulsos con una tasa de repetición de 60 ó 120 Hz y tienen sincronía con la frecuencia principal de la línea de potencia. Estos impulsos tienen corta duración en el orden de microsegundos, y tienen una densidad espectral de potencia que decrece con la frecuencia.
  
- 5) **Ruido impulsivo asíncrono**, estos impulsos tienen duración de pocos microsegundos y su tasa de repetición es arbitraria. Su densidad espectral de potencia llega a ser considerable, al punto de ser el principal ruido causante de los errores ocurridos en la transmisión de datos con la tecnología PLC.

En esta clasificación, los tipos 4 y 5 son los que producen las principales alteraciones a la señal de datos que viajan por el canal del PLC, debido a su elevada amplitud en un intervalo de tiempo muy corto. En la Figura 2.14 se muestra el modelo general de la superposición de los diferentes tipos de ruido al canal de comunicación de PLC.

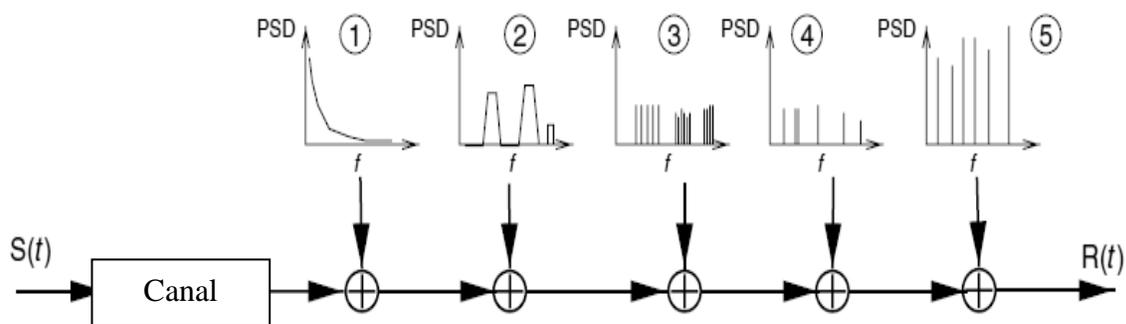


Figura 2.14 Tipos de ruido en el canal de comunicación de PLC [3]

---

### 2.3.6 TÉCNICAS PARA CODIFICAR Y MODULAR LA INFORMACIÓN EN PLC

La elección del tipo transmisión que se empleará para un sistema de comunicación va a depender de manera directa de la naturaleza y características del medio en el cual tienen que operar. Para el caso del sistema PLC, se menciono anteriormente, que la red eléctrica es un medio hostil para la transmisión de datos a tasa alta y frecuencias elevadas, debido a que las líneas de transmisión presentan características como: gran cantidad de ruido, carga aleatoria, distancias grandes. Por lo tanto, es importante seleccionar un tipo de modulación robusta y efectiva, la cual sea capaz de permitir una transmisión de datos eficiente. Sin embargo, no está determinado el método óptimo, ni mucho menos una estandarización para seleccionar la modulación de datos que pueda proporcionar una tasa elevada de transmisión de información sobre el ancho de banda limitado del canal PLC.

### 2.3.7 MÉTODO DE TRANSMISIÓN DE DATOS

En primer lugar se mencionan los principales métodos de transmisión de datos que se pueden utilizar para la tecnología PLC, los cuales son:

- 1.-*DSSS, Direct Secuence Spread Spectrum (Espectro Disperso de Secuencia Directa)*
- 2.-*OFDM, Ortogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexaje por Division de Frecuencias Ortogonales)*

Estas dos técnicas de transmisión superan a las tecnologías de portadora simple, las cuales presentan su mayor desventaja en los múltiples errores que se producen en la información debido a la interferencia que presenta el canal.

La transmisión *DSSS* se basa en la redundancia de la información enviada a través del canal de transmisión, y con esto, en caso de que uno o más bits sean erróneos durante la transmisión, la información podría ser recuperada mediante algún algoritmo de redundancia. Este método se utiliza ampliamente en aplicaciones inalámbricas, como sistemas de posicionamiento

satelital y bluetooth, entre otros, ya que ofrece una modulación adecuada para los esquemas de acceso múltiple, y no es necesario pedir una retransmisión de datos. Sin embargo, pese a sus grandes ventajas, este tipo de transmisión resulta en ocasiones inconveniente cuando se aplica a la red de PLC, ya que necesita un mayor ancho de banda para transmitir la redundancia de datos, y en esta tecnología el ancho de banda del canal es más limitado.

Por su parte, *OFDM* ha sido ampliamente utilizada en la tecnología *DSL (Digital Subscriber Line)*, la cual es una tecnología que al igual que la de PLC utiliza un canal de transmisión que de origen no fue diseñado para la transmisión de datos de banda ancha. *OFDM* es una técnica de transmisión multiportadora, la cual, en vez de enviar múltiples símbolos uno de tras de otro, éstos son enviados simultáneamente en portadoras con diferentes frecuencias.

*OFDM* parte de lo siguiente, cuando dos señales son ortogonales entre sí, su producto interno es cero, es decir, no existe proyección de una sobre la otra, o bien, no se puede obtener una señal a partir de la otra, por lo tanto son independientes. Si se tiene una función pulso de duración  $\tau_0$  y amplitud  $k$ , se sabe que en el dominio de la frecuencia se representa como una señal sinc, y se muestra con la expresión 2.23.

$$k \tau_0 \text{sinc}(f\tau_0) \quad \dots (2.22)$$

Donde:

$$\text{sinc}(\pi x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \quad \dots(2.23)$$

y su gráfica se muestra en la Figura 2.15

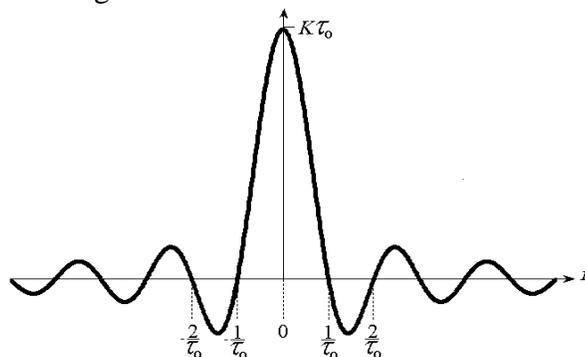


Figura 2.15 Señal pulso en el dominio de la frecuencia. [13]

Si a un pulso rectangular se le multiplica por una señal senoidal, representada en la expresión 2.24 en el dominio del tiempo se obtiene una señal senoidal acotada como se muestra en la Figura 2.16.

$$\sin(2\pi f_0 t) \quad \dots (2.24)$$

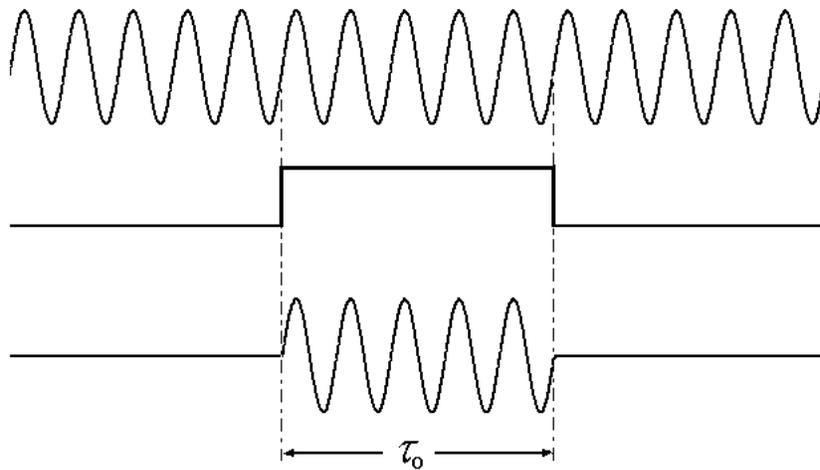


Figura 2.16 Multiplicación de un pulso rectangular por una señal senoidal en el dominio del tiempo. [13]

En el dominio de la frecuencia la función sinc es desplazada a la frecuencia  $f_0$ , como se muestra en la Figura 2.17. La separación  $\Delta f$  entre la portadora y el primer cruce por cero del sinc es:

$$\Delta f = \frac{1}{\tau_0} \quad \dots (2.25)$$

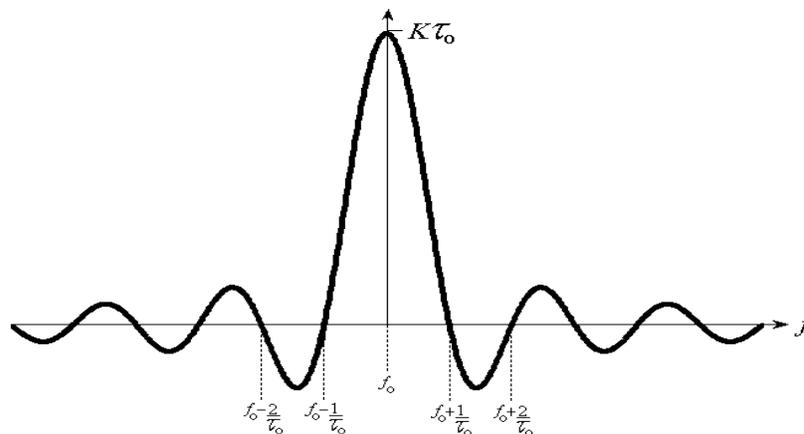


Figura 2.17 Función sinc desplazada. [13]

En la modulación *OFDM* se utilizan  $N$  subportadoras senoidales, las cuales son ortogonales entre sí. Al tener una señal de la forma:

$$y = \sin(2\pi f_0 t) \quad \dots (2.26)$$

las señales ortogonales para ésta última están dadas por:

$$y = \sin(2\pi f_i t) \quad \dots(2.27)$$

En donde:

$$f_i = f_0 + (i - 1) \frac{1}{\tau_0} \quad \dots(2.28)$$

De acuerdo con la Figura 2.18 la señal binaria a transmitir pasa a través de un convertidor serie a paralelo de tamaño  $N$ , cada uno de los  $N$  símbolos en paralelo se multiplica por una de las  $N$  subportadoras, las cuales son ortogonales entre sí, y se suman, generando la señal que se muestra en la Figura 2.19, en la cual se puede apreciar que el valor máximo de cada una de las señales coinciden con el valor cero de las demás.

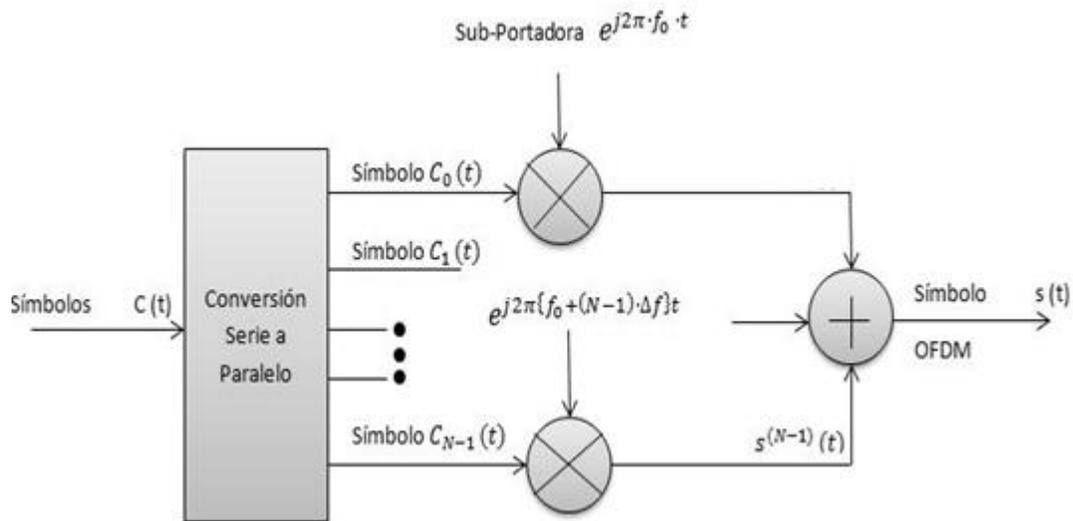


Figura 2.18 Creación de una señal multiportadora. [13]

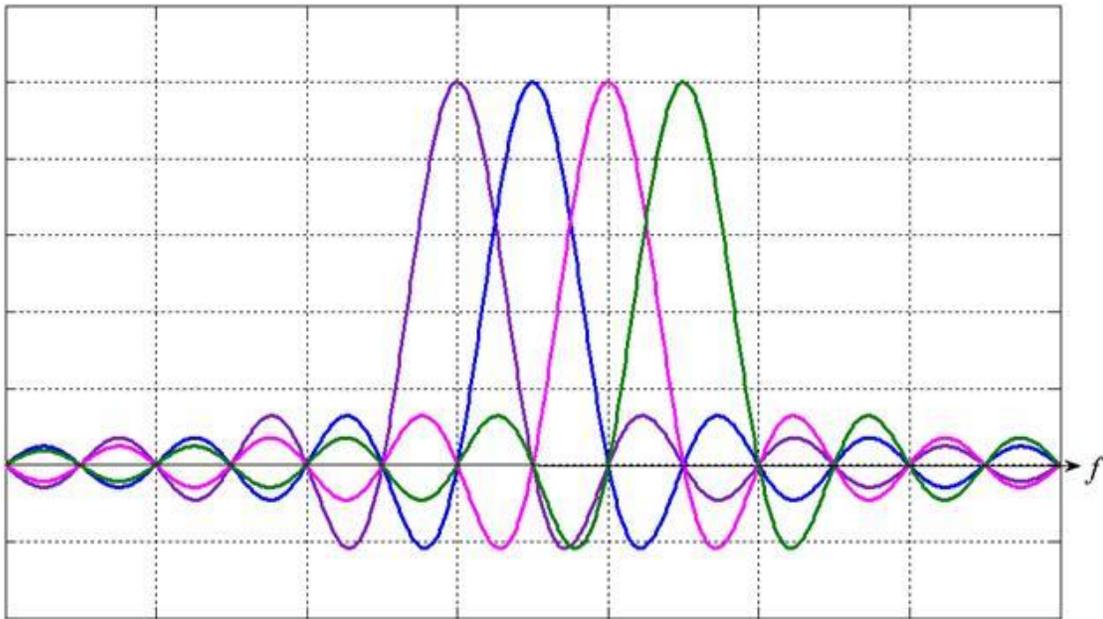


Figura 2.19 Representación de OFDM con N Subportadoras

Con este tipo de transmisión de datos, además de disminuir significativamente la tasa de errores, se tiene una eficiencia espectral porque se reduce el ancho de banda requerido para transmitir la misma cantidad de información, lo cual se logra por el traslape controlado de las señales.

### 2.3.8 MODULACIÓN

La modulación representa el proceso por el cual una onda portadora, operando a una frecuencia determinada, se modifica para agregarle información. Existen tres parámetros básicos que pueden variarse en la modulación, y éstos son: amplitud, frecuencia, y fase. El método de modulación que más se utiliza con *OFDM* es la modulación *PSK* (modulación por desplazamiento de fase), la cual es una forma de modulación angular que se caracteriza por tener una modulación digital de amplitud constante, la cual es similar a la modulación en fase convencional, excepto que con *PSK* la señal de entrada es una señal digital binaria y tiene como resultado un número limitado de fases de salida.

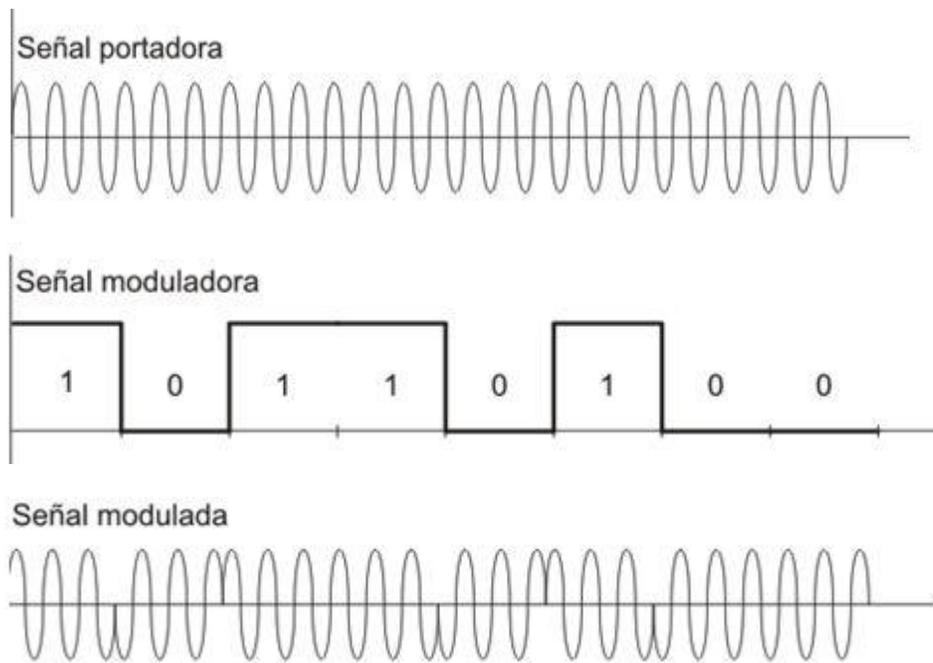


Figura 2.20 Modulación PSK.

Por ejemplo, consideraremos cuatro cambios de fase ( $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  y  $270^\circ$ ), con lo cual se puede representar valores de dos bits por cambio de fase, como se muestra en la Figura 2.21:

Fase	Bits
0	00
90	01
180	10
270	11

Figura 2.21 Codificación dibit [2]

Ésta técnica, en la cual dos bits están asignados a cada cambio de fase se llama codificación dibit. En el caso que fueran tres bits los asignados, a cada cambio de fase se llamarían tribit, y así sucesivamente. Existe una fórmula que sirve para obtener los ángulos de fase necesarios para representar todas las combinaciones de bits que uno requiera, esta es  $2^x$ , en la cual x es el número de bits requeridos. Por ejemplo si necesitamos una codificación tribit necesitaríamos 8 cambios de fase para poder representarlos,  $2^3=8$ .

---

Cabe señalar también, que además de los procesos de transporte y modulación, la señal de datos también puede ser procesada con algoritmos de cifrado, con lo cual se brinda al usuario protección y seguridad de su información. Lo anterior se recomienda debido a que la red eléctrica puede representar una gran red LAN, un tanto vulnerable, en la cual, usuarios mal intencionados pueden llegar a extraer información confidencial y privada.

## **2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA PLC**

En los puntos anteriores se presentaron los elementos constitutivos y las características generales de la tecnología PLC. Con base en lo anterior se mencionan las ventajas y desventajas que presenta dicha tecnología.

### **2.4.1 VENTAJAS**

- Acceso a las redes de datos en sitios remotos donde la única red disponible es la eléctrica.
- El PLC no necesita obra civil adicional.
- Menores costos de implementación y operación frente a tecnologías inalámbricas y satelitales.
- Proceso de instalación sencillo y rápido para el cliente final, debido a que no se requiere mano de obra muy especializada.
- Servicio triple play (voz, datos, TV) y suministro de energía eléctrica al mismo tiempo.
- Ofrece servicios de banda ancha, inclusive puede llegar a alcanzar tasas de transmisión de hasta 200 Mbps.
- Conexión permanente a Internet.
- Cada enchufe eléctrico puede ser utilizado para la conexión a Internet, telefonía, domótica, televisión interactiva y seguridad, entre otras.
- Opción alternativa para la última milla.
- Capacidad de priorizar el tráfico utilizando QoS.

- 
- Control de la tasa de transmisión y recepción (Tx-Rx).
  - Flexibilidad para el uso de frecuencias programables.
  - Alta eficiencia.
  - Mayor competencia en el mercado, por consiguiente una posible reducción de precios y mejor calidad de los servicios.

#### **2.4.2 DESVENTAJAS**

- Carencia de normas, estándares y regulación.
- Interferencia con otros sistemas de comunicaciones.
- Canal de comunicación hostil y con atenuación variable.
- Producción no masiva de equipos PLC.
- Incompatibilidad de equipos que no pertenecen a una estandarización y homologación.

### 2.4.3 CUADRO COMPARATIVO DE TECNOLOGÍAS DE ACCESO

Existen diferentes tecnologías de acceso, cada una con características particulares, las cuales se muestra en la Figura 2.22:

Tecnologías	Simplicidad de Implementación	Rango de Espectro	Simétrico/Asimétrico	Capacidad	Rango Máximo de Distancia	Ventajas	Desventajas
<b>HFC</b>	Fácil si el cable de red de TV ya existe, caro si es necesario implementar la red.	5-1000MHz 6-8 MHz	Asimétrico	1 Mbps a 100 Mbps.	Mayor a 100 Km usando amplificadores.	Se utiliza la red de cable de TV existente.	Ancho de banda limitado y asimétrico.
<b>ADSL</b>	Fácil donde se puede utilizarse un nodo de servicio telefónico existente.	Arriba de 1.1 MHz.	Asimétrico	1.5 Mbps a 12 Mbps.	Mayor a 5.4 Km.	Utiliza nodos de servicio telefónico existente.	Atenuación por distancia y asimétrico.
<b>PLC</b>	Fácil. No necesita un nuevo cableado.	1-30 MHz.	Simétrico	200 Mbps en medio compartido y de 2 a 4 Mbps por usuario.	Mayor a 3 Km en media tensión y arriba de 200 m en baja tensión.	Utiliza la red de energía existente.	No existen normas disponibles.
<b>Satelital</b>	Fácil pero caro.	Ku-, Ka-, C-,L y banda S, 1.5 a 3.5, 3.7 a 6.4, 11.7 a 12.7, 17.3 a 17.8 y de 20 a 30 GHz.	Asimétrico	Mayor a 155 Mbps.	1000 a 36000 Km.	Cobertura capaz de soportarMulticast.	Caro para implementar y construir infraestructura por usuario.
<b>Wimax</b>	Fácil. No necesita de línea de vista	2 a 11 GHz.	Simétrico	Mayor a 70 Mbps.	Mayor a 50 Km.	No requiere de línea de vista directa.	Limitación de potencia de 1 a 2 Km .
<b>Fibra Óptica</b>	Difícil.	Infrarojo THz región del espectro RF.	Simétrico	Mayor a 2.5 Gbps.	4 Km.	Baja atenuación y alta capacidad de transmisión.	Requieren trato delicado por curvaturas.

Figura 2.22 Cuadro comparativo de tecnologías de acceso. [7,21]

---

## 2.5 ESTADO DEL ARTE

La tecnología PLC ha tenido un avance significativo durante los últimos años. Este avance va ligado estrechamente con el desarrollo de mejores y más rápidos procesadores de señales digitales y circuitos integrados, los cuales han permitido que la tasa de transmisión de datos se extienda a varios Mbps, y que obstáculos como la atenuación y el ruido, que impedían que la red eléctrica fuera un medio efectivo para la transmisión de datos, tengan el menor impacto posible. Actualmente, empresas importantes en el rubro de las telecomunicaciones y de la energía eléctrica siguen haciendo fuertes inversiones para poder hacer emerger al PLC e impulsarlo como una sólida tecnología de acceso, y así tener en el mercado productos y aplicaciones que ya utilicen dicha tecnología. Los fabricantes líderes en Europa (*la española DS2, Schneider, Ascom, DIMAT*), de Asia (*Mitsubishi, Sumitomo, Toyocom*) y de Norteamérica (*EBA, Intellon, Ambient*) han desarrollado dispositivos sólidos y asegurado la disponibilidad y el desarrollo de futuros equipos, incrementando el ancho de banda y las funcionalidades con cada generación. Las últimas funcionalidades incluyen: soporte total a VoIP, soporte a VLAN, multidifusión, mejores características de QoS y SNMP, etc.

El equipamiento más novedoso utilizado en la implementación de la tecnología PLC dentro de la red de acceso es:

### **Unidad Concentradora**

Este equipo está situado en los centros de las compañías eléctricas y se conecta con los repetidores. Dichos equipos soportan redes IP, cuya capacidad de construir y soportar es arriba de 64 nodos de PLC con una tasa de 200 Mbps y 128 Mbps de codificación, incluyendo repetidores y módems. Las unidades concentradoras pueden trabajar en todo tipo de cables: cables eléctricos, cables coaxiales, cables de teléfono. Existen 2 tipos de equipos:

- Media Tensión, distancia máxima 600 m.
- Baja Tensión, distancia máxima 300 m.

---

Características técnicas:

- Throughput arriba de 200 Mbps.
- Capacidad de actuar como servidor de DHCP.
- Reserva ancho de banda por usuario y aplicación.
- Gestión de forma remota.



Figura 2.23 Unidad Concentradora. [22]

## **REPETIDOR**

Su función principal es regenerar la señal PLC, pueden controlar hasta 256 módems y son capaces de soportar Video y brindar niveles de calidad de servicio. Diversos proveedores han elegido los dispositivos de interconexión de redes basados en los chips de 200 Mbps de DS2, los cuales son chips especializados en PLC, y diseñados para diferentes marcas tales como Corinex, quien fabrica repetidores de media tensión.



Figura 2.24 Repetidores. [22]

---

## MODEM

La tecnología PLC ha ido evolucionando, y con respecto a los equipos de tecnología de acceso, se ha desarrollado en España el primer módem PLC de 1Gbps. Este módem supera ampliamente la tasa en conexiones de soluciones similares, además de brindar seguridad en las comunicaciones y facilidad de uso para el usuario. Otras características del dispositivo se muestran en la tabla siguiente:

VELOCIDAD DE DATOS ETHERNET	10/100/1000Mbps
TASA DE ENLACE POWERLINE	200 Mbps en capa física
ALIMENTACIÓN	110/230V AC, 50/60 Hz
DIMENSIONES	100 x 81 x 42 mm
INSTALACIÓN	Plug&Play con configuración dinámica
COMPATIBILIDAD	Compatible con la comunicación entre TVs, DVDs, decodificadores, videoconsolas, routers y computadoras. Compatible con Homeplug AV. Capacidad de repetidor. Cumple con la regulación global de EMC. MAC Ethernet Gigabit 802.3. Encriptación de red compatible con Homeplug AV. Posibilidad de instalar hasta 8 dispositivos en red.



Figura 2.25 Módem [27]

---

Es de fácil instalación y compatible con cualquier módem ADSL, Router, PC, dispositivo de entretenimiento, consola de juegos o impresora preparada para red. Todos los dispositivos conectados de ese modo formarán parte de la misma red, como se muestra en la Figura 2.26.

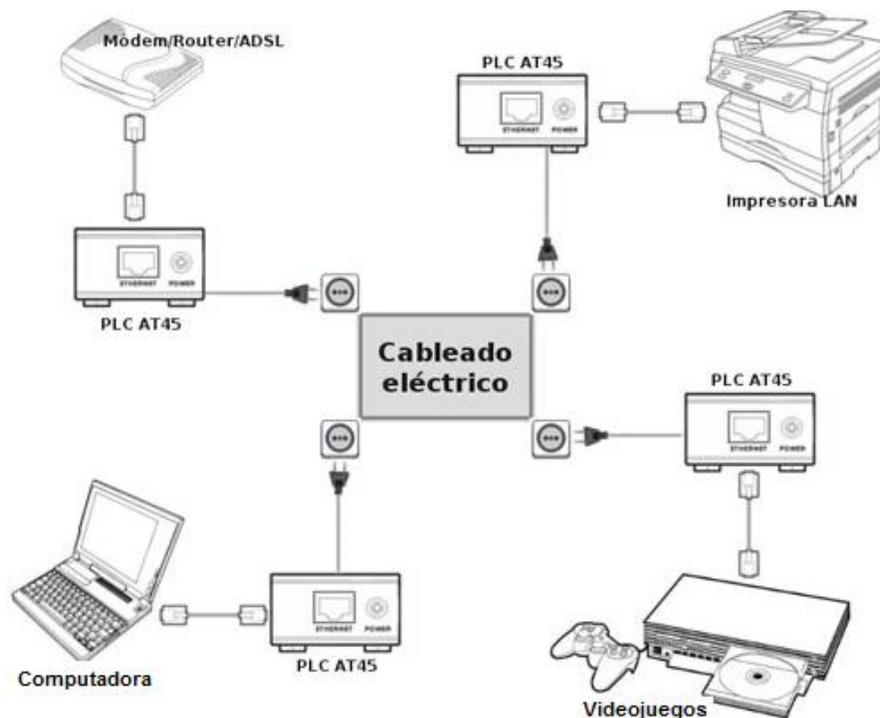


Figura 2.26 ELEMENTOS COMPATIBLES CON EL MÓDEM [27]

## APLICACIONES

Por otro lado, las aplicaciones más recientes e innovadoras que se han documentado, son las que refieren los estudios que ha realizado la Universidad de Cádiz, con respecto a la utilización del cableado eléctrico para la transmisión de datos en banda ancha en las naves marítimas. Estas investigaciones se deben principalmente a que los buques disponen de gran cantidad de cable eléctrico que puede utilizarse para la transmisión de ambos tipos de señales, la de potencia y la de datos, para un consiguiente ahorro económico en material, de mano de obra y espacio físico. Estos buques pueden ser de pasajeros, de carga o mixtos, los cuales pueden disponer de grandes tendidos de cable dedicado a las comunicaciones interiores del

---

buque, entre las que se incluyen la telefonía automática conmutada, las comunicaciones punto a punto, las redes de computadoras y las redes de televisión e Internet. Para poder tener una referencia de la cantidad de cable usado, existen navíos con más de 150 metros de eslora que pueden utilizar más de 500 metros de cable por cada línea dedicada que quiera abarcarlo de proa a popa. Esta cantidad de cable se tendrá que multiplicar por el número de camarotes con que cuenta la embarcación, que para este caso, se tiene un mínimo de 200. En la Figura 2.27 se muestra un panel de conexión del cableado eléctrico de un velero de 20 metros de eslora, en el cual, se puede observar la gran cantidad de material que utiliza esta nave marítima.



Figura 2.27 Panel de conexión del cableado eléctrico de un velero [25]

Dado este escenario, la tecnología PLC en su variante *In-door*, puede ser una alternativa eficaz para poder enviar datos y voz sobre la infraestructura eléctrica del barco, y que cada contacto de cualquier camarote sea un punto de acceso a las redes de telecomunicaciones.

---

## **CAPÍTULO III. DESARROLLO Y REGULACIÓN DE LA TECNOLOGÍA PLC**

El desarrollo que ha tenido la tecnología PLC ha propiciado que en varios países del mundo ya se estén operando y comercializando redes y servicios con transmisión de datos a través de la infraestructura eléctrica. Aunado a ello, también existen logros importantes por parte de las alianzas y organizaciones reguladoras en cuanto a la normalización y emisión de recomendaciones con respecto al uso de esta tecnología.

Este capítulo aborda, de manera general, las experiencias que han tenido algunos países en cuanto a la implementación y comercialización de los servicios de banda ancha, utilizando la tecnología PLC. Incluye los avances que en materia regulatoria se han logrado para esta tecnología; se mencionan también los organismos y asociaciones que se han involucrado en tratar de hacer normas y recomendaciones para el uso del PLC.

---

### 3.1 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL PLC EN OTROS PAÍSES

Desde 1995 empezaron a realizarse diversos proyectos pilotos en diferentes países para poder implementar y comercializar la tecnología PLC. Los resultados que se han obtenido a partir de estas pruebas han sido variados; en algunos casos se ha detenido el desarrollo del PLC debido a las afectaciones causadas por las perturbaciones electromagnéticas, mientras en otros se ha permitido el despliegue de la tecnología bajo ciertas condiciones.

En Australia [11], varias pruebas del PLC se han llevado a cabo en los últimos años, sin embargo, ninguna de ellas ha tenido el progreso necesario para que pueda existir una oferta comercial en el mercado.

En Austria [11], ha habido 4 proyectos pilotos por parte de empresas de servicios públicos en diferentes ciudades. Tres de esas pruebas fueron detenidas debido a la incertidumbre financiera de los proveedores y a las múltiples quejas de los radioaficionados relacionados con la interferencia. El único servicio comercial exitoso es operado por *LINZ AG*, el cual ofrece la tecnología PLC mediante su subsidiaria *LINZ AG STROM*, en la región de Linz. Este despliegue comprende sistemas de media y baja tensión, y se empezó ofreciendo una tasa de 768 Kbits/s para acceso a internet. En 2007 se tenían reportes de 5,500 clientes en Austria.

En el caso de Canadá [11], aún se encuentran algunos proyectos en su etapa de prueba. Sin embargo, ya cuenta con algunas ofertas comerciales disponibles, entre las que destacan los despliegues In-door de bajo voltaje en instalaciones hoteleras.

En Dinamarca [11], existen muchas iniciativas de las empresas proveedoras de los servicios de energía eléctrica para ofrecer la conexión de datos a nivel municipal. Con esto se pretende alcanzar las zonas más alejadas en las cuales no llegan los servicios de datos, y donde únicamente llega la energía eléctrica. Cabe señalar que en este país mucha infraestructura eléctrica es subterránea, por lo cual el equipo PLC está diseñado para ese tipo de instalaciones. Para fines del 2007 se reportaron 96 subscriptores de PLC.

---

Para el caso de Finlandia [11], la investigación del PLC ha sido continua, sin embargo el principal problema para su adopción que considera este país son los posibles problemas de radio interferencia que se pudieran producir. En el año 2001, la Autoridad Regulatoria de Comunicaciones de Finlandia realizó mediciones de niveles de perturbaciones en su red PLC de prueba, y concluyó que la tecnología sólo puede ser adoptada hasta que los problemas de interferencia con otros dispositivos y frecuencias, así como de seguridad de la información, tales como robo de datos, intrusiones en la red, ataques maliciosos, inyección de virus y malware, se resuelvan. Por otro lado, el pionero de PLC en Finlandia fue *Turku Energía*, el cual empezó a ofrecer sus servicios en 2003, pero en octubre del 2006 anunció que se retiraría del negocio de forma permanente. Otra compañía de PLC, *Vattidata Oy In Pori*, también se retiró del mercado. Por el momento, Kuopinion Energía es la única empresa proveedora de servicios BPL. Para el año 2005 se reportaron 800 subscriptores.

Con lo que respecta a Francia [11], la empresa *EDEV CPL Technologies*, la cual es una subsidiaria de *Electricité De France, EDF*, realizó un gran número de pruebas sin fines comerciales y ahora está estudiando un despliegue completo en algunas ciudades y zonas rurales. En las pruebas en zonas no rurales, 1,500 usuarios probaron el acceso a internet y expresaron un alto grado de satisfacción con el servicio. En el caso de las zonas rurales se realizaron pruebas de acceso a internet, en las cuales también se utilizó como complemento la red satelital. Es importante señalar que *EDF* no recibió queja alguna con respecto a las interferencias electromagnéticas. Además, en Francia como parte del desarrollo del PLC se proyecta lo siguiente:

- *EDF* planea llenar todos los requerimientos legales para que se le permita comercializar todos los servicios que se pueden ofrecer con la tecnología PLC.
- Otros proveedores comerciales de electricidad, están solicitando los derechos para ser de igual forma operadores de telecomunicaciones.
- La telefonía VoIP está siendo probada trabajando en conjunto con PLC.

---

En Alemania [11], para proteger los derechos de los usuarios de otras frecuencias de radio existentes se promulgó una ley que establecía las condiciones del uso de las líneas de energía eléctrica en el año 2001. Esta ley no es prohibitiva, sin embargo las empresas de servicios de energía eléctrica y de PLC que pretendan utilizar la red eléctrica de potencia para la transmisión de datos, deberán utilizar el espectro asignado por una regulación nacional. Las dos principales proveedoras de soluciones PLC en Alemania son *EnBW* y *MVV Energy*. *EnBW* ofrece la tecnología PLC a 350 escuelas y algunas universidades, básicamente el producto ofrecido es la red interna de datos. Por otro lado *MVV* ha operado en Mannheim desde el 2001, y en ese entonces contaba con 4,500 subscriptores. Para finales del 2007 la cifra que reportaba era de 9,500 usuarios. Una característica interesante que presenta hoy en día *MVV* con su filial *Power Plus Communications*, es la medición digital del consumo de energía en los hogares. Otra empresa es *DREWAG*, la cual con su subsidiaria *POWERKOM* ofrece desde el 2003 servicios de acceso a internet con PLC. En la actualidad es capaz de brindar conexiones superiores a 3 Mb/s, además proporcionan cuenta, alias de correo, y también almacenaje para página web. Otras empresas que tienen en su cartera de productos servicios con PLC son *Stadwerke Hameln* y *Stadwerke Hassfurt*.

Por su Parte, en Islandia [11] la compañía *Reykjavik Energy* empezó despliegues de PLC para extender y complementar su red metropolitana en el 2001; sin embargo, en 2004 la compañía optó por utilizar únicamente fibra óptica. Durante el transcurso de su operación se llegaron a registrar hasta 1,020 subscriptores.

En Irlanda [11], el gobierno ha estado directamente involucrado en el desarrollo y comercialización del PLC. Para el año 2003, y en asociación con la proveedora de servicios de electricidad *ESB* empezó a invertir en pruebas pilotos. Por otro lado, la empresa *Ascom* consiguió un contrato con el gobierno para proveer a 16 escuelas con la tecnología PLC.

En Italia [11], la empresa de comunicaciones *Ericsson* y la segunda empresa proveedora de electricidad más grande de Italia, *Acea*, crearon un sistema automático de lectura del consumo de agua y electricidad en los hogares de la ciudad de Roma, el cual utiliza el PLC

---

para el transporte de datos. Otra empresa que ha tenido relevancia en el rubro ha sido *Enel* con sus despliegues en la red de bajo voltaje; sin embargo, para el año 2004 también estaban incursionando en las soluciones para líneas de medio voltaje. Esta compañía ha conseguido un rápido despliegue en el país, además de un alto grado de satisfacción por parte de los usuarios. Cabe señalar que también está interesada en la implementación del sistema de medición de servicios de forma automática utilizando la red eléctrica que llega a la mayoría de los hogares. Enel no ha detectado problemas durante el tiempo que lleva de operación; es más, cataloga a sus sistemas y tecnología como muy estables. En cuanto al aspecto regulatorio, Enel no ha tenido problemas en cuanto a las interferencias electromagnéticas, ni tampoco ha sido objeto de quejas ante las autoridades competentes en el campo de las telecomunicaciones.

En Japón [11], las regulaciones cambiaron para el año 2006 debido a que únicamente se podía usar la tecnología PLC en el rango de frecuencia de 2 MHz a 30 MHz, y sólo en la modalidad in-door. Esto propició que el despliegue se enfocará más en hoteles y en edificios donde existiera mayor dificultad de instalar o ampliar las redes LAN.

Para el caso de Corea [11], las empresas *Xeline* y *Korea Electric Power Corporation (KEPCO)* comercializaron un chip con una capacidad de 24 Mbps en el año 2006, y al mismo tiempo estaba desarrollando un chip con una capacidad que superaba por mucho a su antecesor, ya que alcanzaba una tasa de 200 Mbps. *KEPCO* desplegó una red que incluía zonas metropolitanas, zonas rurales y costas, la cual para el año 2007 ya daba servicio a 6500 hogares. Además esta empresa tiene en mente un megaproyecto a nivel nacional que pretende la telemetría de servicios utilizando la tecnología PLC, y esto lo pretende realizar antes del 2015. Por otro lado, cabe señalar que en el desarrollo del PLC en Corea se han involucrado tanto el Instituto de Investigaciones de Electrotecnología de Corea, como el instituto de automatización de la Universidad Nacional de Seul. Además *Powercom* y *LG electronics*, entre otras compañías privadas, están involucradas en la investigación. Las posibilidades de acceso de banda ancha a través de la red eléctrica ganaron atención en el 2004, cuando el gobierno trató de regularizar la prestación de dichos servicios.

---

En los Países Bajos [11], se realizó una prueba piloto acerca de la factibilidad técnica y comercial de la tecnología PLC que se puso en marcha en el año 2002 en la ciudad de Antwerp, y fue implementada por la compañía Nuon, terminando más tarde en el año 2003.

En Nueva Zelanda[11], se puso a prueba en la ciudad de Auckland por las empresas *United Networks* y *Vector*, sin embargo terminó más tarde ya que no se consiguió una perspectiva comercial satisfactoria.

En Noruega[11], la primera prueba fue realizada a finales del 2001 por *Lyse Tele*, una división de la compañía de electricidad noruega. Con tan solo 6 meses de pruebas satisfactorias, Lyse Tele logró comercializar el servicio con equipo Ascom, proveedor Suizo, en Stavanger. En el 2003 se reportaron cerca de 300 usuarios utilizando dicha tecnología.

En España [11], se realizaron pruebas utilizando las líneas eléctricas de media tensión para transmitir voz y datos entre subestaciones, dichas pruebas fueron realizadas por la compañía de electricidad Endessa, en Sevilla y Barcelona en el 2000; más tarde se realizaron en Zaragoza en el 2001. Sin embargo, en Octubre del 2003 la compañía Endessa en asociación con la empresa Auna en Zaragoza, optó por la comercialización del Chip *DS2* para la red comercial de PLC. Más tarde en el 2006, la compañía *Endessa* suspendió el servicio debido a las dificultades técnicas, que al igual que Iberdrola, compañía eléctrica más grande en España, suspendió el servicio de PLC a finales del 2006.

En Suecia [11], las pruebas realizadas para PLC fueron realizadas por *Swedish Energy Industries Body*, Elforsk, en Danderyd, Estocolmo en 2001. Para el año 2004 se reportaron 100 suscriptores utilizando red PLC.

Para el caso de Suiza [11], la red PLC fue instalada en la ciudad de Fribourg en el 2002. La Oficina Federal de Comunicaciones en Suiza (*OFCOM*, por sus siglas en inglés), demostró que la interferencia por debajo de los 10 MHz era de bajo impacto en las áreas urbanas.

---

En el Reino Unido [11], los primeros indicios del uso de esta tecnología fueron en el año de 1995, en donde el servicio de telefonía era entregado por la red PLC. Este proyecto se llevó a cabo en la ciudad de Manchester y el sistema utilizado fue de la empresa Nortel. Más adelante la compañía reportó que esta tecnología interfería con las señales de radio de emergencia y además, era afectada por las luces del alumbrado público. En marzo del 2003, *Scottish y Southern Energy* empezaron a realizar pruebas piloto de PLC en la ciudad de Winchester. Actualmente, el desarrollo de la tecnología de PLC en el Reino Unido es dirigido por *Scottish Hydro Electric*, la cual en un inicio realizó pruebas pilotos en Crieff y Stonehaven. Otra prueba realizada por el laboratorio de investigación de la BBC, reportó que el alto nivel de interferencia dentro de los edificios era causado por el cableado interno, el cual actuaba como una antena.

En los Estados Unidos [11], varios desarrollos importantes del PLC se están planeando o ya están en progreso, de los cuales algunos son para el uso interno de las empresas proveedoras de energía, mientras otros proveen servicios de datos a nivel residencial. A continuación se enlistan por estado, tanto pruebas pilotos como despliegues comerciales dentro de los Estados Unidos:

En New York las pruebas empezaron a finales del 2003 usando la tecnología de *Data Ventures Inc*, sin embargo, esta prueba piloto fue desechada a mediados del 2004, después de que la compañía decidió que no era factible comercialmente. Por otro lado, en enero del 2007, *National Grid y New Visions Powerline Communications, Inc.* anunciaron un acuerdo para el desarrollo del PLC, entre suburbios cerca de Syracuse con una posible expansión de su zona de servicio. *New Visions* ya había desplegado servicios con la tecnología PLC en la ciudad de Solvay antes del año 2007.

En el año 2007, *IOU First Energy* del estado de Ohio, planeó llevar a cabo pruebas piloto de PLC usando equipos Ambient, de las cuales si se obtenían resultados positivos, esta empresa apostaría fuertemente por un despliegue comercial. Previo a ello, en Marzo del 2004, el mayor despliegue de PLC fue alcanzado en Ohio, Kentucky e Indiana, por la alianza que resulto entre

*Current Communication Group* y la proveedora de servicios *Cinergy Broadband*. En el año 2006 estas empresas empezaron a ofrecer servicios de VoIP, teniendo como base la red PLC. En los estados de Alabama, Indiana y Virginia, la empresa *IBEC*, empezó a realizar pruebas en conjunto con Central Virginia Electric Cooperative, South Central Indiana Rural Electric y Cullman Electrical Cooperative. Para finales del 2005 las pruebas en Virginia e Indiana ya habían sido completadas, y la empresa *IBEC* inmediatamente después comenzó a comercializar los servicios en estos Estados. Cabe mencionar que la empresa Manassas, en Virginia, fue la primera empresa en comercializar el servicio de Internet, utilizando la tecnología PLC, por tal motivo también fue la primera en enfrentar los problemas ocasionados por la interferencia electromagnética de dicha tecnología.

En la Figura 3.1 se muestra por regiones, a nivel mundial, los países y las empresas involucrados en el desarrollo y comercialización de la Tecnología PLC.

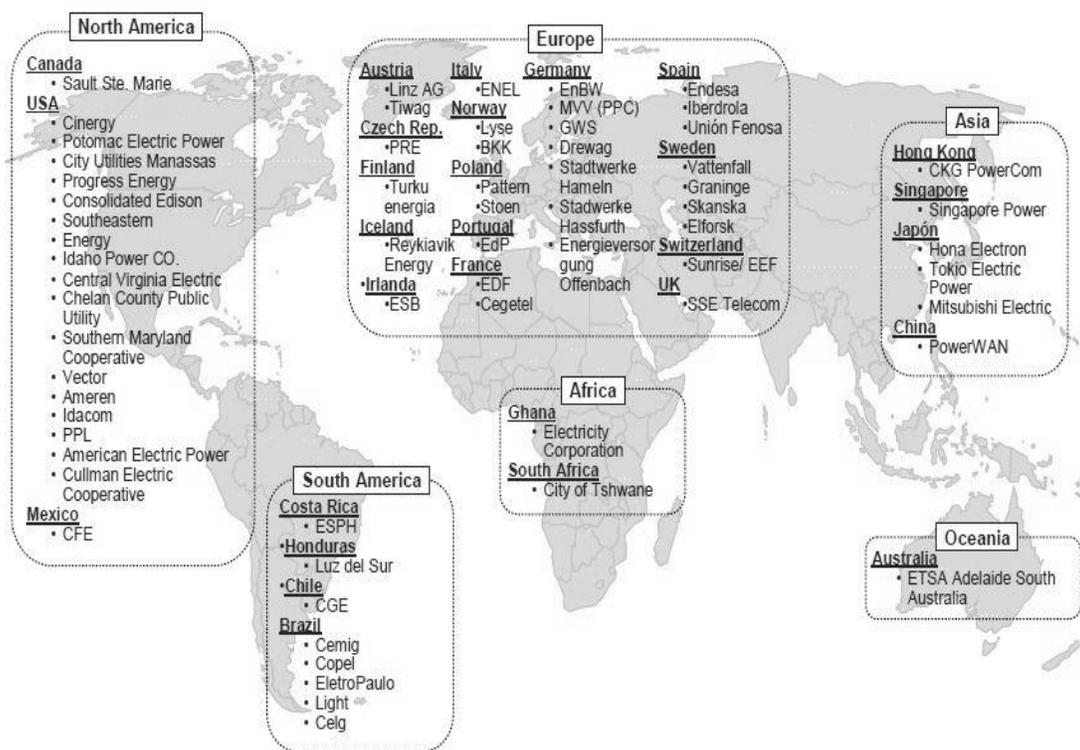


Figura 3.1 Países involucrados en el desarrollo y comercialización del PLC. Tomado de [7]

---

## **3.2 NORMATIVIDAD**

El desarrollo del PLC, al igual que otras tecnologías, siempre se verá influenciado por un adecuado proceso de regulación y de estandarización. La naturaleza de la tecnología PLC, que se entiende como la transmisión de datos sobre el cableado eléctrico, hace que tanto el sector eléctrico como el de las telecomunicaciones tengan participación en los procesos de normalización. Cabe señalar, que como tecnología de las telecomunicaciones, el PLC debe cumplir con la regulación en cuanto a Compatibilidad Electromagnética (CEM). Además se deben vigilar a las compañías y prestadoras de servicios respecto a la interoperabilidad y estandarización del sistema, interfaces, protocolos, etc.

### **3.2.1 REGULACIÓN EN ESTADOS UNIDOS Y EUROPA**

Con el fin de establecer un claro y balanceado proceso regulatorio para hacer más atractivas las inversiones en el mercado de las telecomunicaciones, los gobiernos interesados en la tecnología PLC y las organizaciones de normalización han estado tratando de establecer reglas y regulaciones para el uso adecuado de las líneas eléctricas como medio de comunicación. Existen dos vertientes importantes que sobresalen en cuestiones regulatorias, por un lado se encuentran los Estados Unidos y por el otro lado la Comunidad Europea. No significa que los otros países queden excluidos, pero generalmente se rigen o se basan conforme a lo acordado por estas dos regiones mencionadas.

En los Estados Unidos existe la Comisión Federal de Comunicaciones, FCC por sus siglas en inglés, la cual es una agencia gubernamental independiente encargada del proceso de regulación de las comunicaciones interestatales e internacionales hechas a través de radio, televisión, cable y satélite, además del PLC. Tienen como objetivo garantizar que los sistemas de comunicaciones estén trabajando sin problemas y de forma competitiva para el beneficio de todos los ciudadanos estadounidenses. Con la tendencia de estimular la competitividad, la FCC ha denominado al PLC como una tecnología de banda ancha aceptable, la cual puede ser

---

una alternativa muy competitiva para los servicios ADSL y cable. En su documento de la norma FCC 04-245, se regula en gran porcentaje a los sistemas de comunicaciones que tienen como medio de transporte un cable. Actualmente se han incluido nuevas reglas para la transmisión de datos a través de la red eléctrica, las cuales fueron fijadas con el objetivo de hacer atractiva la inversión en la tecnología PLC. Estas reglas incluyen requerimientos que implican que los equipos PLC usen técnicas para reducir la interferencia, además de que no interfieran con los rangos del espectro asignado a los radioaficionados, y mucho menos con las comunicaciones aeronáuticas y de emergencia. Por esta razón las empresas deben verificar si no hay instalaciones de radio de este tipo antes de realizar sus despliegues. Esto último se menciona en las reglas de la parte 15 del documento de la FCC. Además los operadores de PLC están obligados a presentar la información del lugar de la instalación de sus equipos y otros parámetros técnicos para que los usuarios y personas interesadas puedan estar informados, pero sobre todo para resolver algún problema de interferencia que pudiera surgir. En el caso de los dispositivos PLC, todos deben cumplir específicamente con las normas de medición de radiofrecuencia para asegurar que las mediciones puedan realizarse de una manera consistente. Los límites permitidos por la FCC para el campo eléctrico radiado en el espectro de 1 a 30 MHz se muestran en la Figura 3.2

Aparte del ambiente regulatorio federal, cada regulación estatal puede también inferir localmente en la tecnología PLC. Cada regulador de servicios de un estado tiene la facultad de decidir la forma para regular al PLC. Entre las facultades que tienen están la capacidad de eximir o cobrar impuestos por su implementación, otorgar estímulos para el despliegue de la tecnología en la región, la capacidad de permitir que el operador de servicios pueda ofrecer directamente datos por medio del PLC o tenga que crear una filial para poder comercializar los servicios, entre otros.

Cabe señalar que la FCC aprueba el uso de la tecnología PLC como una medida para alcanzar un acceso universal a los servicios de la banda ancha, y así poder mantener a los Estados Unidos a la vanguardia. Sin embargo, aunque sus reglas están muy encaminadas a propiciar un gran despliegue comercial, no deja de considerar los puntos de vista tanto de las empresas

como de los usuarios de radio amateur, por tal motivo trata de mediar los intereses de todas las partes involucradas.

Frequency bands	Limits for the $E$ field strength (peak)
0.009 MHz–1 MHz	$40 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) - 20 \log_{10} (f/\text{MHz})$
1 MHz–30 MHz	$40 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) - 8.8 \log_{10} (f/\text{MHz})$
30 MHz–1 GHz	$27 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$
1 GHz–3 GHz	$40 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$

Figura 3.2. Límites permitidos por la FCC para el campo eléctrico radiado del PLC. [3]

En el caso de la Unión Europea, se crearon nuevas oportunidades para las empresas proveedoras de servicios para explotar la red eléctrica existente con la liberalización del mercado energético a principios del 2005. En la mayoría de los casos, la incertidumbre de las reglas que rigen este mercado ha sido la principal barrera para que empresas inviertan en este rubro. Por este motivo, la Comunidad Europea pide a sus estados miembros remover obstáculos injustificados regulatorios para el despliegue de los sistemas del PLC, en particular los que afectan a las compañías proveedoras de servicios. En Agosto del 2001 la Comisión Europea elaboró un mandato de estandarización conocido como el Mandato 313. Este documento fue enviado a dos de los órganos reguladores más importantes de Europa CENELEC y la ETSI para preparar estándares armonizados que puedan ser reconocidos dentro de la Unión Europea, cubriendo el aspecto de la compatibilidad electromagnética de las redes de comunicaciones por cable, en el cual se incluye la tecnología PLC. El Mandato 313 menciona principalmente que se deben incorporar adaptaciones técnicas de mitigación de la interferencia en los equipos PLC, para que de manera remota se pueda reducir la potencia o se pueda ajustar la frecuencia de uso que pudiera estar ocasionando interferencia. Además se pide que se mejoren los requisitos de medición de las emisiones del PLC. Otra recomendación fue la de crear una base de datos de los proveedores y los despliegues que han hecho para tener la información disponible en caso de quejas de interferencia.

Los sistemas y dispositivos PLC que se comercialicen deben llevar la marca “CE”, lo cual garantiza que el dispositivo cumple con las normas aplicables de la Unión Europea.

---

### 3.2.2 ALIANZAS

El desarrollo de la tecnología PLC demanda una amplia experiencia internacional, así como el dominio de prácticas de clase mundial. Por ello se han creado alianzas para poder asegurar el entendimiento de las necesidades reales y proponer las mejores soluciones, realizando una transferencia tecnológica eficiente. Dichas alianzas se orientan hacia:

- Desarrollo estratégico
- Planeación estratégica
- Ventaja competitiva
- Estudios de factibilidad
- Estudios de mercado
- Negociación de proyectos
- Propuestas técnicas y comerciales

Entre las alianzas se encuentran:

#### ▪ **Power Line Utility Aliance**

La alianza para servicios del *PLC Power Line Utility Aliance, PUA*, se creó en Madrid en el año 2002 y fue constituida jurídicamente como Asociación en Lisboa el 14 de Diciembre del 2004. Dicha asociación representa los intereses de utilidades en la industria de la tecnología PLC a nivel Europeo. Sus miembros son más de 100 compañías eléctricas distribuidas en 23 países, entre los cuales están:

- *EDF* (Francia)
- *EDP* (Portugal)
- *EEF*, (Suiza)
- *Endesa* (España)
- *Enel* (Italia)

- 
- *Iberdrola* (España)
  - *Unión Fenosa* (España)

Los objetivos principales de dicha alianza son poder compartir experiencias en pruebas pilotos así como conocimientos técnicos, generando información actualizada que promueva el desarrollo de la tecnología. Los avances de dicha alianza se ven reflejados en el despliegue masivo de la comercialización de la tecnología PLC.

#### ▪ **HOMEPLUG**

*HomePlug Powerline Alliance* fue fundada en el año 2000, para promover y estandarizar el uso de las redes sobre líneas de energía eléctrica. Dicha alianza es la más grande y antigua asociación de comercio en red eléctrica; está integrada por 73 compañías líderes en la industria tecnológica, cuyo compromiso financiero se enfoca en el desarrollo de la tecnología, como aplicaciones en el uso de banda ancha para televisión de alta definición y las relaciones con la seguridad en el hogar, certificando a más de 170 productos de diversos proveedores.

La Misión de la Alianza es propiciar y promover la rápida disponibilidad, adopción y aplicación de dicha tecnología, de forma que sea rentable, interoperable y basada en estándares de las redes eléctricas. Los miembros de la Alianza *Home Plug* dedican sus recursos para ayudar a acelerar y ampliar el mercado para la conexión a través de las líneas eléctricas, creando un entorno global donde las comunicaciones por red eléctrica puedan tener un progreso continuo.

Para desarrollar un enfoque común que podría ampliar el mercado para los productos que utilizan la tecnología, la Alianza creó las especificaciones *HomePlug*, que hoy en día son reconocidas a nivel mundial para la creación de redes de alta tasa de transmisión. Las especificaciones *HomePlug* fueron difundidas en agosto del 2005, ofreciendo los datos en bruto de hasta 200 Mbps a través de las líneas de energía en los hogares. Fue impulsada por los miembros claves de la Alianza *HomePlug*, que incluye compañías de electrónica, de

---

consumo y proveedores de servicios; *HomePlug AV* apoya las aplicaciones de entretenimiento, tales como TV de alta definición y cine en casa, ofreciendo un método conveniente y eficaz. El objetivo de la especificación *HomePlug AV* es proporcionar la mejor solución para la distribución de alta calidad de video, con una conectividad segura y construida con calidad de servicio, para asegurar una gran experiencia del cliente a un precio que sea competitivo con otras redes en el hogar.

### **Estructura de la Alianza**

Dicha alianza se compone de 4 clases de miembros:

#### 1.-Patrocinadores

Miembros Líderes de *HomePlug*, que forman el consejo de administración. Tales como:

- Atheros
- General Electric
- NEC Electronics
- Motorola
- Cisco
- Duke Energy

#### 2.- Colaboradores

Miembros que permiten establecer la dirección de la Alianza, en calidad de asesores, que en general desean hacer contribuciones de carácter intelectual así como formar parte de los comités de grupos de trabajo. Solo por mencionar algunos miembros:

- Arkados
- Corporate Systems Engineering
- Renesas
- Yitran

#### 3.- Participantes

Son miembros que ayudan a dar forma a las especificaciones de la tecnología eléctrica y el desarrollo de la comercialización mediante la participación y contribución a grupos de trabajo, entre ellos:

- 
- American Electric Power
  - Consumers Energy
  - France Telecom
  - K-micro
  - Broadcom
  - Devolo
  - Gridnet
  - Korea Electro technology

#### 4.- Contratistas

Miembros que desean implementar la tecnología HomePlug como parte de sus productos y servicios. Dichos miembros son invaluable en ayudar a conocer las demandas del mercado de la Tecnología. Como ejemplo de contratistas están:

- Actiontec Electronics, Inc.
- Asoka USA Corporation
- Belkin International
- CastleNet Technology Inc
- EchoStar Technologies Corporation
- ETSA Utilities
- GigaFast E, Ltd.
- Guillemot Corporation
- Hitachi Ltd.
- Jetlun Corporation
- NETGEAR, Inc.
- Arris
- Aztech Technologies, Pte. Ltd.
- Billion Electric Co., Ltd.
- D-Link Systems Inc.
- Electricite de France (EDF)
- Freesat (UK) Ltd
- Grid2Home LLC
- Hangzhou H3C Technologies Co., Ltd.
- ITRI, Industrial Technology Research Institute
- Juice Technologies, LLC
- NuVo Technologies LLC

- Russound
- Telegent Systems Inc.
- TP-Link Technologies, Ltd.
- Western Digital Technologies, Inc.
- Sharp
- Teridian Semiconductor
- Valence Semiconductor Design Ltd.
- ZyXEL Communications Corporation

### ▪ EL PROYECTO OPERA

El proyecto OPERA (acrónimo de *Open PLC European Research Alliance*), comenzó en el año 2004, integrado por 35 organizaciones europeas, coordinado por Iberdrola Ingeniería y Consultoría (*Iberinco*), tiene como objetivo mejorar la actual tecnología PLC. El proyecto OPERA dividido en dos fases, de dos años cada una, fue financiado por la Comunidad Europea.

En la Figura 3.3 se muestra el estado del arte a principios del proyecto y las metas esperables al final de la primera fase:

Concepto	Actualmente	Objetivos
Tasa	45 Mbps	200 Mbps
Instalación	Complicada y alto costo	Fácil y de bajo costo
Sistema	Soluciones propietarias	Estándar Plug & Play y proveedores múltiples
Despliegue masivo	Algunas Regiones	Uso Generalizado
Cobertura usuarios finales	80% al 90%	100%
Multi-Media sobre PLC	Continúa en pruebas	Listos para vender
Estándares	No existen	Internacionales
Compatibilidad en el hogar	No garantizada	Garantizada
Compatibilidad Electromagnética	Niveles Locales	Niveles Europeos
Integración en la red eléctrica	No eficiente	Eficiente

Figura 3.3 Estado del Arte del Proyecto Opera. [21]

---

Las organizaciones que conforman el Proyecto OPERA son:

- Advanced Digital Design ADD
- Aristotle University of Thessaloniki
- Ascom System AG
- Auna Telecomunicaciones S.A.
- Dimat S.A.
- Diseño de Sistemas en Silicio DS2
- Schneider electric Powerline  
Communication AB
- Eichhoff GMBH
- Electricité De France EDF
- Elsys Design
- Endesa Ingenieria de  
Telecomunicaciones
- Endesa Net Factory
- Enel Distribuzione SPA
- Eutelis Consult Italia & Associates SRL
- Fundacion Robotiker
- Ibedrola Ingenieria y Consultoría SAU
- Ibedrola
- INESC Instituto de Novas Tecnologías
- Itran Communications
- Linz Strom GmbH
- Main.net Communications
- Mitsubishi Electric Information Technology  
Centre Europe BV
- MVV Energie AG
- ONI Telecom
- PLC Forum Association
- Power Plus Communications AG
- Swiss Federal Institute of technology
- Technische Universitat Dresden
- Telvent Energía y Medio Ambiente
- The Open University
- Unión Fenosa
- Universidad Politécnica de Madrid
- Universidad Pontificia Comillas
- Universitat Duisburg-Essen

---

Entre ellas, están algunas de las compañías eléctricas que son líderes en Europa, como:

- *Electricité De France, EDF* (Francia): es la mayor compañía eléctrica de Europa y una de las más grandes del mundo, con más de 35 millones de clientes.
- *ENEL Distribuzione* (Italia): es la segunda compañía eléctrica europea y también una de las más grandes del mundo con aproximadamente 25 millones de clientes.
- *ENDESA* (España): sexta compañía eléctrica a nivel europeo y líder en Sudamérica con unos 20 millones de clientes.
- *IBERDROLA* (España): es la séptima compañía eléctrica europea, con unos 16 millones de clientes.

La Figura 3.4 muestra la distribución del mercado eléctrico europeo entre las principales compañías eléctricas.

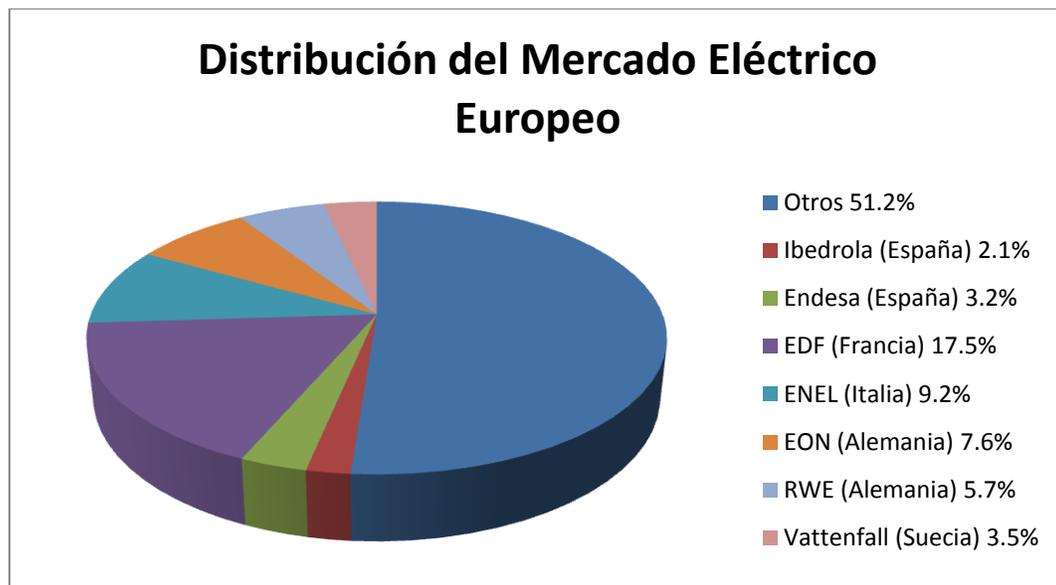


Figura 3.4 Distribución del Mercado Eléctrico Europeo. [20]

Para que el Proyecto OPERA pueda alcanzar sus objetivos, se organizaron en grupos de trabajo:

---

**Grupo 1.-** Infraestructura de la red eléctrica como medio físico de transmisión, y compatibilidad electromagnética (EMC).

**Grupo 2.-** Pruebas de campo sobre la red de telecomunicaciones resultante de la integración de la red de acceso PLC con la red troncal.

**Grupo 3.-** Sistemas y componentes PLC. Este grupo de trabajo abarca todo lo relacionado con las mejoras sobre la tecnología PLC con respecto a: la tasa de transmisión, el alcance, las funciones de auto configuración, la gestión remota, la calidad de servicio, entre otros factores. Dichas mejoras se refieren tanto al módem del cliente como a los equipos del PLC que se encuentran en la infraestructura eléctrica (repetidores y equipos maestros).

**Grupo 4.-** Servicios. Realizan el análisis técnico y económico de la implementación de servicios de telecomunicaciones sobre la red PLC (acceso a Internet, telefonía, aplicaciones para la compañía eléctrica, etc.)

**Grupo 5.-** Especificaciones y estandarización. En este grupo se documentan, para ser presentados a los Organismos de estandarización en Europa, así como a las autoridades nacionales y a la Comisión Europea. Las especificaciones que conforman son: Sistemas PLC, Equipo PLC, EMC, Interfaces con sistemas PLC de banda estrecha, entre otras.

**Grupo 6.-** Despliegue comercial. Incluye aquellas actividades necesarias para el desarrollo, la operación y el mantenimiento de la red PLC en el momento del despliegue comercial masivo. Este grupo se encarga de la implementación de pruebas piloto con usuarios finales, usando los equipos y dispositivos desarrollados en el proyecto.

**Grupo 7.-** Difunde los resultados del Proyecto.

**Grupo 8.-** Define y protege los Derechos de la Propiedad Intelectual generada en el Proyecto, investigación, resultados, etc.

---

El resultado más notable ha sido la selección de la tecnología PLC que constituirá la base del desarrollo de OPERA, así como la identificación de las mejoras que se implementarán sobre dicha tecnología. El resultado final del desarrollo constituirá el futuro Estándar “de Facto” europeo para el acceso a Internet en banda ancha sobre PLC. El proyecto OPERA, a juicio de sus integrantes y de los responsables asignados por la Comisión Europea, ha avanzado satisfactoriamente. Con estos esfuerzos la tecnología PLC va a madurar lo suficiente para permitir un mayor número de despliegues comerciales en el mundo, así como un avance notable en la seguridad y efectividad de la implementación de los equipos.

### **3.3 TENDENCIAS GENERALES**

#### **3.3.1 NEXT GENERATION NETWORKS**

La Red de la Próxima Generación, *Next Generation Networking*, o *NGN* por sus siglas en inglés, es un término que según la definición de la ITU, “es una red por paquetes que proporciona múltiples servicios de banda ancha, que utiliza tecnologías de transporte con una calidad de servicio mínima y en la cual las funciones relacionadas con el servicio son independientes de las tecnologías de transportes subyacentes”.<sup>[28]</sup> Esta red es de tipo multiservicio, capaz de soportar voz, datos y video. Además, establece que las capas de aplicación, control y transporte estén formalmente separadas, sin embargo, deben existir interfaces abiertas entre ellas. Aunado a esto, la NGN debe permitir la ubicuidad de los servicios y el acceso irrestricto por parte de los usuarios a cualquier proveedor de servicios. En la Figura 3.5 se muestra el modelo general la arquitectura NGN.

Una comparación entre la *RPTC* y *NGN*, se muestra en la Figura 3.6. En esta tendencia, la tecnología PLC se incluiría en el plano de acceso, a la par de tecnologías como ADSL, Cable, fibra óptica y WiMAX.

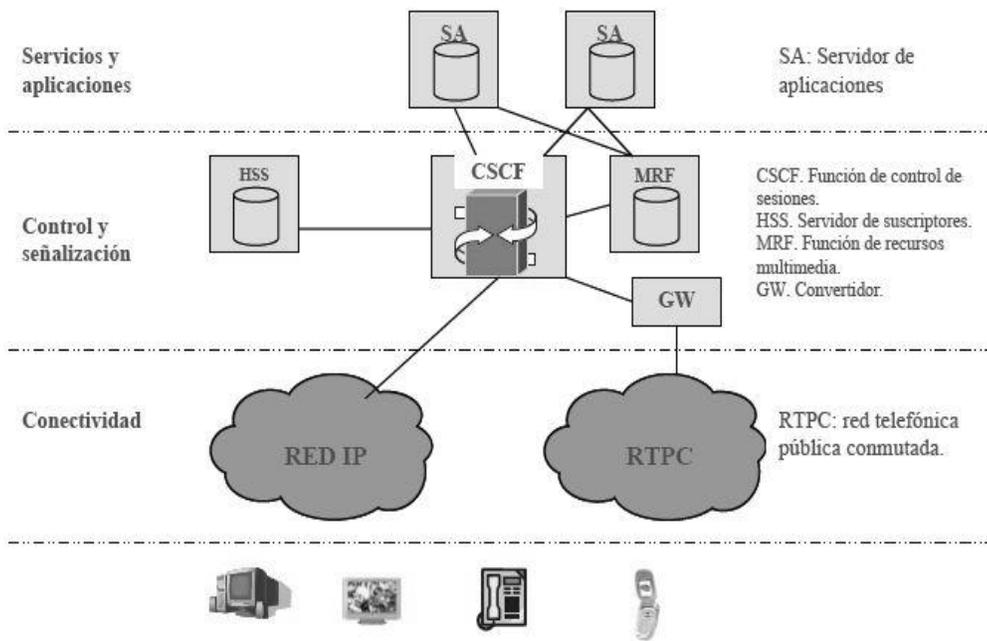


Figura 3.5 Modelo general de la arquitectura de la NGN. [9]

RTPC	NGN
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes especializadas por servicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redes multi servicio</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inteligencia en la red</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor inteligencia en los equipos terminales</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsable de red claramente definido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Club de proveedores interconectados</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La tecnología condiciona la introducción de nuevos servicios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología subordinada al servicio</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conmutación de circuitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conmutación de paquetes</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calidad garantizada uniforme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soporta calidades menores, incluso Best Effort.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enrutamiento jerárquico con reglas preestablecidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enrutamiento dinámico.</li> </ul>

Figura 3.6 Cuadro comparativo entre RTPC Y NGN. [9]

---

### 3.3.2 ESTANDARIZACIÓN

El retraso en el desarrollo de un estándar internacional ha desacelerado en cierto grado la expansión de la tecnología PLC. Sin embargo, recientemente parece haber cierto avance en el estándar que está elaborando la IEEE (Intitute Electrical and Electronic Engenieers). En junio del año 2005, la asociación de estándares de la IEEE creó un grupo de trabajo con la participación de alrededor de 20 compañías líderes alrededor del mundo para empezar a desarrollar un estándar global para la tecnología PLC, el cual llevaría por nombre IEEE P1901 MAC/PHY. La IEEE es el mismo órgano que creó el estándar 802.3 que tiene que ver con las conexiones Ethernet, además del 802.11 que involucra a las tecnologías inalámbricas. La IEEE ha dado algunos comunicados en los cuales se destaca que el estándar establece que los dispositivos deben ofrecer una tasa de transmisión mínima de 100 Mbps. Además podrá aplicarse a toda clase de dispositivos, como los que se usan en las redes LAN, redes inteligentes y de control, transporte y servicios de distribución de datos, entre otros. En sus objetivos principales, también está hacer un uso eficiente del canal PLC, definir mecanismos que permitan la coexistencia con otros dispositivos PLC, así como la interoperabilidad con otros protocolos de red, la seguridad y privacidad de los datos, y asegurar la entrega del ancho de banda deseado y la calidad del servicio. También esta institución garantiza que el estándar cumplirá con los límites de radiación establecidos por los organismos reguladores, lo que asegurará la coexistencia con los sistemas inalámbricos y de telecomunicaciones. Con lo concerniente al método de transporte de datos, en diciembre del año 2008 el grupo votó por el método *OFDM*.

Adicionalmente al estándar anterior, la IEEE está desarrollando un estándar de seguridad llamado IEEE P1675, el cual se focaliza en las reglas para la instalación del hardware que se requiera en las líneas de transmisión, así como también los requisitos mínimos de seguridad para el personal que labora con las redes PLC y para los usuarios en general.

---

### 3.3.3 TRIPLE PLAY Y EMPRESAS MULTISERVICIOS

El Triple Play es la comercialización de la voz, junto con el acceso a la banda ancha y los servicios audiovisuales de la televisión a través de un solo canal. Esto se ha logrado gracias a la digitalización de las señales, la cual permite transportar paquetes de datos por el mismo medio sin importar el tipo de información que puedan contener. Para esto, lo único que hay que considerar es la prioridad y la calidad del servicio que amerite la información.

Hace algunos años, sólo se veía como algo en el futuro el poder manejar la telefonía, el internet y la televisión de paga por un sólo medio de comunicación. Sin embargo, aunque ya es toda una realidad, en la mayoría de los países los servicios aún se siguen manejando por separado. Como todo nuevo despliegue, tomará tiempo para que pueda ser aceptado y exista un uso generalizado. Por otro lado, cabe señalar que con esta integración de los servicios, las empresas, además de comercializar su servicio original, pasarán a ser vendedoras de multi servicios. En otras palabras, sin importar si el ramo de la empresa es de telefonía, satelital, de cable o eléctrica, éstas podrán ofrecer todos los servicios que integra el Triple Play. Pese a ello, muchas compañías prefieren establecer alianzas para unir experiencias de tecnología y mercado de su producto original, y así poder entrar con mayor solidez a ofrecer el Triple Play.

Cabe recordar, que aunque este tipo de despliegues ya es factible tecnológicamente para su desarrollo e implementación en un país, las empresas proveedoras de servicios de Triple Play tendrán que solicitar las concesiones necesarias ante los órganos reguladores de dicho país para poder brindar el servicio, lo que significa en ocasiones atravesar por un proceso tardado y burocrático. Para ejemplificar esto mencionamos el caso de la empresa Telmex en México, la cual ya tiene prácticamente la infraestructura lista para poder brindar el servicio de televisión restringida por medio de su red de datos, sin embargo, el gobierno federal no le ha otorgado la concesión respectiva para poder entrar en el mercado de la televisión de paga.

---

## **CAPÍTULO IV. PERSPECTIVAS DE PLC EN MÉXICO**

### **4.1 LA EXPERIENCIA DE PLC EN JOCOTITLÁN**

En México se han realizado investigaciones y pruebas en forma más bien aisladas, para evaluar la factibilidad y el funcionamiento de la tecnología PLC. Las primeras investigaciones se realizaron en el año 1998 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (*IIE*) y el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (*CENIDET*).

La Comisión Federal de Electricidad es una empresa paraestatal que ha demostrado un amplio interés por el PLC, y se ha dado a la tarea de realizar pequeños despliegues pilotos en algunos estados de la república. En el año 2002 realizó una prueba piloto en sus instalaciones internas de Mérida Yucatán, esta prueba se implementó con tecnología y asesoramiento de la empresa suiza de telecomunicaciones *ASCOM*. El proyecto se planteó para proveer a 25 usuarios de servicios de Internet, telefonía (*VoIP*), televigilancia y video, obteniéndose resultados satisfactorios. En el año 2003 en sus instalaciones de Monterrey también realizaron

---

una prueba piloto; en esta ocasión utilizaron tecnología *DS2* con asesoría de *ENDESA*, y los resultados de igual se consideraron exitosos.

Uno de los proyectos más importantes de la tecnología PLC que la CFE ha realizado es el que se implementó en el municipio de Jocotitlán, Estado de México. En este proyecto, en el año 2004, se instaló equipo PLC en la red de media y baja tensión, para proveer de los servicios de internet a una escuela y a un cibercafé. La empresa con la que colaboró en esa ocasión, fue Grupo *IUSA*. Este municipio fue elegido por que se determinó que contaba con la infraestructura y condiciones necesarias para poder llevar a cabo el despliegue, como las que se mencionan a continuación:

- Una configuración de red adecuada
- La cercanía con la conexión de banda ancha del Grupo *IUSA*
- Condiciones climatológicas variantes
- Por tener un alto grado de concentraciones eléctricas y un intervalo de humedad que va desde el 20% al 75%
- Por la representatividad del municipio en el entorno nacional

La Figura 4.1, muestra la localización del municipio de Jocotitlán, donde se llevó a cabo la instalación del equipo PLC.

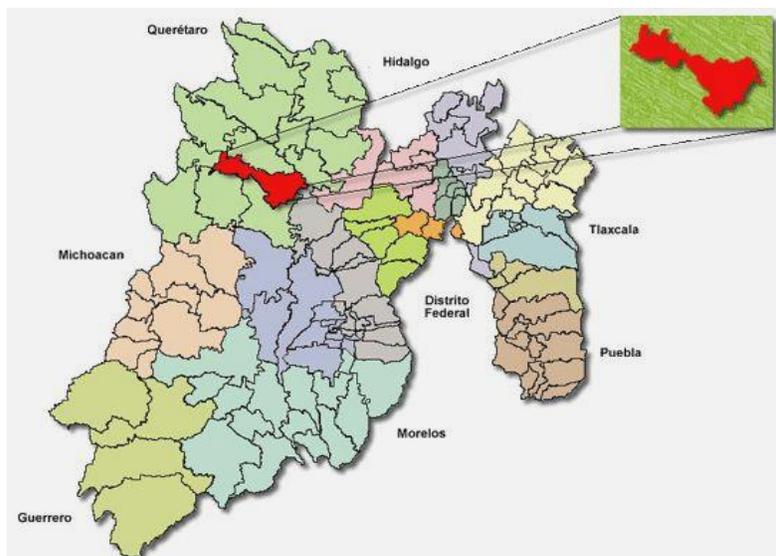


Figura 4.1 Localización del municipio de Jocotitlán, Estado de México. [26]

---

Aunado a lo anterior, también se implementó el proyecto conocido como “Mediciones de Compatibilidad Electromagnética de las líneas de potencia de corriente alterna de la Comisión Federal de Electricidad para usarse como medio de transmisión de voz, datos y video en Jocotitlán, Estado de México”. Este proyecto surgió de una petición por parte de la CFE al Instituto Politécnico Nacional, para constatar la funcionalidad y la Compatibilidad Electromagnética, tanto de los equipos PLC, como de las líneas eléctricas donde la CFE realizaría la prueba tecnológica. Aunque existen varios estudios en otros países, era necesario para la posible aplicación de la tecnología en el país, que se constataran las emisiones e inmunidad electromagnética, debido a que el ambiente electromagnético y la infraestructura son diferentes a los de los países donde se ha implementado la tecnología. Las técnicas de medición aplicadas se apegaron a las recomendaciones nacionales e internacionales referentes a las perturbaciones electromagnéticas, por ejemplo la clase B del CISPR; la parte 15 de la FCC y a la NOM 125. Cabe mencionar que una parte de los trabajos de medición se realizaron en Jocotitlán, tanto al aire libre en donde se encontraban las líneas de distribución y los equipos PLC, como en interiores, en donde se dio el acceso a internet por medio de dicha tecnología. En la Figura 4.2 se muestran 2 de los sitios de medición. Otra parte de las pruebas se llevó a cabo en el laboratorio de Compatibilidad Electromagnética de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Zacatenco del IPN. Entre las pruebas y mediciones que se realizaron destacan las siguientes:

- Caracterización del equipo PLC (Módems, acopladores, equipos cabecera)
- Medición de perturbaciones de equipo PLC y de la red eléctrica
- Medición de la impedancia de la red eléctrica y la atenuación

En las conclusiones finales de las pruebas de medición de Compatibilidad Electromagnética, el IPN le informó lo siguiente a la CFE: *“Las mediciones de compatibilidad electromagnética realizadas a las líneas de potencia de corriente alterna de la Comisión Federal de Electricidad para usarse como medio de transmisión de voz, datos y vídeo en Jocotitlán estado de México, muestran que la tecnología PLC de banda ancha es viable y cumple con los*

---

*objetivos de la propuesta Técnica que responden de las necesidades planteadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE)” [16].*

Además de la información final emitida por del IPN, se obtuvieron conclusiones generales del despliegue del PLC realizado en Jocotitlán, los cuales se dieron a conocer el 1° de Febrero del 2005, durante la visita que realizó el entonces Presidente de la República Vicente Fox Quesada, quien fue el primero en realizar un llamada en México utilizando esta tecnología. Los resultados más relevantes que se mencionaron fueron los siguientes:

- La calidad de la transmisión de voz resultó muy superior a la de una línea digital convencional.
- En la medición de perturbaciones de CEM, no se detectó ningún conflicto para la implementación de la tecnología PLC.
- La distancia máxima de transmisión en media tensión fue de 277 m, y con un promedio de 150 m.
- En baja tensión se alcanzó una distancia promedio de 100 m.
- Se lograron tasas de transmisión de 6, 10 y 12 Mbps como máximo.



Figura 4.2 Sitios de medición y pruebas en Jocotitlán [16]

---

## 4.2 LEGISLACIÓN

Debido al decreto presidencial de extinción de Luz y Fuerza del Centro, promulgado en el año 2010, la CFE es en la actualidad la única empresa encargada del suministro eléctrico del país, y por ello, es la única que podría comercializar los servicios de voz, datos y videos a través de las líneas de media y baja tensión. Por este motivo, se focaliza la atención en lo que se refiere a los cambios en las legislaciones vigentes, para redefinir las condiciones de uso y operación de la red eléctrica, además de las concesiones que le pudieran otorgar a esta paraestatal dependencias de gobierno como la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), la cual a su vez depende de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT); y la Secretaría de Energía (SENER), para permitir la comercialización de datos utilizando PLC.

Como se mencionó en el tema anterior, la CFE ha hecho una serie de pruebas piloto y ha demostrado la factibilidad de la transmisión de datos por los cables de la red eléctrica de México. Sin embargo, las autoridades de COFETEL, hasta finales del 2005 aseguraban que si bien, desde el punto de vista técnico, la paraestatal podría operar como una red de telecomunicaciones, primero se tendría que modificar su entorno regulatorio, pues la comercialización de los servicios de banda ancha desafía la naturaleza del mismo sector. Esto último lo mencionaban debido a que en la misma Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en los artículos 25, 27 y 28, hace referencia a que el sector eléctrico es de carácter público y su responsabilidad es exclusiva del Estado. Además, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) establece como los únicos objetivos de la empresa: generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer de energía eléctrica. Por lo tanto, la CFE no puede oficialmente ofrecer el acceso a los servicios de banda ancha a través de su red eléctrica mediante la tecnología PLC.

No obstante, desde el 10 de Noviembre del 2006 la CFE tiene una concesión de la COFETEL para fungir como una red pública de telecomunicaciones, la cual le permite instalar, operar y explotar su red de fibra óptica a efecto de prestar diversos servicios, entre otros, el arrendamiento de capacidad de telecomunicaciones en favor de terceros concesionarios de

---

telecomunicaciones. Esta red de fibra óptica se encuentra integrada en el tendido de guarda de las redes de transmisión eléctrica a lo largo de todo el territorio mexicano, y su función inicial para fines de telecomunicaciones era la de brindar interconexión entre las centrales y permitir los procesos de telemetría y control. Pero debido a que no toda la capacidad de la fibra fue requerida para esos fines, se decidió otorgar la concesión a CFE para rentar su infraestructura de datos. Con esta concesión la empresa se convierte en “*carrier de carriers*”, es decir, podrá rentar la fibra a cualquier empresa, inclusive de telecomunicaciones, que quisiera ampliar su red de larga distancia. Aunado a ello, pero más reciente, el 26 de Enero del 2010 se dio a conocer en el Diario Oficial de la Federación la convocatoria para la licitación de la fibra óptica de la CFE llamada también fibra oscura. Esta licitación proyecta más de 22,000 kilómetros de dos hilos de fibra óptica que se encuentran sin uso, en la cual, el grupo de inversionistas conformado por las empresas Televisa, Telefónica y Megacable fueron los ganadores, y por lo cual tendrán que pagar una cifra de 883 millones de pesos.

La concesión a la CFE para operar una red pública de telecomunicaciones se sustenta también en las siguientes leyes:

- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. En sus artículos 8, 9, fracción VIII, y 13, así como el artículo 11, de su Reglamento, la faculta para celebrar todos los actos y convenios que sean necesarios para el cumplimiento de su objeto y actividades conexas, con el fin de mejorar el aprovechamiento de sus recursos.
- Ley General de Bienes Nacionales. En los artículos 3, fracción IV, 4, 9, 15 y 116, se menciona que los bienes sujetos al régimen de dominio público, podrán ser objeto de aprovechamiento accidental o accesorio por los particulares, cuando sea compatible o complementario con la naturaleza de ellos.

Con lo anterior se hace notar que por el momento no hay ninguna ley, legislación, normatividad o información oficial con respecto al PLC. Toda la atención está fijada en las rentas, concesiones y licitaciones referentes a los tramos de la fibra óptica de la red de transmisión. En los apéndices C,D y E se mencionan las concesiones de CFE y TELMEX.

---

### 4.3 POSIBLE IMPACTO SOCIAL

La ONU puntualiza la necesidad de aprovechar el potencial del conocimiento y de la tecnología, en particular, en tecnologías de la información y las telecomunicaciones (TIC). Esto último lo manifiesta en la Cumbre Mundial de la Sociedad de la Información (CMSI), la cual fue organizada por la ITU, en el año 2003, con el objetivo de:

“Eliminar la brecha digital existente en el acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones en el mundo, específicamente las Telecomunicaciones e Internet, y preparar planes de acción y políticas para reducir dicha desigualdad” [12].

El fundamento que tiene la Sociedad de la Información es:

“Que todos, en todas partes, tengan la oportunidad de participar y nadie quede excluido de los beneficios que la sociedad de la Información ofrece, para que las personas, comunidades y pueblos puedan emplear plenamente sus posibilidades en la promoción de su desarrollo sostenible y la mejora de su calidad de vida” [12].

Además se señala que:

“En la zonas desfavorecidas, el establecimiento de puntos de acceso público a las TIC en lugares como oficinas de correos, escuelas, bibliotecas, puede ser el medio eficaz de garantizar el acceso universal a la infraestructura y los servicios de la Sociedad de la Información” [12].

De lo anterior se pueden observar algunos retos que se tienen en la era digital de la información, en la cual, un indicador muy importante del desarrollo de las telecomunicaciones en un país, está estrechamente ligado a la cobertura y despliegue que se tenga de la telefonía y del internet. En el caso de México, la empresa Teléfonos de México ha jugado un papel fundamental en el sector de las telecomunicaciones. Esta compañía telefónica realizó, entre los años ochenta y noventa cambios significativos en la infraestructura de telecomunicaciones del país. Además, desde su privatización las tarifas disminuyeron 10.8% entre el año 2000 y 2004; de 1990 al 2004 la cobertura del servicio telefónico aumentó 45%; y en el año 2001 fue considerada como la mejor empresa de telecomunicaciones por la revista Forbes. Con respecto

---

a la introducción de Internet, Telmex se constituyó como la columna vertebral de la comercialización de estos servicios. Actualmente ya existen otras compañías proveedoras de telefonía y de servicios de telecomunicaciones, sin embargo, aún no logran rebasar la infraestructura de TELMEX, inclusive para ofrecer sus servicios, las otras compañías, llegan a rentarle enlaces privados.

Pese a la cobertura de la red de TELMEX y de otras compañías de telecomunicaciones, la brecha digital en México es amplia. Esta última se define, a groso modo, como la desigualdad de posibilidades para acceder a la información, al conocimiento y a la educación mediante las TIC. Para esto no sólo se consideran los aspectos tecnológicos, sino también intervienen las variables socioeconómicas y la falta de infraestructura de telecomunicaciones e informática. Para tener un marco de referencia de la brecha digital que existe en México, se mostrará a continuación información relevante y algunos comparativos con respecto a la teledensidad.

A pesar de que en México se ha incrementado en términos generales el uso de las líneas de telefonía fija en servicio desde el año 1990, como se muestra en la Figura 4.3, al hacer un comparativo internacional, el cual es ejemplificado en la Figura 4.4, México se encuentra en los últimos lugares de la lista de países que cuentan con indicadores de este rubro. Además, lo que hay que hacer notar es que México, al igual que Brasil o Chile de economías similares y superiores a la de la mayoría de los otros países de Latinoamérica, tiene indicadores inferiores con respecto a Uruguay e inclusive de Argentina, lo cual nos señala que no sólo el factor económico es causa de dicho rezago.

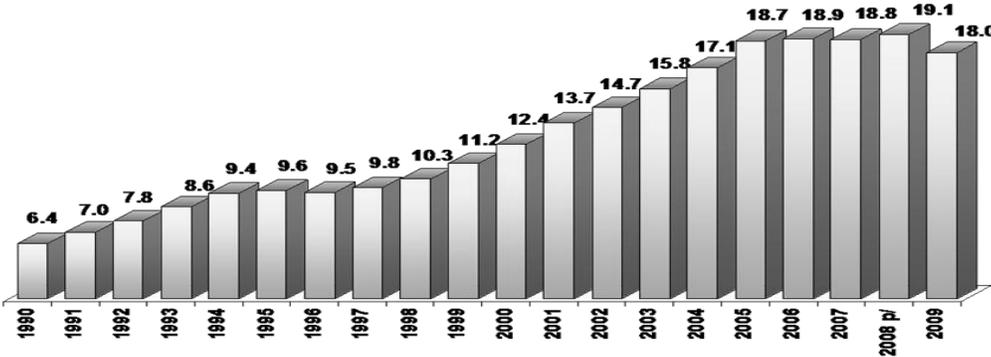


Figura 4.3 Líneas de telefonía fija por cada 100 habitantes en México [18]

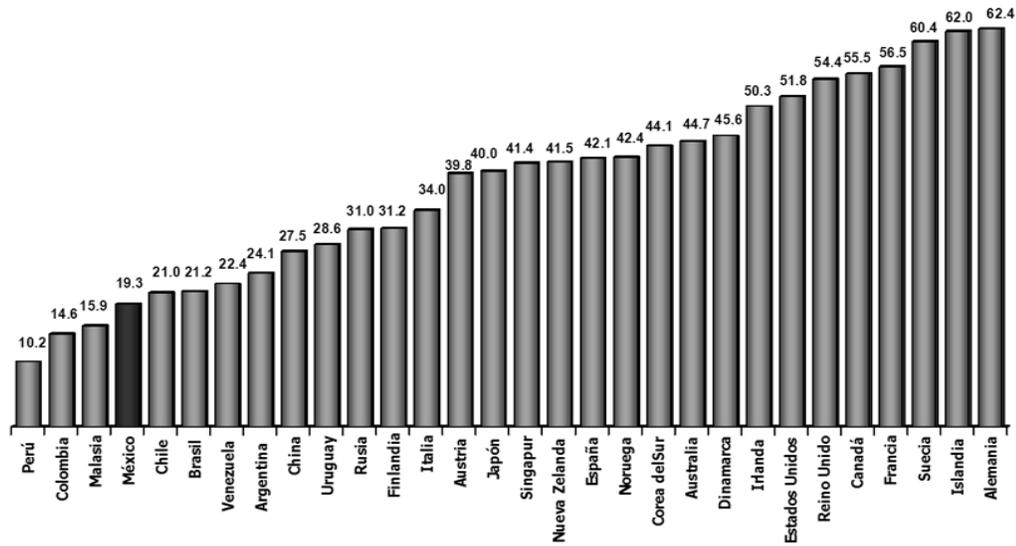


Figura 4.4 Comparativo Internacional de densidad de telefonía fija por cada 100 habitantes para el año 2008.

[18]

No obstante del rezago internacional, México tiene una disparidad a nivel nacional de teledensidad. En la Figura 4.5 se muestran la gráfica con los datos del número de líneas telefónicas por cada 100 habitantes de cada entidad federativa. Aquí como era de suponerse, Chiapas y Oaxaca son los estados con la menor cifra de este indicador. Por el contrario el DF ocupa el primer lugar a nivel nacional, superando por mucho la media nacional que es aproximadamente de 18 líneas.

Además de la telefonía fija como indicador de la brecha digital, también se pueden tomar los datos que provienen del uso de la telefonía móvil y del Internet. Para el caso de la telefonía móvil, la Figura 4.6 muestra el número de usuarios del año 1990 al 2010, y se observa que el incremento es considerable, sin embargo, al comparar el crecimiento con el de otros países, como se muestra en la Figura 4.7, de igual forma los indicadores se encuentran muy por debajo. En lo que respecta al uso del Internet en México, se observa que ha ido en aumento. En la Figura 4.8 se muestra el lugar en que se encuentra México a nivel internacional.

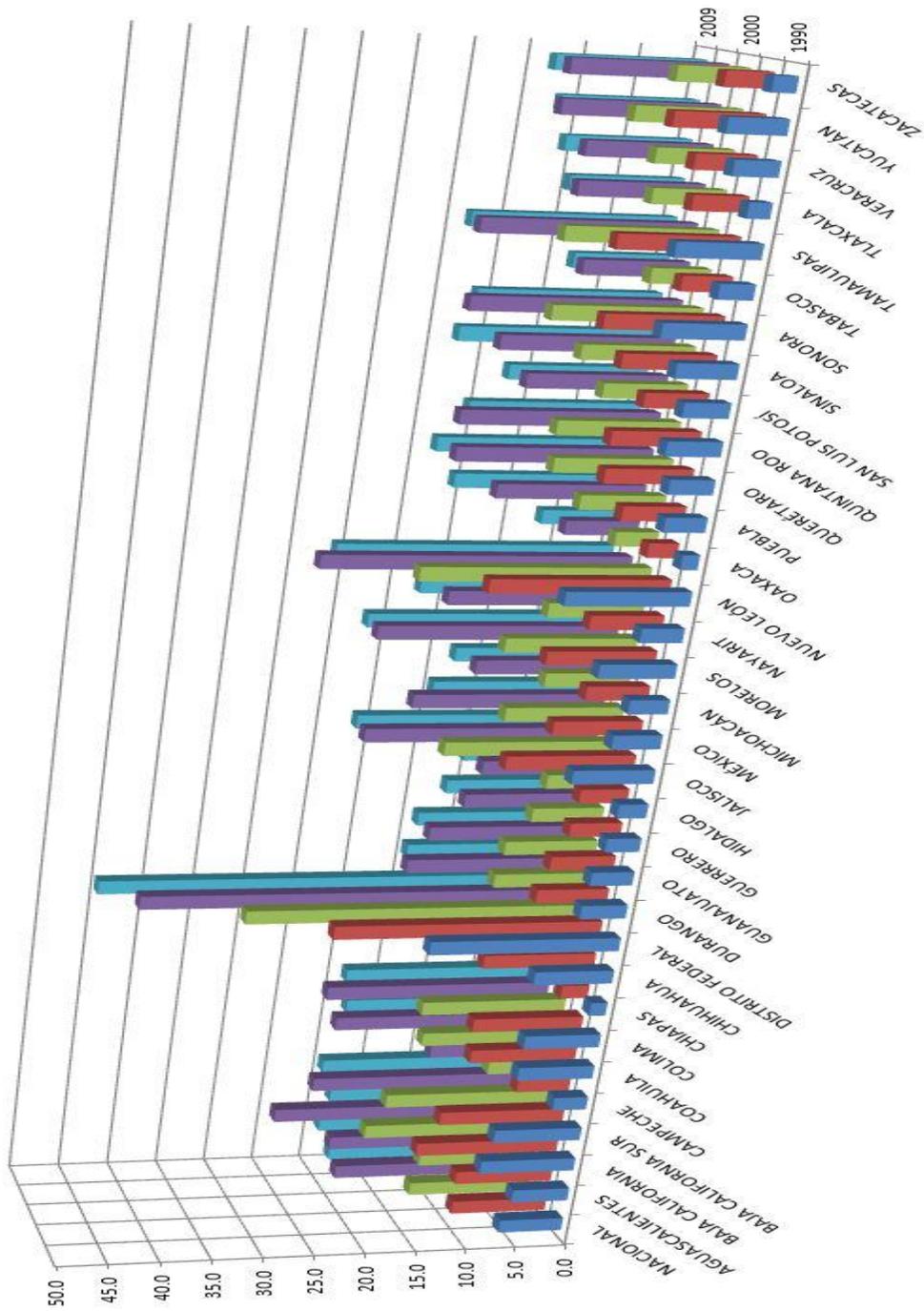


Figura 4.5 Comparativa nacional de densidad de telefonía fija por cada 100 habitantes. [18]

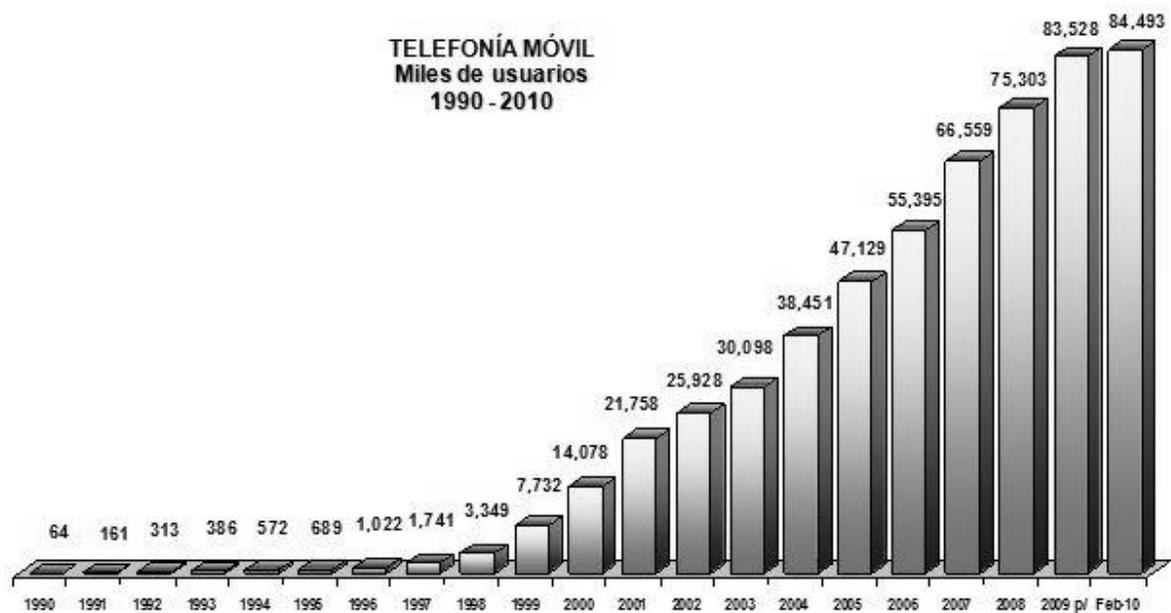


Figura 4.6 Indicador anual de usuarios de telefonía móvil en México. [18]

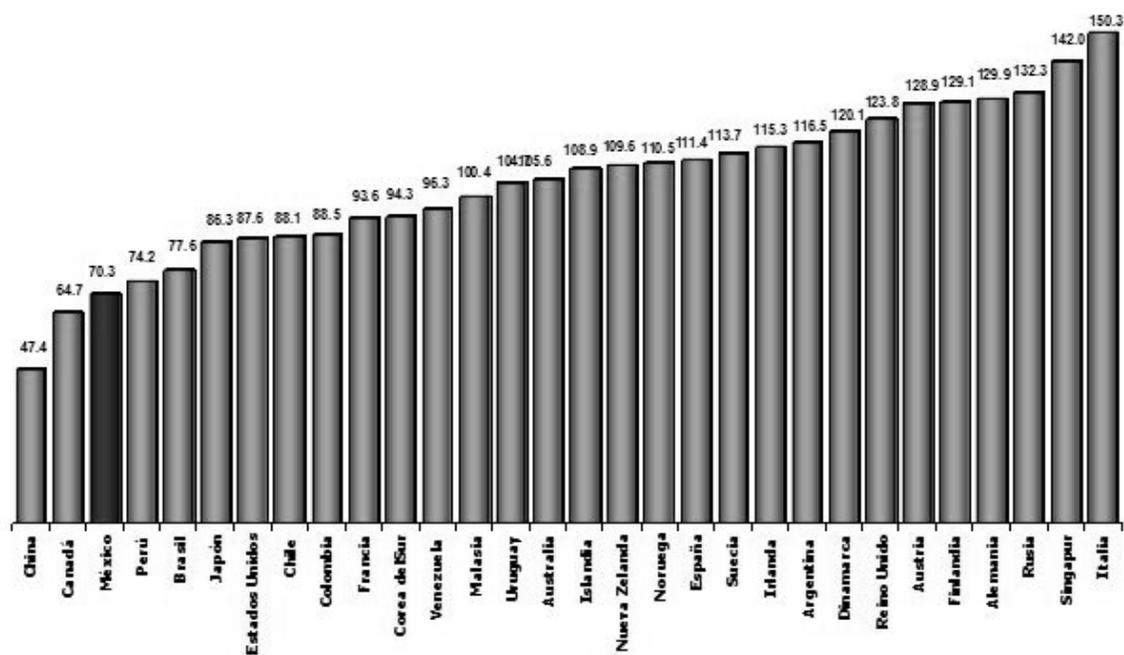


Figura 4.7 Comparativo internacional de penetración de telefonía móvil por cada 100 habitantes para el año 2008.

[18]

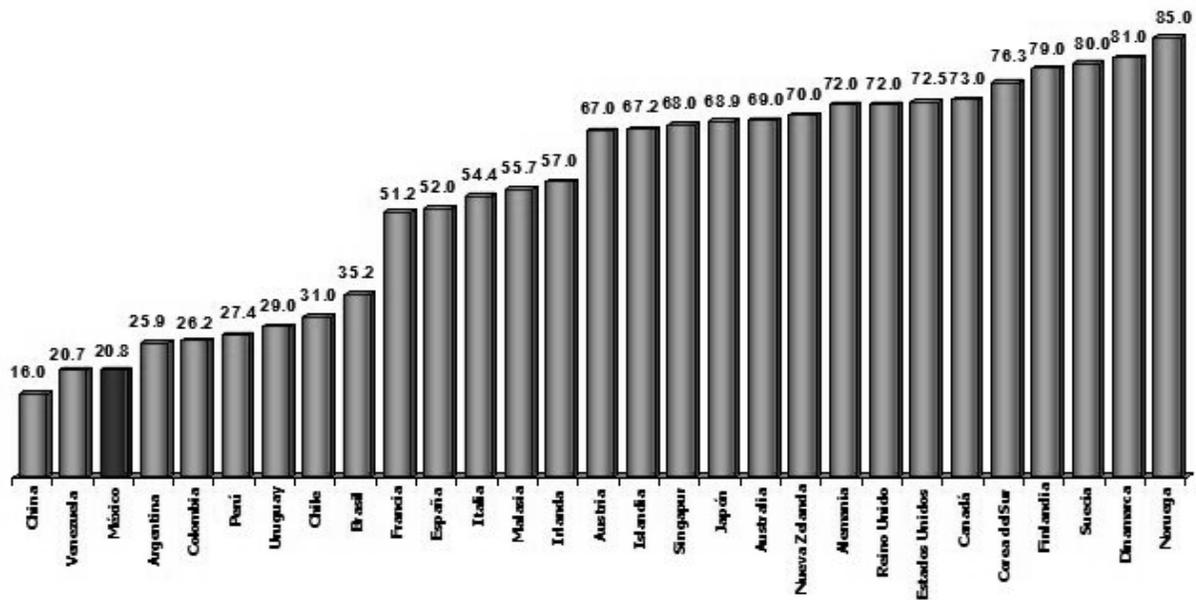


Figura 4.8 Comparativo internacional de penetración de Internet por cada 100 habitantes para el año 2007. [18]

Al observar estos datos, se puede pensar que el PLC ofrece una alternativa para aumentar la conectividad, en especial en zonas marginadas geográfica y económicamente, al poder transmitir voz y datos utilizando la red eléctrica. En los casos de entidades federativas con baja conectividad telefónica, se podría disponer de la red eléctrica, la cual tiene una cobertura mayor al 90% en todas las entidades federativas.

Se debe tener en cuenta que al invertir en telecomunicaciones, se acelera y promueve la economía en la región, ya que está comprobado que cada peso que se invierte de una forma eficiente, por lo regular en zonas marginadas, produce un alza en la economía del lugar; además de la nacional [12]. También, algunos de los factores por los cuales se podría desarrollar de forma integral una región al utilizar la red eléctrica con la tecnología PLC, son los siguientes:

- Reducción de la brecha digital.
- Conectividad con todo el país y el resto del mundo.

- 
- Incremento del número de sitios, el PLC como tecnología de acceso de última milla podría incrementar el número de sitios con acceso a banda ancha.
  - Opción para el acceso a la educación y capacitación.
  - Facilidad del acceso a servicios y contenidos a distancia por parte de la población y los profesionales de la salud.
  - Fomento del desarrollo y crecimiento de las empresas
  - Ampliación de las opciones y formas de entretenimiento.

Por otro lado, no solamente a las zonas limitadas de conectividad pueden llegar los servicios de banda ancha con el PLC; inclusive, los despliegues pueden hacerse en las grandes ciudades donde ya existen compañías proveedoras de servicios de telecomunicaciones, lo cual tendría como repercusión lo siguiente:

- Reducción de la brecha digital
- Aprovechamiento del potencial de la red eléctrica
- Acceso a internet desde un mayor número de puntos
- Mejora en la calidad de servicio
- Mayor competencia en el mercado
- Reducción de precios al consumidor
- Ventajas para los proveedores de servicios, pues en el mercado cuando existe reducción de precios, aumenta la demanda.

#### **4.4 LA FIBRA NEGRA Y EL PLC: ¿LA NUEVA GRAN RED?**

Actualmente, la CFE cuenta con una unidad de negocios responsable de la comercialización de los servicios de telecomunicaciones llamada CFE Telecom. Esta unidad, es la encargada de ofrecer al mercado mexicano la prestación de los servicios de provisión y arrendamiento de los más de 22 mil kilómetros de la red de fibra óptica de la CFE, la cual se compone de enlaces con las siguientes capacidades: STM64(10 Gbps), STM16(2.5 Gbps) y STM4(622 Mbps). En la Figura 4.9 se puede observar la cobertura en el país de la red de fibra óptica. Además, CFE Telecom tiene profesionales, con amplia experiencia en el campo de las

---

telecomunicaciones, y la operación de la red de fibra óptica está basada en altos estándares de calidad.

Entre los servicios que ofrece destacan los siguientes:

- CFE Enlaces: son los servicios de telecomunicaciones que permiten la conexión privada punto a punto entre dos domicilios del cliente, para su uso exclusivo, sin límite de utilización y sin restricción de horarios. Estos enlaces se componen de los accesos locales en cada extremo de la conexión y el circuito intermodal entre los puntos de presencia de CFE Telecom. Se ofrecen dos tipos de enlaces, el Clear Channel y el Ethernet.
- Hoteles Telecom: este servicio consiste en brindar un espacio exclusivo para la colocación de equipos, además de brindar el servicio de conectividad entre los clientes que se alojan en dicho espacio.
- CFE Internet: con este servicio se ofrece una conexión dedicada de alto desempeño hacia la red de Internet, de manera confiable y segura los 365 días del año. El puerto Ethernet es entregado en los Hoteles Telecom, pero puede ser transportado al domicilio del cliente por medio de un CFE Enlace. Existen diferentes tasas en la conexión, las cuales son simétricas.

Por el momento, estos servicios se ofrecen únicamente a otros *carriers* y a empresas de telecomunicaciones; a instituciones de gobierno y a grandes empresas y corporativos. Esto se debe principalmente a que los enlaces y accesos a internet que rentan, son dedicados, por lo tanto tienen un costo mucho mayor con respecto a las conexiones de internet que ofrecen otras compañías a los usuarios de casas y pequeños negocios.

Es aquí donde se podría pensar en el uso de la tecnología PLC para el acceso masivo, con la cual la CFE tendría la capacidad de llegar a cada uno de los hogares que cuenten con red eléctrica y poder ofrecer la conexión a internet y otros servicios con precios muy competitivos.

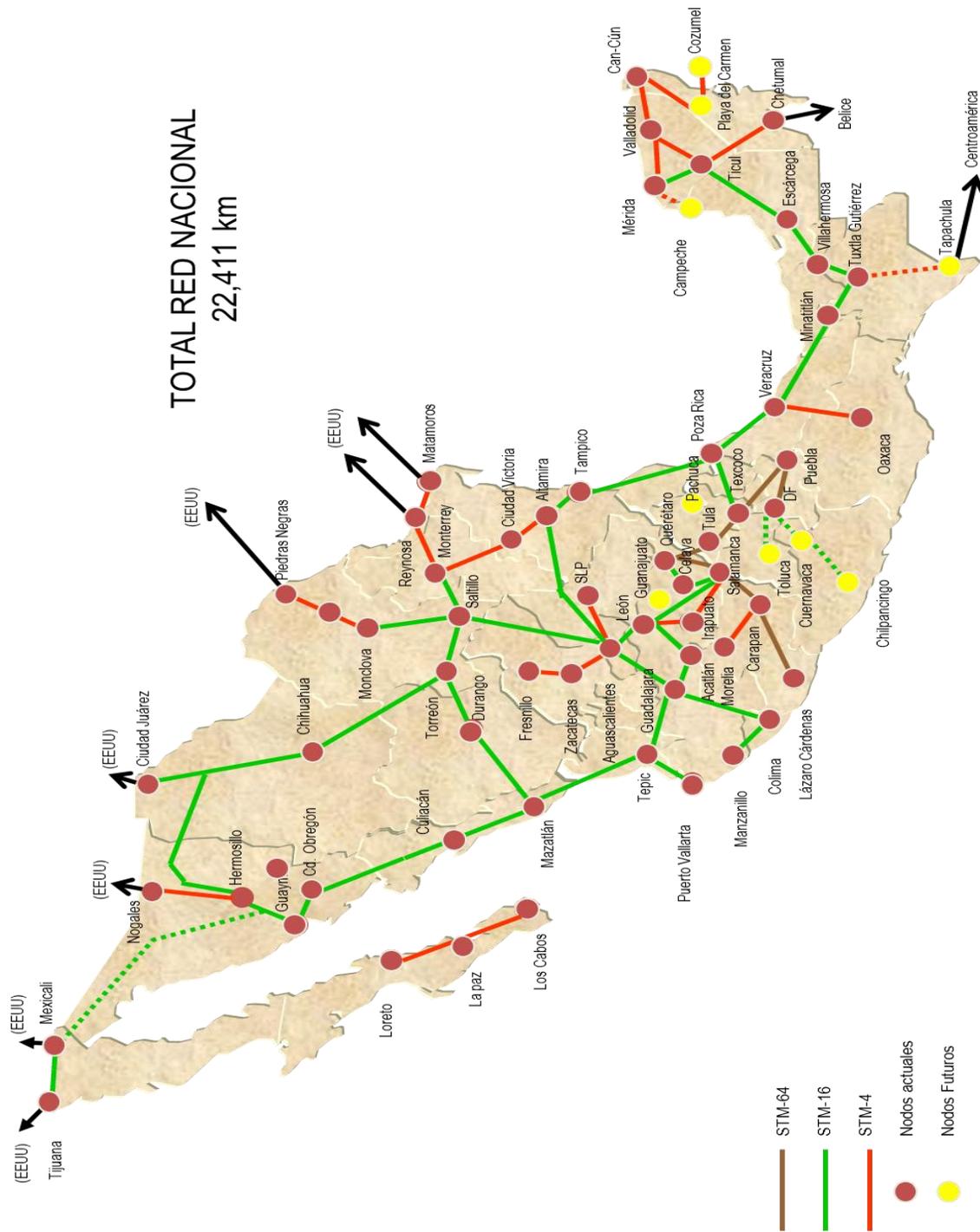


Figura 4.9 Mapa de la red nacional de fibra óptica de la CFE. [17]

---

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES GENERALES**

Sin duda, las telecomunicaciones se han abierto a la co-existencia y convergencia de múltiples tecnologías, y una de ellas son las comunicaciones por cable eléctrico de potencia, conocida como PLC. Esta tecnología permite la integración de la rama de la energía eléctrica de potencia con la rama de las telecomunicaciones, lo cual la hace aún más interesante para su estudio. Pese a que no es un concepto nuevo, éste ha evolucionado en los últimos años de manera significativa gracias a los avances tecnológicos que ha habido en cuanto a los dispositivos y métodos robustos de transmisión de señales, los cuales han hecho posible la transmisión de señales de datos a alta velocidad por un canal que se considera altamente ruidoso e inestable, como lo es la red eléctrica de media y baja tensión. Esta tecnología, en conjunto con algunos protocolos, como el TCP/IP, tiene el potencial de ofrecer una gran gama de servicios de banda ancha como telefonía, televisión restringida, acceso a internet,

---

telecontrol, telemedición, entre los más importantes. Sin embargo, existen también otros usos poco comunes, en donde el PLC se puede decir que es la opción más viable y en ocasiones, la única. Un ejemplo de ello podría ser el brindar los servicios de red de datos en un edificio histórico o catalogado como patrimonio de la nación, en el cual no se puedan realizar cableados adicionales para no alterar su valor arquitectónico, y en donde las tecnologías inalámbricas son poco recurrentes debido a la topología e infraestructura propia del lugar.

Hasta ahora, esta tecnología no cuenta con estándares internacionales como lo tiene por ejemplo las tecnologías Wi-Fi o Ethernet, que se rigen por las especificaciones IEEE 802.11 y IEEE 802.3 respectivamente, y que permiten que se puedan normalizar los productos para que sean compatibles entre sí, independientemente de la marca del fabricante. Únicamente los organismos reguladores de cada región han emitido algunas restricciones y recomendaciones de uso del PLC, las cuales refieren principalmente con lo relacionado a la frecuencia de uso y a la compatibilidad electromagnética. Por tal motivo, este hecho puede ser una de las causas principales por las cuales el PLC aun no tenga despliegues equiparables como los que se han hecho con DSL u otras tecnologías de acceso, ya que las compañías fabricantes de dispositivos y las proveedoras de servicios se arriesgan de sobremanera al invertir en una tecnología, la cual en cualquier momento puede estar sujeta a un tipo distinto de regulación y normatividad, teniendo así pérdidas y no ganancias.

Enfrentando el problema anterior, empresas de varios países han sido pioneras en hacer despliegues comerciales del PLC desde inicios del año 2000, sin embargo, los resultados no han sido del todo favorables. Hoy en día muchas de esas empresas que le apostaron al PLC como tecnología emergente han tenido que abandonar este rubro por argumentar que no les ha sido redituable o han tenido problemas en su país ocasionados por la interferencia que genera. Sin embargo, esto no se quiere decir que el PLC haya fracasado, por el contrario, las experiencias de los desarrollos del PLC en esos países pueden servir para que otras empresas tomen un camino diferente para poder lograr con éxito el uso masivo del PLC, además da oportunidad de que transcurra el tiempo necesario para que la estandarización del PLC por

---

parte de la IEEE quede terminada, y se tenga un panorama de mayor certeza y sin tantos obstáculos como lo fue en un principio.

Por su parte México, es uno de esos países que aún no ha utilizado la tecnología PLC para ofrecer servicios de red de banda ancha. Únicamente ha realizado pruebas en las cuales se ha demostrado la factibilidad de la implementación y el uso de servicios de voz y datos, de esta tecnología en la red de media y baja tensión de la CFE. Esta red en conjunto con la tecnología PLC tiene el potencial para poder brindar la conectividad a casi la totalidad de los hogares mexicanos, inclusive en localidades remotas y zonas rurales que cuenten con el servicio de energía eléctrica.

Además, puede servir como tecnología de acceso para la o las empresas ganadoras de la licitación de la fibra oscura de la CFE, permitiendo así, tener el potencial de crear una red equiparable a la de TELMEX, lo cual tendría como ventaja para el usuario otras opciones de conectividad, además de la posibilidad de mejores servicios y precios. Inclusive, la misma paraestatal que es CFE, podría convertirse en una gran empresa de telecomunicaciones, debido que ya cuenta con la infraestructura Dorsal de fibra óptica, además de la conexión última milla con el usuario final.

También, se puede decir que si el gobierno mexicano estuviera interesado en algún momento por la tecnología PLC, muy probablemente modificaría o justificaría sin problemas las leyes de sus dependencias para poder explotar la red de media y baja tensión como canal de comunicación. Lo anterior no sería nada extraño, debido a que ha sucedido con el caso mismo de CFE, la cual, únicamente se debería encargar de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica en el país, sin embargo, ahora es una red pública de telecomunicaciones, además de tener la propiedad de brindar el servicio de Internet como valor agregado.

Del párrafo anterior, quedaría en segundo plano la forma que se legisle, si fuera con el objetivo de mejorar las políticas públicas que posteriormente repercutan en el desarrollo del

---

país y la mejora de calidad de vida de cada uno de los mexicanos. Desafortunadamente, los intereses políticos y económicos en ocasiones están por encima de lo que podría considerarse como la mejor opción, por lo cual, sin duda alguna el PLC debería ser considerado como mínimo para conectar a las regiones aisladas que no cuenten con la infraestructuras tradicionales de telecomunicaciones, y así poder incentivar el crecimiento de la región. Una propuesta podría ser que hasta el mismo gobierno haga como programa social la conectividad de municipios y zonas rurales, esto para abrir paso a la inversión en la región.

En caso de que la tecnología PLC no lograra consolidarse como una alternativa de acceso para proveer los servicios de banda ancha de forma masiva, muy probablemente tendrá sus nichos de uso por las propiedades únicas que tiene, por lo tanto no se ve que en un futuro pudiera desaparecer por completo, y que sólo haya quedado como un buen intento por aprovechar la infraestructura de la red eléctrica para el uso de las telecomunicaciones.

## APÉNDICE

### A) TENSIONES ELÉCTRICAS NORMALIZADAS DE LA NORMA NMX-J-098-ANCE-1999

Clasificación	Tensión eléctrica nominal del sistema (1)			Tensión eléctrica de servicio		Tensión eléctrica nominal de utilización V (3)
	V			V		
	1 fase 3 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	máximo	mínimo	
Baja tensión	<u>120/240</u> -- -- --	-- -- -- <u>480</u>	-- <u>220 Y/127</u> <u>480 Y/277</u> --	126/252 231/133,3 504/291 504	108/216 198/114,3 432/249,4 432	<u>115/230</u> <u>208 Y/120</u> <u>460 Y/265</u> <u>460</u>
Media Tensión		2 400 <u>4 160</u> -- -- <u>13 800</u> -- <u>23 000</u> -- <u>34 500</u> --	-- (2) -- -- -- <u>13 800 Y/7 970</u> -- <u>23 000 Y/13 280</u> -- <u>34 500 Y/19 920</u>	2 520 4 368 7 245 14 490 14 490/8 366 24 150 24 150/13 943 36 225 36 225/20 915	2 160 3 744 6 210 12 420 12 420/7 171 20 700 20 700/11 951 31 050 31 050/17 927	2 300 <u>4 000</u> 6 600 <u>13 200</u>
Alta tensión		<u>69 000</u> 85 000 <u>115 000</u> 138 000 161 000 230 000		72 450 89 250 120 750 144 900 169 050 241 500	62 100 76 500 103 500 124 200 144 900 207 000	
Extra alta tensión		<u>400 000</u>		420 000	360 000	
<p><b>NOTAS</b></p> <p>1 En esta tabla no se muestran las tensiones congeladas que están en uso actualmente, porque la tendencia es su desaparición.</p> <p>2 El valor máximo y mínimo de la tensión eléctrica de servicio se obtiene aplicando la tolerancia de +5% y -10% al valor de la tensión eléctrica nominal del sistema.</p> <p>3 La tolerancia de +5% y -10% para obtener la tensión eléctrica de servicio, es recomendada, ya que permite disminuir la diferencia entre las bandas de tensión eléctrica (por ejemplo 120 V vs. 127), sin embargo prevalece la establecida en el Reglamento de la Ley del Servicio Público de la Energía Eléctrica.</p> <p>4 Los niveles aquí establecidos y sus tolerancias sólo aplican para niveles de tensión eléctrica sostenidos y no para fallas momentáneas que puedan resultar de causas tales como operación de maniobra, corrientes de arranque de motores o cualquier otra condición transitoria.</p> <p>(1) Las tensiones nominales preferentes son las que se presentan subrayadas, el resto son tensiones restringidas.</p> <p>(2) Tensión eléctrica nominal de distribución subterránea en media tensión.</p> <p>(3) La tolerancia de la tensión eléctrica nominal de utilización está en función de la tensión eléctrica máxima de servicio y de la caída máxima permisible en la instalación del usuario.</p>						

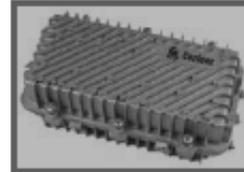
## B) HOJA DE DATOS DE EQUIPO GATEWAY DE LA MARCA CORINEX



AnyWire Connectivity™

# Corinex Medium Voltage Access Gateways

Las familia de productos de Corinex Medium Voltage Access Gateway transforma una red eléctrica de un Servicio Público en un backbone (columna vertebral) de comunicaciones de banda ancha para los usos de redes inteligentes y/o el acceso de banda ancha. Cada MV Gateway contiene tres módulos de banda ancha de Powerline de 200Mbps (BPL) que permiten comunicaciones en líneas de MV (en el modo eficiente de FDD) y la inyección simultánea en las líneas del LV (desviando el transformador).



El Corinex MV Gateway puede actuar como un equipo cabecera de una red o un dispositivo de repetición, con distancias de hasta 2 kilómetros (1.25 millas) entre los servicios. Dentro de los usos de redes inteligentes, la tecnología de Corinex permite incluso que usted salte los transformadores, usando así menos dispositivos y mejorando el Retorno de la Inversión.

La tecnología Corinex "Noise Resistant" en el MV Gateway –NR, el producto entrega el mejor funcionamiento (en término de ancho de banda y la distancia) bajo áreas ruidosas pesadas en áreas urbanas.

Cada MV Gateway se fabrica estándar con un puerto de Ethernet integrado para permitir conexiones a otros dispositivos. Los filtros de frecuencia internos automatizados son opcionales en las unidades y permiten que las redes de MV Gateway configuren automáticamente sus bandas de frecuencia, asegurando completa evolución de la red. Una batería de reserva de 2 horas es opcional para asegurar que la red de los BPL es operacional durante interrupciones. Cada dispositivo es también completamente compatible con los puntos finales de Corinex incluyendo las series de AV200 de Corinex de equipo de CPE y metros contadores.

¡El Corinex MV Gateways, es líder en la industria por sus características, precio y funcionamiento!

## Usos

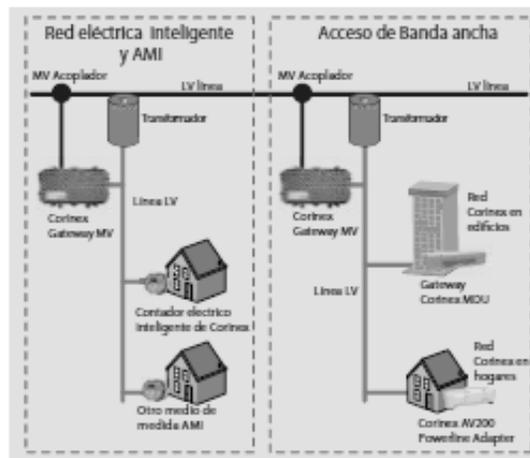
### Servicios Del Consumidor

- Acceso de Internet de banda ancha, VoIP, Trasmisión de video, Juego

### Servicio a las empresas publicas

- Lectura automática del metro contador
- Automatización de la distribución
- Detector de la falta de Alta Impedancia / Conductor detector bajo
- Transformador de evaluación y monitoreo
- SCADA
- Monitor de calidad de la alimentación eléctrica
- Control remoto del balance de carga para maximizar la eficiencia
- Administración avanzada de la red con GIS y mapping
- Vigilancia

Características	MV Gateway	MV Gateway Noise Resistant
Línea de transmisión	1	2
#MV Acopladores requeridos	1	2
Señal de propagación	Buena	Mejor
Resistencia al ruido	Buena	Mejor
Filtro interno RF	Opcional	Si
Filtro de selección automática	Opcional	Si
Filtro de Frecuencia Standard	Si	Si
Filtros de frecuencias Aeronautico optimizado / FCC	Opcional	Si
Selector Remoto LV de acopladores	No	Si
2 Horas de baterías w/ Indicador de salud	Opcional	Si



Video, Voice and Broadband Connectivity Solutions

## Especificaciones técnicas

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

## Características

- Unidad de todo en uno para ambos MV repetidor y LV acoplado con Molex y interfaces de coaxiales
- Velocidad de Transferencia de datos de backbone de 200 Mbps con alcance hasta 2 km
- Seguridad superior con ponderosa encriptación DES/3DES
- Capacidades de control, con soporte del protocolo SNMP
- Soporte Bridging para 2048 direcciones MAC
- 802.1Q VLAN & Optimized VLANs
- Tecnología OFMD y un poderoso sistema de corrección de errores, brindando un fuerte desempeño aún bajo severas condiciones en el Powerline de MV o LV.
- Puente Ethernet 802.1D integrado con el protocolo optimizado (Optimized Spanning Tree)
- 8 niveles de colas de prioridad, con prioridad programable.
- Clasificación de Prioridades de acuerdo a la etiqueta 802.1P, la codificación IP (IPv4 o IPv6) o el puerto Origen/Destino TCP
- Filtración MAC - puede descartar estructuras de Ethernet que provengan de una dirección MAC no presente en la lista de direcciones MAC permitidas
- Frecuencia configurable, con muesqueo en las bandas de frecuencia, incluyendo un radio Amateur y bandas de frecuencia restringidas.

## Accesorios (opcional)

- Acoplador capacitivo elevado
- Acoplador capacitivo soterrado

## Código del producto

CXP-MVA-GWY	Versión estándar - Requisitos externos filtros (2 filtros externos incluidos)
CXP-MVA-GNR-A1	Gateway resistente a ruidos con filtros de selección automática - Requisito
CXP-MVA-GNR-A1-B	Gateway Resiste a ruidos con filtros de selección automática integrado y batería
CXP-MVA-GNR-A2	Gateway Resistente a ruidos con filtros de selección automática incorporado FCC
CXP-MVA-GNR-A2-B	Gateway Resiste a ruidos con filtros de selección automática integrado y batería

Los servicios, las características del producto y los diseños pueden variar por la versión y la región



C) CONTRATO CFE ENLACES

**CONTRATO PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES QUE CELEBRAN POR UNA PARTE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR EL SEÑOR XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, EN SU CARÁCTER DE XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX Y POR EL SR. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, EN SU CARÁCTER DE XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (EN LO SUCESIVO DENOMINADA “CFE TELECOM”), Y POR LA OTRA PARTE (DEPENDENCIA DE LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA FEDERAL) REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR EL SEÑOR XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX (EN LO SUCESIVO DENOMINADA “Cliente”), AL TENOR DE LAS SIGUIENTES DECLARACIONES Y CLÁUSULAS.**

**DECLARACIONES**

I. Declara **CFE TELECOM**, por conducto de su representante, que:

(a) Es un Organismo Público Descentralizado de la Administración Pública Federal con personalidad jurídica y patrimonio propios, que se rige por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

(b) La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en sus artículos 8, 9 fracción VIII, y 13, así como el artículo 11, de su Reglamento la faculta para celebrar todos los actos y convenios que sean necesarios para el cumplimiento de su objeto y actividades conexas, con el fin de mejorar el aprovechamiento de sus recursos.

(c) De conformidad con los artículos 3, fracción IV, 4, 9, 15 y 116, de la Ley General de Bienes Nacionales, los bienes sujetos al régimen de dominio público, podrán ser objeto de aprovechamiento accidental o accesorio por los particulares, cuando sea compatible o complementario con la naturaleza de ellos.

(d) Su Registro Federal de Contribuyentes es CFE 370814 Q10.

(e) Cuenta con la autorización de su Junta de Gobierno para instalar, operar y explotar su infraestructura de fibra óptica como una red pública de telecomunicaciones y para que al amparo de un título de concesión, preste servicios de telecomunicaciones en los términos que establece la Ley Federal de Telecomunicaciones.

(f) Los representantes legales de **CFE TELECOM** tienen todas las facultades necesarias para obligar a su representada en los términos del presente **Contrato**, mismas que no les han sido revocadas ni de forma alguna modificadas, facultades que se acreditan con las Escritura Pública N° XXXXX y XXXXX de fecha XX de XXXXXXX de XXXX y XX de XXXXXXX de XXXX, respectivamente, otorgadas por el Notario Público N° XXX de XXXXXXXXXXXXXX, Lic. XXXXXXXXXXXXXX.

(g) El Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (la “**SCT**”) otorgó a favor de **CFE TELECOM** una concesión para instalar, operar y explotar una red pública de telecomunicaciones el 10 de noviembre de 2006 (“**Concesión de CFE**”), a efecto de prestar diversos servicios, entre otros, el arrendamiento de capacidad de telecomunicaciones en favor de terceros concesionarios de telecomunicaciones.

(h) Reconoce expresamente la personalidad con la que comparece el representante del **Cliente** a la celebración del presente **Contrato**, para todos los efectos legales a que haya lugar.

(i) Es responsable de contar con todas las autorizaciones, permisos, licencias, concesiones y registros gubernamentales, que le correspondan y resulten necesarios para celebrar el presente **Contrato** y para cumplir con los términos y condiciones establecidos en el mismo.

II. Declara el **Ciente**, por conducto de su representante, que:

(a) Es una XXXXXXXX (dependencia o entidad) de la Administración Pública Federal, que se rige por XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX.

(b) Su Registro Federal de Contribuyentes es \_\_\_\_\_.

(c) Su representante está facultado para obligarla en términos del presente **Contrato**, lo cual acredita con la escritura pública número \_\_\_\_\_ otorgada el día \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ ante el Notario número \_\_\_\_\_ de la Ciudad de \_\_\_\_\_, Lic. \_\_\_\_\_, e inscrita en el Registro Público del Comercio de la ciudad de \_\_\_\_\_, bajo los siguientes datos registrales \_\_\_\_\_; manifestando que tales facultades no le han sido revocadas ni limitadas.

(d) Tiene interés en contratar los **Servicios de Telecomunicaciones** de **CFE TELECOM** objeto del presente **Contrato** para satisfacer necesidades propias de telecomunicaciones de su red privada y declara, asimismo, que en ningún caso realizará algún tipo de actividad que implique comercialización alguna de dichos servicios, de conformidad con lo que dispone el artículo 28, de la Ley Federal de Telecomunicaciones.

(e) Como empresa establecida, cuenta con elementos propios suficientes para cumplir con sus obligaciones derivadas del presente **Contrato**.

(f) Reconoce expresamente la personalidad con la que comparece el representante de **CFE TELECOM** a la celebración del presente **Contrato**, para todos los efectos legales a que haya lugar.

(g) Es responsable de contar con todas las autorizaciones, permisos, licencias, concesiones y registros gubernamentales que le correspondan y resulten necesarios para celebrar el presente **Contrato**, recibir el **Servicio de Telecomunicaciones** y para cumplir con los términos y condiciones establecidos en el presente acto jurídico.

**D) CONTRATO CFE INTERNET**

**CONTRATO DE PRESTACIÓN DE SERVICIO DE ACCESO A INTERNET (EL "CONTRATO") QUE CELEBRAN POR UNA PARTE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (EN LO SUCESIVO DENOMINADA "CFE TELECOM"), REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR LOS C.C. TERESA ANGELINA GALLEGOS RAMÍREZ Y JAVIER FLORES HEREDIA, EN SU CARÁCTER DE GERENTE DE ASUNTOS LEGALES Y REGULATORIOS EN MATERIA DE TELECOMUNICACIONES DE LA COORDINACIÓN CFE TELECOM Y COORDINADOR DE OPERACIÓN DE FIBRA ÓPTICA, RESPECTIVAMENTE, Y POR LA OTRA PARTE (LA EMPRESA / EL GOBIERNO FEDERAL, A TRAVÉS DE) \_\_\_\_\_, REPRESENTADA EN ESTE ACTO POR \_\_\_\_\_, EN SU CARÁCTER DE \_\_\_\_\_, (EN LO SUCESIVO DENOMINADO EL "CLIENTE" Y EN CONJUNTO CON CFE TELECOM LAS "PARTES, AL TENOR DE LAS SIGUIENTES DECLARACIONES Y CLÁUSULAS:**

**DECLARACIONES**

**I. Declara CFE Telecom, a través de sus representantes, que:**

I.1 Es un organismo público descentralizado de la administración pública federal, con personalidad jurídica y patrimonio propios, en los términos del artículo 8 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

I.2 Conforme a los artículos 9, fracciones VII y VIII de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y 11 de su Reglamento, está facultada para celebrar todos los actos y convenios que sean necesarios para el cumplimiento de su objeto y realizar actividades conexas, con el fin de mejorar el aprovechamiento de sus recursos.

I.3 Con fecha 10 de noviembre de 2006, el Gobierno Federal, por conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, otorgó a su favor una concesión para instalar, operar y explotar su infraestructura de fibra óptica como una red pública de telecomunicaciones.

I.4 Con fecha 9 de junio de 2009, recibió Constancia de Registro de Servicios de Valor Agregado No. SVA-069/2009, para la provisión del servicio de Acceso a Internet ("*Servicio de Acceso a Internet*"), emitida por la Comisión Federal de Telecomunicaciones, la cual quedó inscrita en el Registro de Telecomunicaciones y se rige por la Ley Federal de Telecomunicaciones y por todas las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas aplicables a la materia.

I.5 Sus representantes cuentan con todas las facultades necesarias para celebrar el presente Contrato, mismas que no les han sido revocadas, limitadas, ni modificadas de forma alguna, lo que se acredita con las Escrituras Públicas N°s 42,459 y 39,416 de fechas 27 de enero de 2010 y 10 de marzo de 2008, respectivamente, otorgadas por el Notario Público N° 105 de del Estado de México, Lic. Conrado Zuckermann Ponce.

I.6 Tiene interés en celebrar el presente Contrato con la finalidad de prestar el Servicio de Acceso a Internet a través de su red pública de telecomunicaciones, mediante el aprovechamiento de su infraestructura y de sus recursos

**E) CONCESIONES OTORGADAS DE REDES PÚBLICAS DE TELECOMUNICACIONES INTERESTATALES**

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**  
**SUBSECRETARIA DE COMUNICACIONES**  
**CONCESIONES OTORGADAS DE REDES PUBLICAS DE TELECOMUNICACIONES INTERESTATALES**  
**Procedimiento administrativo concesionario:**  
 Las concesiones para instalar, operar y explotar redes públicas de telecomunicaciones interestatales, se otorgan mediante el procedimiento de presentación de la solicitud y estudio de procedencia de la misma, de conformidad con lo establecido en los artículos 24 y 25 de la Ley Federal de Telecomunicaciones y el Acuerdo por el que se establece el procedimiento para obtener concesión para la instalación, operación o explotación de redes públicas de telecomunicaciones interestatales al amparo de la Ley Federal de Telecomunicaciones.

<b>No.</b>	<b>Nombre del Concesionario</b>	<b>Fecha de Otorgamiento</b>	<b>Vigencia (años)</b>	<b>Servicios Autorizados</b>
1	Teléfonos de México, S.A. de C.V.	10-ago-90	50	1.- El servicio público de conducción de señales de voz, sonidos, datos, textos e imágenes, de larga distancia nacional e internacional, y 2.- El servicio público de telefonía básica.
2	Teléfonos del Noroeste, S.A. de C.V.	07-dic-90	46	1.- El servicio público de conducción de señales de voz, sonidos, datos, textos e imágenes, de larga distancia nacional e internacional, y 2.- El servicio público de telefonía básica.
3	Comisión Federal de Electricidad	10-nov-06	15	1.-La provisión y arrendamiento de capacidad de la Red, y 2.- La comercialización de la capacidad adquirida respecto de redes de otros concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones;
4	Cable Visión Regional, S.A. de C.V	11-sep-08	30	1.- La prestación del servicio de telefonía básica de larga distancia nacional e internacional 2.- El servicio fijo de telefonía local 3.- La venta o arrendamiento de capacidad de la Red 4.- La comercialización de la capacidad adquirida respecto de redes de otros concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones. 5.- Televisión y audio restringidos 6.- Servicio de transmisión de datos 7.- Videoconferencia

## REFERENCIAS

### LITERATURA

- [1] Dosert, Klaus. **Powerline Communicatios**. Ed. Prentice Hall PTR. USA. 2001.
- [2] Held, Gilbert. **Understanding Broadband over Power Line**. Ed. Aurebach Publications USA. 2006.
- [3] Hrasnica, Halid. **Broaband Powerline Communications Networks**. Ed. John Wiley & Sons Ltd. England. 2004.
- [4] Charoy, Alain. **Parásitos y Perturbaciones en Electrónica**. Ed. Paraninfo. España. 1996.
- [5] Tomasi, Wayne. **Sistemas de Comunicaciones Electrónicas**. 4ta edición. Ed. Pearson Educación. México. 2003.
- [6] Ellis, Norma. **Interferencias Eléctricas**. Ed. Paraninfo. España. 1996.
- [7] Firma Arthur D. Little **White Paper on Power Line Communications (PLC)** . Firma Arthur D. Little, PUA. 2004.
- [8] Bautista, Margarita. **Power Line Communicatiosn, PLC**. F.I. UNAM 2004.
- [9] Peralta, José Luis. **Next Generation Networks, Convergencia de Redes**. COFETEL.2006.

- [10] Fernández, Azael. **Tutorial de la Tecnología Power Line Communicatios.** DGSCA. UNAM. 2007.
- [11] OCDE. **Broaband Over Power Lines (BPL): Development and Policy Issues.** OCDE. 2009.
- [12] Ayub, Elias. **Potencial de la Red Eléctrica como Instrumento de Conectividad Social.** 2005.
- [13] Stahl, Holger. **High Speed Data Transmisión Using DS-CDMA or OFDM.** University of Applied Sciences Rosenheim. 2006.
- [14] Berterreix, Maximiliano. **Transmisión de Datos por la Red Eléctrica PLC en Banda Angosta.** Universidad de Comahue.2006.
- [15] Ibarra Yuñez, Alejandro. **Tecnologías PLC/BPL en México y sus retos para las regulaciones: ¿existen oportunidades de desarrollo?.** Gestión y política pública. Volumen XIV. Número 2. México. 2005.
- [16] Linares y Miranda, Roberto. **Mediciones de Compatibilidad Electromagnética de las Líneas de Potencia de corriente alterna de la CFE para usarse como medio de transmisión de voz, datos y vídeo en Jcotitlán Estado de México.** ESIME IPN. México. 2006.

## **REFERENCIA WEB**

[17] <http://www.cfe.gob.mx/Paginas/Home3.aspx>

[18] <http://www.cofetel.gob.mx/>

[19] [www.homeplug.org](http://www.homeplug.org)

[20] [www.uplc.org](http://www.uplc.org)

[21] [www.ist-opera.org](http://www.ist-opera.org)

[22] [www.corinex.com](http://www.corinex.com)

[23] [www.canitec.org](http://www.canitec.org)

[24] [www.tecnocom.com](http://www.tecnocom.com)

[25] [www.fondear.org](http://www.fondear.org)

[26] [www.edomexico.gob.mx](http://www.edomexico.gob.mx)

[27] <http://hipervirtual.es>

[28] [www.itu.int](http://www.itu.int)

## GLOSARIO

**ANCHO DE BANDA.-** Intervalo medido en Hz, de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal.

**BANDA ANCHA.-** El concepto de banda ancha combina la capacidad de conexión (anchura de banda) y la velocidad. En la Recomendación I.113 del Sector de Normalización de la UIT se define la banda ancha como una "capacidad de transmisión más rápida que la velocidad primaria de la red digital de servicios integrados (RDSI) a 1,5 ó 20 megabits por segundo (Mbits)".

**BANDA ESTRECHA.-** Hace referencia a un tipo de conexión que utiliza un ancho de banda muy reducido, menor a 56Kbps.

**BRECHA DIGITAL.-** la distancia "tecnológica" entre individuos, familias, empresas y áreas geográficas en sus oportunidades en el acceso a la información y a las tecnologías de la comunicación y en el uso de Internet para un amplio rango de actividades. Esta suele medirse en términos de densidad telefónica, densidad de computadoras, usuarios de Internet, entre otras variables.

**ÚLTIMA MILLA.-** Distancia final del medio de transmisión de entrega de conectividad de un proveedor de servicios de comunicación a un cliente. La frase es de uso frecuente por los sectores de telecomunicaciones y las industrias de televisión por cable. La distancia real de esta etapa puede ser considerablemente más de una milla, sobre todo en las zonas rurales.

**COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA.-** También conocida por sus siglas CEM, es la capacidad de cualquier aparato, equipo o sistema para funcionar de forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin provocar perturbaciones electromagnéticas sobre cualquier cosa de ese entorno.

**FIBRA ÓPTICA MONOMODO.**- este tipo de fibras se logra al reducir el diámetro del núcleo y eligiendo la relación de índices de refracción del núcleo y de la cubierta óptica, esto con el fin de que la señal se propague en un solo modo. Se emplean fundamentalmente en redes de telecomunicación en enlaces de larga distancia y elevada capacidad.

**FIBRA ÓPTICA MULTIMODO.** – son aquellas fibras que tienen el índice de refracción a lo largo del núcleo constante y cambia abruptamente en la frontera núcleo-cubierta óptica. Por lo regular se utilizan en redes de área local edificios, campus, debido a que son de corta distancia (<3-4 Km) y baja capacidad (< 150 Mbit/s).

**IMPEDANCIA.**- Magnitud que establece la relación (cociente) entre la tensión y la intensidad de corriente.

**INDUCTANCIA.**- Es la relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente eléctrica.

**REACTANCIA.**- Se le denomina a la oposición ofrecida al paso de la corriente alterna por inductores (bobinas) o capacitores (condensadores) y se mide en Ohms.

**TRIPLE PLAY.**- Se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión).

**DOMÓTICA.**- Es el conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas.

**FIBRA OSCURA.**- Este término refiere a los hilos de una fibra óptica que se encuentran en desuso.

## ACRÓNIMOS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AM	Modulación de amplitud
ANCE	Asociación Nacional de Normalización y Certificación del Sector Eléctrico
ANSI	American National Standards Institute
BLU	Banda Lateral Única
BS	Base Station
CE	Comunidad Europea
CENELEC	Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
CENIDET	Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CMSI	Cumbre Mundial de la Sociedad de la Información
COFETEL	Comisión Federal de Telecomunicaciones
DAB	European Digital Audio Broadcasting
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DS2	Design of Systems on Silicon
DSL	Digital Subscriber Line
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EDF	Electricité De France
EDP	Energias de Portugal
EEF	Enterprises Électriques Fribourgeoises
EIB	European Installation BUS
EMC	Electromagnetic Compatibility
EME	Electromagnetic Emission
EMS	Electromagnetic Susceptibility
ENDESA	Empresa Nacional de Electricidad
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FDM	Frequency Division Multiplexing
FM	Modulación de frecuencia
FSK	Frequency Shift Keying

HFC	Hybrid Fibre Coaxial
IBERINCO	Iberdrola Ingeniería y Consultoría
IEC	International Electrotechnical Commission
IEE	Instituto de Investigaciones Eléctricas
IEEE	Institute Electrical and Electronic Engineers
IPN	Instituto Politécnico Nacional
ITU	International Telecommunication Union
KEPCO	Korea Electric Power Corporation
LAN	Local Area Network
LSPEE	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
M	Meter Unit
NGN	Next Generation Networking
OFCOM	Oficina Federal de Comunicaciones
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPERA	Open PLC European Research Alliance
OPGW	Optical Power Ground Wire
OPLAT	Onda Portadora por Líneas de Alta Tensión
PLC	Power Line Communication
PUA	Power Line Utility Alliance
QoS	Quality of Service
RPTC	Red Pública de Telefonía Conmutada
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SENER	Secretaría de Energía
SNMP	Simple Network Management Protocol
UC	Unidad Concentradora
UR	Unidad Repetidora
UU	Unidad de Usuario
VLAN	Virtual Local Area Network
WAN	Wide Area Network
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access