



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE REDES DE DATOS POR CABLEADO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDES ETHERNET Y SU APLICACIÓN EN EL
CONTEXTO GUATEMALTECO**

Geofry Heberth Cornejo Cotí

Asesorado por el Ing. Edgar Roberto Pinillos Montenegro

Guatemala, julio de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE REDES DE DATOS POR CABLEADO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDES ETHERNET Y SU APLICACIÓN EN EL
CONTEXTO GUATEMALTECO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

GEOFRY HEBERTH CORNEJO COTI

ASESORADO POR EL ING. EDGAR ROBERTO PINILLOS MONTENEGRO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, JULIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Javier Gramajo López
EXAMINADOR	Ing. Álvaro Navarro Figueroa
EXAMINADOR	Ing. Cesar Fernández
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE REDES DE DATOS POR CABLEADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDES ETHERNET Y SU APLICACIÓN EN EL CONTEXTO GUATEMALTECO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, con fecha julio de 2009.

Geofry Heberth Cornejo Cotí

Guatemala, 15 de mayo de 2010

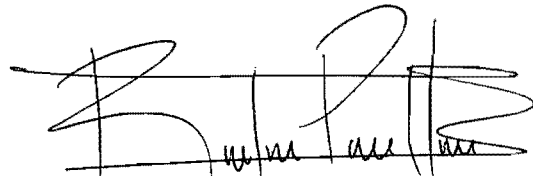
Ingeniero
Carlos Alfredo Azurdia Morales
Coordinador de Privados y Revisión de Tesis
Presente

Estimado Ingeniero Azurdia:

Por este medio me permito informarle que he procedido a revisar el Trabajo de Graduación titulado **Análisis comparativo de redes de datos por cableado de energía eléctrica y redes Ethernet y su aplicación en el contexto guatemalteco**, elaborado por el estudiante Geofry Heberth Cornejo Cotí, y que a mi juicio, el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo.

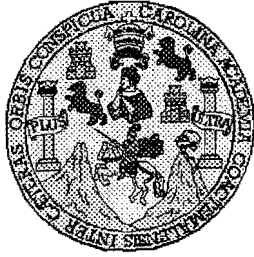
Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a horizontal line, positioned above the printed name.

Ing. Edgar Roberto Pinillos Montenegro

Asesor



Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 07 de Julio de 2010

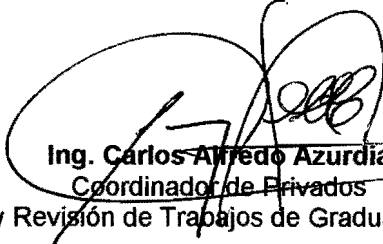
Ingeniero
Marlon Antonio Pérez Turk
Director de la Escuela de Ingeniería
En Ciencias y Sistemas


Respetable Ingeniero Pérez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **GEOFRY HEBERTH CORNEJO COTI** carné 2001-30048, titulado: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE REDES DE DATOS POR CABLEADO DE ENERGIA ELECTRICA Y REDES ETHERNET Y SU APLICACIÓN EN EL CONTEXTO GUATEMALTECO"**, y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo.

Al agradecer su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atentamente,


Ing. Carlos Alfredo Azurdia
Coordinador de Privados
y Revisión de Trabajos de Graduación



E
S
C
U
E
L
A
D
E
C
I
E
N
C
I
A
S
Y
S
I
S
T
E
M
A
S

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS
TEL: 24767644

El Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor con el visto bueno del revisor y del Licenciado en Letras, de trabajo de graduación titulado "ANÁLISIS COMPARATIVO DE REDES DE DATOS POR CABLEADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDES ETHERNET Y SU APLICACIÓN EN EL CONTEXTO GUATEMALTECO", presentado por el estudiante GEOFRY HEBERTH CORNEJO COTÍ, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Marlon Antonio Pérez Turk
Director, Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas



Guatemala, 28 de julio 2010



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE REDES DE DATOS POR CABLEADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDES ETHERNET Y SU APLICACIÓN EN EL CONTEXTO GUATEMALTECO**, presentado por el estudiante universitario **Geofry Heberth Cornejo Cotí**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympe Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, agosto de 2010

/gdech

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por otorgarme la vida, la sabiduría y la iluminación para culminar la carrera.
- Mis padres** **Mariano Cornejo Sam y Fluvia Cotí Poz**, por su apoyo, su comprensión, sus consejos, y la motivación que inculcaron para que hoy alcanzara este triunfo, pero sobre todo por todo su amor incondicional que ha formado la persona que ahora soy.
- Mis hermanos** Frisly, Eddy y Edwin por su invaluable ayuda a lo largo de mis estudios y vida.
- Mi asesor** Por sus magníficos consejos tanto académicos como profesionales.
- Mi revisor** Por su incondicional apoyo y oportuna colaboración.
- Mis amigos** Quienes me acompañaron durante mi travesía en las aulas de esta grandiosa Universidad donde compartimos sin número de experiencias que me acompañarán por el resto de mis días. Especial agradecimiento a David, Herlyn y Pablo quienes nunca dudaron en brindarme su mano fraternal.

ÍNDICE GENERAL

GLOSARIO	VII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. REDES DE DATOS	1
1.1 Tipos de redes	1
1.1.1 Por su cobertura.....	2
1.1.2 Por método de la conexión.....	3
1.1.3 Por topología de red.....	3
1.1.4 Por la direccionalidad de los datos.....	4
1.1.5 Por su administración.....	4
1.2 Funcionamiento de una red de datos.....	5
1.3 Protocolos	7
1.4 Los servicios	8
1.5 Los siete niveles del modelo OSI	8
1.1.6 Nivel físico.....	8
1.1.7 Nivel de enlace.....	9
1.1.8 Nivel de red	10
1.1.9 Nivel de transporte	12
1.1.10 Niveles de sesión, presentación y aplicación	13
1.6 Cableado estructurado.....	13
1.7 Ethernet	16
1.8 Tipos de medios físicos en Ethernet	16

2. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN MEDIANTE LÍNEAS DE ENERGÍA Y SU FUNCIONAMIENTO	19
2.1 Que es el PLC	19
2.2 Evolución de la tecnología PLC	21
2.3 Funcionamiento de las líneas eléctricas	25
2.4 Arquitectura de redes PLC	26
2.4.1 Descripción de nodo	27
2.4.2 HE (<i>Head End</i> o Estación Central)	30
2.4.3 Repetidores de división de tiempo “TDR”	30
2.4.4 Equipo local del cliente	31
2.5 Capa de acceso al medio	32
2.6 QoS: calidad del servicio	33
2.7 Seguridad	34
2.8 Modelo de referencia de red	34
2.9 Integración con otras tecnologías	37
2.10 Estándares de PLC	38
2.10.1 <i>HomePlug</i>	39
2.10.2 IEEE P1901	41
2.10.3 CEPCA	43
2.10.4 X10	43
3. COMPARACIÓN DE REDES UTILIZANDO EL CABLEADO ELÉCTRICO Y REDES POR OTROS MEDIOS DE CONEXIÓN.....	45
3.1 Ventajas tecnologías PLC	45
3.1.1 Infraestructura existente	45
3.1.2 Fácil despliegue	46
3.1.3 Ubicuidad	46
3.1.4 Tiempo de instalación	46
3.1.5 Ancho de banda	47

3.1.6	Infraestructura recuperable	47
3.1.7	Costo.....	47
3.1.8	Impacto ambiental.....	48
3.1.9	Tecnología madura	48
3.1.10	Fácil integración con otras tecnologías	49
3.1.11	Nuevos modelos de negocios, servicios y aplicaciones.....	50
3.1.12	Impacto social	50
3.1.13	Seguridad.....	51
3.1.14	Avances contra la interferencia en señales de radio.....	51
3.2	Desventajas tecnologías PLC	51
3.2.1	Ruido.....	52
3.2.2	Mal estado de la infraestructura eléctrica.....	52
3.2.3	Rendimiento	53
3.3	Aplicaciones de la tecnología PLC.....	53
3.3.1	Usos en el hogar	54
3.3.2	Lectura de consumos de energía, agua y gas	55
3.3.3	Sistemas de seguridad.....	56
3.3.4	Como tecnología de acceso.....	56
3.3.5	Sistema de control de iluminación.....	61
3.3.6	PLC en conjuntos habitacionales	62
3.3.7	PLC en edificios de oficinas o departamentos	63
4. IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE DATOS BASADO EN		
CABLEADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA CENTRAL		
HIDROELÉCTRICA POZA VERDE..... 65		
4.1	Situación de la Central Hidroeléctrica Poza Verde.....	65
4.2	Alcance de la red	69
4.3	Condiciones actuales	70
4.4	Requerimientos de la red	72

4.5	Estándares y normas	73
4.5.1	Estándares y normas de Ethernet y cableado estructurado	73
4.5.2	Instituciones involucradas en las tecnologías PLC	75
4.6	Diseño de la red utilizando tecnologías PLC	77
4.6.1	Conexión de la LAN PLC a internet y otros servicios	81
4.6.2	Dispositivos PLC por utilizar	82
4.6.3	Mantenimiento	84
4.6.4	Costo de la red utilizando tecnologías PLC versus Ethernet .	85
5.	CONCLUSIONES	89
6.	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Las siete capas del modelo OSI.....	6
2. Comunicación entre protocolos	7
3. Frecuencias utilizadas por líneas de energía eléctrica	26
4. Estructura de árbol de redes PLC	27
5. Celdas PLC y distribución de la energía eléctrica	29
6. Distintos modelos de CPE PLC	31
7. Modelo de referencia de red.....	35
8. PLC con complemento inalámbrico	37
9. WiMAX Estación base (BS) - Estación suscriptora (SS) y PLC en edificio.....	38
10. Coexistencia entre tecnologías LAN Ethernet, WLAN y PLC	49
11. Usos en el hogar de tecnologías PLC	54
12. Sistemas para lectura remota de medidores o contadores con tecnologías PLC.....	55
13. Sistemas de seguridad con tecnologías PLC	56
14. Tecnología PLC como tecnología de acceso	57
15. Cobertura versus tasa de bits analizado para tecnologías de acceso.....	60
16. Sistemas de control de iluminación con tecnologías PLC	62
17. PLC en conjuntos habitacionales	63
18. Tecnologías PLC en edificios	64

19. Especificación de uno de los tres generadores de Central Hidroeléctrica Poza Verde	67
20. Vista general de Central Hidroeléctrica Poza Verde	68
21. Planta general Central Hidroeléctrica Poza Verde	70
22. Planta edificio principal Central Hidroeléctrica Poza Verde.....	71
23. Servicios de red requeridos.....	72
24. Salidas de red requeridas para Central Hidroeléctrica Poza Verde ..	78
25. Diagrama de la solución con tecnología PLC para Central Hidroeléctrica Poza Verde	80
26. Conexión de la LAN PLC a Internet y otros servicios.....	81
27. Proceso de gestión de incidentes	84

TABLAS

I. Resumen de normas y estándares para la tecnología PLC a nivel europeo y americano.....	44
II. Comparación global entre tecnologías de acceso por líneas fijas e inalámbricas.....	58
III. Presupuesto de red LAN utilizando tecnología PLC.....	85
IV. Presupuesto de red LAN utilizando cableado con UTP.....	87

GLOSARIO

AAA	Autenticación, Autorización y Traceabilidad (<i>Accounting</i>), protocolo de seguridad en redes IP.
AES (<i>Advanced Encryption Standard</i>)	Es conocido también como Rijndael, es un esquema de cifrado por bloques. Se espera que sea adoptado en todo el mundo como fue anteriormente su predecesor DES (<i>Data Encryption Standard</i>).
Alta tensión eléctrica	Se considera instalación de alta tensión eléctrica aquella que genere, transporte, transforme, distribuya o utilice energía eléctrica con tensiones superiores a los siguientes límites
Baja tensión eléctrica	Se considera instalación de baja tensión eléctrica aquella que distribuya o genere energía eléctrica para consumo propio y a las receptoras en los siguientes límites de tensiones nominales
<i>Broadcast</i> (Difusión)	Se basa en un único proceso de envío, independientemente del número de potenciales máquinas receptoras, de una misma información en una o más unidades de datos (datagramas IP) desde un origen a todas las máquinas de una red de

área local.

CAC (*Connection Admission Control*)

Es un conjunto de medidas adoptadas por la red para mantener un equilibrio entre los requisitos de calidad de las nuevas conexiones y la utilización de la red actual si afectar a la calidad de servicio de las conexiones ya establecidas.

Calidad de Servicio (QoS)

De sus siglas en ingles *Quality of Service*. La calidad de servicio en una red se refiere a la capacidad del proveedor para soportar los requerimientos de las aplicaciones con respecto a por lo menos cuatro categorías de servicio: Ancho de banda, Retardo, Variación del retardo, Pérdida de paquetes. Esto incluye también el tratamiento que se le da a cada paquete de un flujo en los nodos, para que cumplan una serie de políticas específicas para cada flujo.

CBC (*Cipher-block chaining*)

Es un modo de operación de una unidad de cifrado por bloques. TR - *Counter Mode*.

CLPDU (*Convergence Layer Protocol Data Unit*)

Unidad de datos de protocolo de la capa de convergencia.

CTR (*Counter*)

Es un modo de operación de una unidad de cifrado por bloques. Mientras que ECB y CBC son modos

basados en bloques, CTR simula un cifrado de flujo.

Es decir, se usa un cifrado de bloque para producir un flujo pseudo aleatorio conocido como *keystream*. Este flujo se combina con el texto plano mediante XOR dando lugar al cifrado.

DWDM (*Dense wavelength Division Multiplexing*)

En la multiplexación por división en longitudes de onda densas, varias señales portadoras se transmiten por una única fibra óptica utilizando distintas longitudes de onda de un haz laser cada una de ellas. Con ella se puede multiplicar en ancho de banda así como facilitar comunicación bidireccional.

FEC (*Forward Error Correction*)

Es un tipo de mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original.

FMN (*Flow Master Nodo*)

El nodo maestro de flujo es el nodo que garantiza el QoS de un cierto tráfico de flujo. El QC será siempre el FMN de la más alta clase de servicio de una celda BPL.

Head End (HE)

En español Estación Central es un dispositivo de control central requerido por algunas redes (por ejemplo MANs o LANs) para proveer funciones centralizadas.

IEEE 802.1X	La IEEE 802.1X es una norma del IEEE para el control de admisión de red basada en puertos. Es parte del grupo de protocolos IEEE 802 (IEEE 802.1). Permite la autenticación de dispositivos conectados a un puerto LAN, estableciendo una conexión punto a punto o previniendo el acceso por ese puerto si la autenticación falla.
IEEE P1901	Es el estándar de la IEEE para banda ancha sobre cableado de energía eléctrica el cual define las especificaciones la capa de acceso al medio y la capa física. Actualmente se encuentra aun como borrador.
Media tensión Eléctrica	En los círculos profesionales se emplea el término “Media tensión eléctrica” para referirse a instalaciones con tensiones entre 1 y 36 kV (kilovoltios). Dichas instalaciones son frecuentes en líneas de distribución que finalizan en Centros de Transformación, en donde, normalmente, se reduce la tensión hasta los 420 voltios.
Mercado Mayorista – MM –	Es el conjunto de actividades de Generación, Transporte, Distribución y Comercialización de

Energía Eléctrica dentro del Sector Eléctrico del país.

El Administrador del Mercado Mayorista – AMM – es el ente encargado de administrar el MM y tiene como funciones primordiales el garantizar la seguridad y abastecimiento de energía eléctrica, a través de mecanismos de operación técnica y comercial.

MIB

La Base de Información Gestionada (*Management Information Base*) es un tipo de base de datos que contiene información jerárquica, estructurada en forma de árbol, de todos los dispositivos gestionados en una red de comunicaciones.

**Multidifusión
(Multicast)**

Se basa en un único proceso de envío, independientemente del número de potenciales máquinas receptoras, de una misma información en una o más unidades de datos (datagramas IP) desde una máquina origen a todas las máquinas destinatarias que posean al menos un miembro de un determinado grupo de multidifusión y que, además, compartan una misma dirección de multidifusión; y, posiblemente, dispersas geográficamente en múltiples redes por Internet.

Overhead

Se refiere a los bytes agregados como cabeceras

(*headers*) para el manejo de los protocolos en las redes informáticas.

PDA

Son las iniciales en inglés de *Personal Digital Assistant* o “Ayudante Personal Digital”. Estos dispositivos son una computadora de mano, originalmente diseñados como agenda electrónica y que en la actualidad tienen prácticamente las mismas funcionalidades que una computadora personal de oficina u hogar, es decir que con ellos se pueden ver películas, crear documentos, hacer cálculos, escuchar música, navegar por Internet, etc.

PDU de control

Sirven para gobernar el comportamiento completo del protocolo en sus funciones de establecimiento y ruptura de la conexión, control de flujo, control de errores, etc. No contienen información alguna proveniente del nivel N+1.

PDU de datos

Contiene los datos del usuario final o la PDU del nivel inmediatamente superior.

**PDU
(Protocol Data Units)**

Unidades de datos de protocolo. Se utiliza para el intercambio entre unidades parejas, dentro una capa del modelo OSI. Existen dos clases de PDUs, PDU de datos y PDU de control.

QC (QoS Controller)	QC es el nodo que distribuye el acceso al canal entre todos los nodos presentes en una celda PLC, compartiendo el mismo NID (Identificador del próximo nodo) o no. Este puede ser definido como el maestro de una celda PLC. Cualquier nodo puede llegar a ser un QC. El QC no puede fijarse por el usuario y es definitivo para los nodos.
RADIUS	Acrónimo en inglés de <i>Remote Authentication Dial-In User Server</i> . Es un protocolo de autenticación y autorización para aplicaciones de acceso a la red o movilidad IP. Utiliza el puerto 1813 UDP para establecer sus conexiones.
Red telefónica pública conmutada (PSTN)	En inglés <i>public switched telephone network</i>
UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, controla los puertos y dispositivos serie. Existe un UART en cada puerto serie. Principalmente se encarga de manejar las interrupciones de dispositivos conectados al puerto serial y de convertir los datos

en formato paralelo transmitidos al bus de sistema, a datos en formato serie, para que puedan ser transmitidos a través de los puertos y viceversa.

Última Milla

La última milla en telecomunicaciones se refiere a la conexión entre el usuario final y la estación local/central esta puede ser alambica o inalámbrica, se conecta individualmente a los usuarios con la red de conmutación, es una red que puede ser más sencilla en cuanto a que necesita menor capacidad de ancho de banda por nodo.

Unidifusión (*Unicast*)

Se basa en un proceso de envío de una información en una o más unidades de datos (datagramas IP) desde una máquina origen a una única máquina destinataria o receptor final. Por tanto, es una transmisión punto a punto con cada destinatario. Si se desea enviar la misma información y hay “n” destinatarios, habrá “n” comunicaciones “punto a punto” independientes o “n” copias de la misma información enviadas desde la máquina origen.

VBR, (*Variable Bit Rate*)

Velocidad binaria variable. La velocidad binaria (*Bit Rate*) también llamada cadencia, tasa o flujo de bits; define el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de

transmisión digital o entre dos dispositivos digitales.

**WDM (*Wavelength
Division Multiplexing*)**

Multiplexación por división de longitud de onda es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda.

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un estudio sobre las redes de datos por cableado de energía eléctrica, tecnología más conocida por sus siglas en inglés PLC (*Power Line Communications*). Este estudio se hace principalmente comparando estas redes con las redes que utilizan tecnologías Ethernet.

En el capítulo uno, se hace una definición completa de las redes de datos y conceptos relacionados, necesarios para comprender los siguientes capítulos. En este capítulo también se define las tecnologías Ethernet.

En el capítulo dos, se presentan por primera vez las tecnologías de comunicación mediante líneas de energía eléctrica, en este apartado encontramos desde la definición de estas tecnologías, así como su historia y funcionamiento actual.

Después de definir y tener entendimiento de las tecnologías expuestas en los capítulos uno y dos, en el capítulo tres, se presenta ya un análisis comparativo entre las tecnologías de comunicación mediante líneas de energía

eléctrica y las tecnologías de redes por otros medios de comunicación, haciendo principal énfasis en las tecnologías Ethernet. En este capítulo además, se muestra una variedad de aplicaciones donde las tecnologías PLC muestran mayores ventajas.

Por último en el capítulo cuatro, se presenta una solución utilizando tecnologías PLC para la red de datos de la Central Hidroeléctrica Poza Verde, comparando esta solución con una solución utilizando tecnologías Ethernet.

OBJETIVOS

- **General**

Establecer en qué escenarios en Guatemala las redes de datos por cableado de energía eléctrica son preferibles ante las tecnologías Ethernet.

- **Específicos**

1. Investigar y documentar las tecnologías Ethernet.
2. Investigar y documentar las tecnologías de comunicaciones mediante líneas de energía eléctrica.
3. Investigar y documentar proyectos realizados en el mundo, utilizando tecnologías de comunicaciones mediante líneas de energía.
4. Establecer el nivel de desarrollo en el que se encuentran las tecnologías de comunicación mediante línea de energía para implementar redes de datos.
5. Documentar la arquitectura de las redes de datos utilizando tecnologías de comunicación mediante líneas de energía eléctrica.
6. Establecer las ventajas y desventajas de utilizar tecnologías de comunicación mediante líneas de energía frente a tecnologías Ethernet.
7. Establecer en qué tipos de proyectos en Guatemala es conveniente utilizar redes de datos, utilizando cableado de energía eléctrica.
8. Establecer soluciones utilizando las tecnologías de comunicación mediante líneas de energía a problemas específicos en Guatemala.

9. Redactar un informe o memoria final.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de comunicación mediante líneas de energía eléctrica no son tecnologías nuevas, sin embargo, su uso aún no está difundido totalmente por diversos factores. Especialmente, en Guatemala su uso es muy poco común, lo cual puede apreciarse fácilmente en el hecho que no existe gran oferta de dispositivos de esta tecnología a nivel local.

Uno de los principales factores por lo que esta tecnología no ha sido difundida es que hasta hace poco estas tecnologías no eran viables. Sin embargo, en la actualidad éstas se presentan con una alternativa que se debe considerar detenidamente, principalmente por la cobertura de las redes eléctricas, tanto a lo largo de grandes ciudades como en los hogares y empresas, lo cual constituye un ahorro en cableado. Por tal motivo, grandes empresas en el mundo se están empezando a aventurar en el mundo de las tecnologías de comunicación mediante líneas de energía o PLC por sus siglas en inglés *Power Line Communications*.

A lo largo de este informe se estudiarán las tecnologías PLC sentando primero las bases para poder comprender el funcionamiento básico de las tecnologías mencionadas, para posteriormente poder analizar las soluciones en las que estas tecnologías presentan ventajas sobre otras soluciones.

En el capítulo final, se presenta la red realizada en la Central Hidroeléctrica Poza Verde utilizando tecnologías PLC y se hace especial

énfasis en la diferencia de costos de realizar la red utilizando tecnologías PLC en lugar de realizarla utilizando el tradicional cableado estructurado

1. REDES DE DATOS

Una red de datos es un sistema que enlaza dos o más puntos (terminales) por un medio físico, el cual sirve para enviar o recibir un determinado flujo de información. Estas terminales pueden ser tanto como computadoras, impresoras o cualquier otro dispositivo, además, la comunicación se puede hacer a través de diversas tecnologías y la elección de cuál usar dependerá tanto de factores económicos como de rendimiento.

Además, se debe recordar que en sí el objetivo de una red de datos consiste en facilitar la consecución de un incremento de la productividad vinculando todas las computadoras y redes de computadoras de manera que los usuarios pueden tener acceso a la información con independencia del tiempo, ubicación y tipo de equipo informático.

Por lo anterior, antes de decidir qué tecnologías usar, se debe conocer qué opciones se tiene y también se debe tener una noción básica del funcionamiento de estas tecnologías.

1.1 Tipos de redes

Las redes pueden clasificarse por diferentes criterios, a continuación se encuentran las principales clasificaciones.¹

¹ Definiciones principalmente obtenidas de Wikipedia.

1.1.1 Por su cobertura

Red de área personal (PAN): una red de área personal o PAN por sus siglas en inglés (*Personal Area Network*) es una red usada para la comunicación entre los dispositivos de la computadora que se encuentren cerca de una persona, estos dispositivos son por ejemplo teléfonos o ayudantes digitales personales más comúnmente llamados simplemente PDA (*Personal Digital Assistant*). En general, una PAN tiene como alcance solamente unos metros. Cabe mencionar que los dispositivos de una PAN pueden o no pertenecer a la persona a la que se encuentran cercanos.

Red de área local (LAN): una red de área local más conocida como LAN por sus siglas en inglés *Local Area Network*, es una red que por lo general se limitan a un área relativamente pequeña, por ejemplo un salón, un edificio, una casa, etc.

Red de área de campus (CAN): es una red que conecta dos o más redes de área local en un área geográfica privada específica, tal como una base militar o una universidad o complejo. Esta es generalmente más pequeña que una red de área metropolitana.

Red de área metropolitana (MAN): una red MAN (*metropolitan area network*) es una red que conecta dos o más redes de área local y que no se extiende más allá de los límites de la ciudad, éstas por lo general son redes de alta velocidad.

Red de área amplia (WAN): una red WAN (*Wide Area Network*) es una red capaz de cubrir distancias extensas tan grandes como para dar servicio a un país o a un continente, el ejemplo más conocido de estas redes es internet.

Las WAN son creadas por proveedores de Internet para proveer de conexión a sus clientes o también por cualquier organización o empresa particular, sin embargo, éstas se han reducido últimamente debido a que Internet ya proporciona WAN de alta velocidad.

1.1.2 Por método de la conexión

Medios guiados: cable coaxial, cable de par trenzado, fibra óptica, cables de energía eléctrica y otros cables.

Medios no guiados: radio, infrarrojos, microondas, láser y otras redes inalámbricas.

Cabe mencionar que no necesariamente estos dos métodos de conexión son excluyentes, más bien son complementarios y en una red se tendrá por lo general partes con medios guiados y otras partes con medios no guiados. Las tecnologías relacionadas con estos métodos de conexión se estudiarán con mayor detalle a lo largo de este estudio.

1.1.3 Por topología de red

Por su topología las redes las podemos clasificar en:

- Red de bus
- Red de estrella
- Red de anillo (o doble anillo)
- Red en malla (o totalmente conexa)
- Red en árbol
- Red mixta (cualquier combinación de las anteriores)

1.1.4 Por la direccionalidad de los datos

Unidireccionales: estas son en las cuales un equipo terminal de datos transmite y otro recibe.

Bidireccionales (Half-Duplex): sólo un equipo transmite a la vez.

Bidireccionales (Full-Duplex): ambos pueden transmitir y recibir a la vez una misma información. Ejemplo de esto son las video-conferencias.

1.1.5 Por su administración

Por su administración se encuentran las redes privadas y las redes públicas. Las redes privadas son aquellas que sólo algunas personas pueden usar y son configuradas con este fin, por otra parte, a una red pública puede acceder cualquier persona.

1.2 Funcionamiento de una red de datos

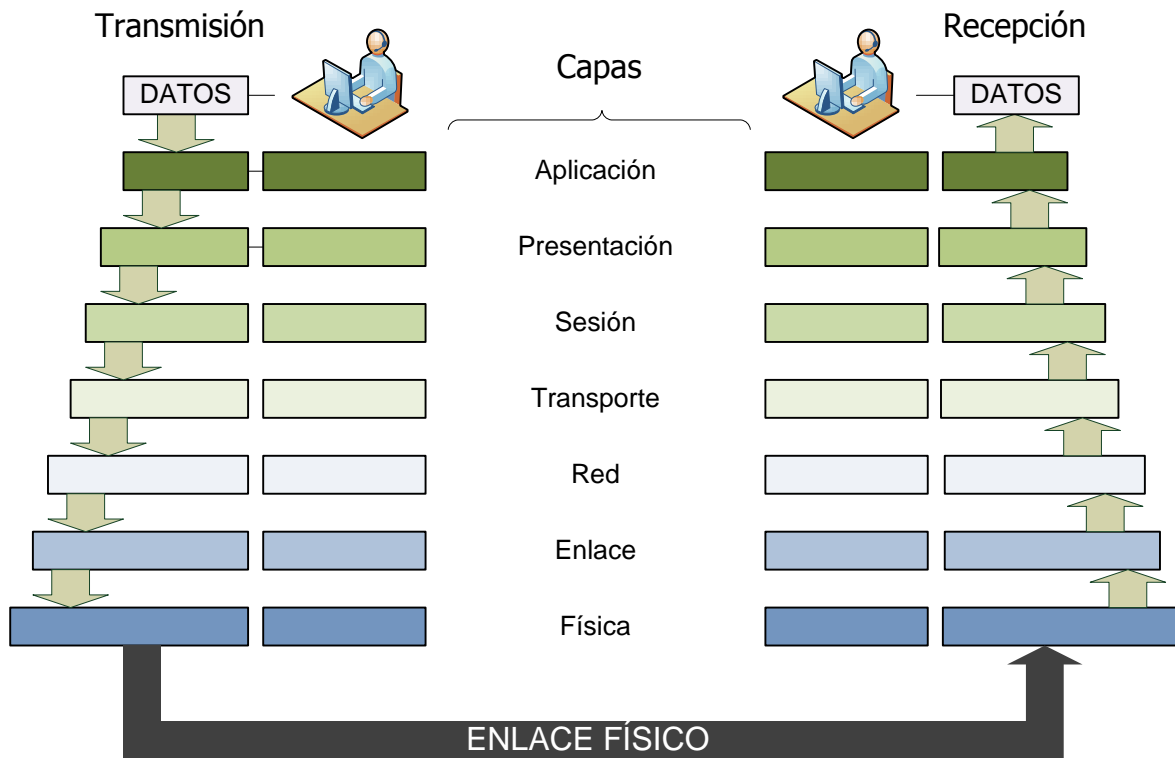
Para hacer el análisis de redes de datos utilizando cableado de energía eléctrica, se debe conocer el funcionamiento básico de las redes, para esto se utilizará el modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos OSI (*Open System Interconnection*).

El Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico y la Organización Internacional para la Estandarización, propusieron la pila de protocolos OSI, en dicho momento existían diversas arquitecturas de protocolos. Así del modelo OSI se esperaba fuera un modelo base, al cual pudieran hacer referencia los desarrollos y permitiera una estandarización, y así permitir que sistemas heterogéneos pudieran comunicarse.

No obstante que la pila de protocolos OSI no haya tenido el éxito esperado y ser utilizado totalmente, este modelo se puede utilizar para explicar el funcionamiento de las redes.

Debido a que el modelo OSI es muy completo lo hace perfecto para la explicación de conceptos básicos de redes, además de esto las arquitecturas utilizadas en redes se pueden explicar haciendo correlación entre sus capas y las capas del modelo OSI. Por ello, en este apartado se explica los siete niveles de la pila de protocolos OSI.

Figura 1. Las siete capas del modelo OSI.



Los niveles de la pila de protocolos OSI se comunican en dos direcciones:

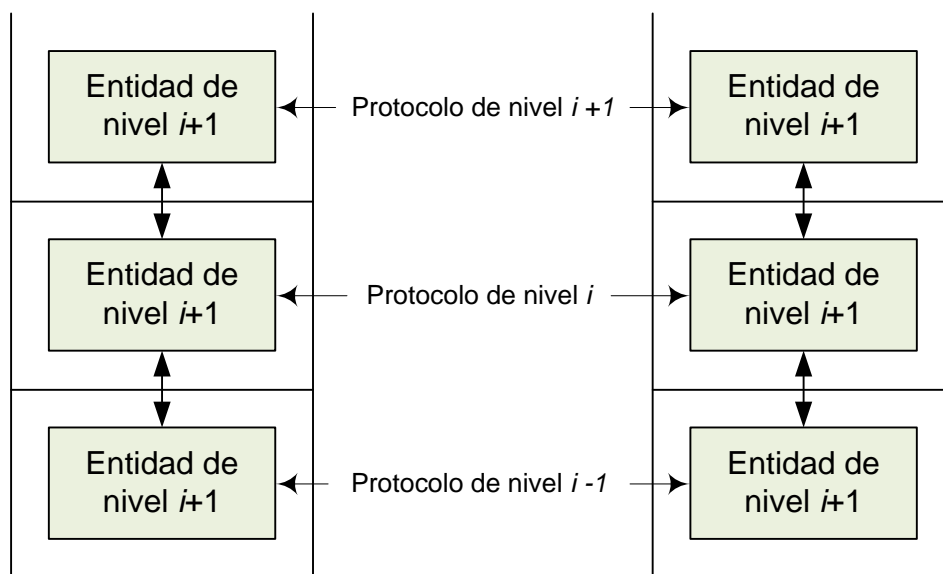
- Horizontal. La comunicación horizontal sólo se da entre niveles homónimos. Se podría pensar que todo el nivel constituye un único sistema distribuido que tiene un representante en cada uno de los equipos. Un protocolo de nivel i (en el que i es el identificador del nivel correspondiente) especifica el formato, el significado y la temporización de la información que circula entre los miembros de este sistema distribuido.

- Vertical. La comunicación vertical sólo se da entre niveles adyacentes de un mismo sistema. Este tipo de comunicación posee un carácter totalmente local; es decir, puede materializarse por mecanismos de *software* (llamadas a librerías, comunicación entre procesos, etc.). De manera genérica, se denominarán estos mecanismos servicio de nivel i (en el que i es el identificador del nivel que proporciona el servicio, $i + 1$, el nivel que lo utiliza).

1.3 Protocolos

El objetivo de los protocolos es la comunicación recíproca de entidades situadas en diferentes ordenadores o dispositivos. Por entidad se entenderá un sistema informático y/o electrónico, que se encuentre dentro de una capa del modelo OSI, así en unión con las otras entidades del mismo nivel situadas en otros sistemas, forma un todo (un sistema distribuido).

Figura 2. **Comunicación entre protocolos**



En un número, el número de protocolos es igual al número de niveles en el sistema. Los sistemas con los que pueda tener comunicación deben estar estructurados con los mismos estándares en cada nivel.

1.4 Los servicios

Por servicio se entiende en este contexto como la comunicación existente entre un mismo ordenador o dispositivo, por lo cual también, dentro de un único ámbito de responsabilidad.

Los servicios no son tan rígidos como los protocolos, cada sistema puede implementarlos de la mejor manera que se decida.

1.5 Los siete niveles del modelo OSI

1.1.6 Nivel físico

Esta capa es la encargada de la transmisión de las señales eléctricas, electromagnéticas o de cualquier otro tipo.

La capa física es la que impone las restricciones al funcionamiento del sistema, así por ejemplo, la capa física es la que limita la velocidad de transmisión del sistema, cabe mencionar que esta velocidad por lo general, es medida en bits por segundo, otra restricción que impone la capa física es la probabilidad de que aparezcan errores.

La limitación de velocidad mencionada anteriormente es determinante, ya que un medio de transmisión cualquiera impone un límite de transmisión no superable. Se pueden hacer muchas cosas para mejorar la transmisión, sin embargo, el límite físico es insalvable. Esta limitación es la que fijará el ancho de banda posible para cada tecnología de transmisión.

1.1.7 Nivel de enlace

Es en este nivel de OSI donde se encuentran los primeros componentes de *software*, esto incluye además, algoritmos y protocolos.

El objetivo del nivel de enlace es proporcionar fiabilidad a la transmisión realizada por la capa física, esto por lo general, se concibe con cotas de error menores al 1%. Para cumplir su objetivo, la capa de enlace agrega al mensaje esto lo hace para poder detectar errores, si estos errores son detectados se solicitará la retransmisión de estos.

La capa de enlace estructura los bits, agrupándolos en bloques, estos bloques son comúnmente llamados “tramas”. En concreto, la trama contiene los bits del mensaje junto con los bits que se han agregado para detectar los errores y bits de control (por ejemplo el número de trama).

La capa de enlace realiza una comparación entre los bits agregados al mensaje y los bits que calcula, para hacer esto debe ser conocida la operación a aplicar para calcular los bits adicionales, tanto por el receptor como por el transmisor. Si los bits comparados no concuerdan, entonces el bloque se tomará como erróneo y se pedirá su retransmisión.

A la operación de comparar los bits redundantes agregados por el transmisor y los bits calculados por el receptor se le denomina “detección de errores”. Y al proceso que le sigue para la corrección si es que hubiera errores, se le denomina “control de errores”.

Otra función realizada por esta capa es el “control de flujo”. Esta función es la encargada de administrar las tramas mientras estas son recibidas. Si dado el caso, el receptor necesita más tiempo para realizar esta función que el tiempo que le toma al transmisor enviar tramas, entonces debe haber un método para que el receptor solicite tiempo al emisor y que éste detenga momentáneamente la transmisión.

El nivel de enlace controla diferentes tipos de transmisiones, desde transmisiones punto a punto, así como también transmisiones por líneas compartidas, así como lo son las transmisiones de redes de área local.

1.1.8 Nivel de red

Este nivel es el que hace posible que pueda haber varios ordenadores o dispositivos involucrados en la comunicación. Se recordará que lo único que hace el nivel de enlace es hacer que los bits lleguen sin errores de un lado a otro, con esto solo podríamos conectar dos máquinas, así se necesita un nivel superior que realice este manejo. En primera instancia, para poder realizar esto, se necesita identificar cada ordenador o dispositivo que esté involucrado en la comunicación, esta tarea se realiza por la capa de red.

Si bien el modelo OSI ya tiene mucho tiempo también, desde hace mucho se había identificado que las redes son más eficientes si se manejan con conmutación de paquetes, pues usan menos recursos, coste y además pueden mantener conexiones simultáneas. Por este motivo, el modelo OSI habla específicamente de redes que utilizan conmutación de paquetes.

Arriba se mencionó que el nivel de red es el encargado de identificar a las máquinas involucradas en la comunicación, así también este nivel distingue entre estaciones terminales y nodos de conmutación.

Nodos de conmutación hacen posible que los diferentes paquetes sean enviados de alguna estación terminal a otra, para poder realizarlo estos nodos tienen enlaces ya sea a otros nodos de conmutación o a terminales.

Existen dos tipos de redes de conmutación de paquetes:

- Redes que funcionan en *modo datagrama*. Ésta es considerada la red básica, ya que incluye la funcionalidad mínima tanto para nodos de conmutación como para terminales para que éstas puedan transmitir entre ellas. No obstante estas redes tienen un problema importante, el cual es que en estas redes es difícil garantizar la entrega correcta y total de la información, esto es debido a que en este modo la capa de red no mantiene vínculos entre los paquetes que integran la transmisión, lo cual conlleva a que los diferentes paquetes pueden llegar duplicados, fuera de orden o incluso pueden no llegar. En este modo, la capa de red deja la responsabilidad al receptor para que intente restaurar los posibles errores o daños que haya sufrido el paquete durante todo su trayecto.

- Redes que funcionan en “modo circuito virtual”. Estas redes se construyeron para tratar de evitar el problema de las redes de modo datagrama y por lo cual en este modo ya pueden garantizar la correcta y total recepción de los paquetes, además, este modo agrega al modelo el concepto de conmutación de circuitos. El circuito virtual hace posible agrupar paquetes relacionados para que el receptor pueda recibirlos en el orden y sin duplicación o pérdida.

Entre los conceptos básicos que se tienen que tomar en cuenta en la capa de red es la asignación de direcciones. Esta asignación de direcciones es lo que hace posible que el sistema sea un sistema distribuido y que pueda encontrar cuál de todos los nodos o terminales es el destinatario final del paquete.

Es tarea de la capa de red encontrar el destino del paquete, este direccionamiento lo debe realizar tomando en cuenta la optimización de recurso, minimizando el tiempo de tránsito y también minimizando el trayecto.

1.1.9 Nivel de transporte

Este nivel es el encargado de hacer una conexión fiable ya sea que en la capa de red haya sido en modo datagrama o en modo circuito virtual. Aun cuando es la encargada de hacer la conexión fiable en redes de modo datagrama, o en modo circuito virtual es en modo datagrama donde tiene más importancia, puesto que es el encargado de controlar posibles deficiencias de las transmisiones.

El objetivo principal de esta capa es garantizar la calidad de la transmisión entre las terminales de la red, para realizar esto, la capa de red debe poder recuperar errores, ordenar la información transmitida, ajustar la velocidad a la cual se transmite, etc.

1.1.10 Niveles de sesión, presentación y aplicación

Debido a que en la práctica no es común que existan sistemas con estas tres capas diferenciadas, es decir que tengan sus propios protocolos para cada capa, entonces estas tres capas se pueden explicar de manera conjunta.

Aunado a esto en la arquitectura TCP/IP las funciones que según el modelo OSI tienen las capas de sesión y presentación (capas independientes y con atribuciones propias) son atribuidas a la capa de aplicación.

En el modelo OSI la capa de presentación es la encargada de hacer que las diferentes plataformas, ya sean sistemas operativos o procesadores se entiendan. Esto se logra definiendo una manera universal de codificar la información, esta codificación debe realizarse tomando en cuenta varios aspectos, como lo son la eficiencia, confidencialidad, etc. El nivel de aplicación es la capa final y por lo cual aquí se encuentran las aplicaciones de *software*.

1.6 Cableado estructurado

En esta sección se explica qué es el cableado estructurado debido a que se hará referencia a éste a lo largo de los siguientes capítulos, especialmente será de vital importancia al diseñar y hacer comparaciones entre diferentes tipos de red.

En cableado estructurado por lo general, se hacen llegar dos líneas a cada salida, una para el teléfono y otra para la red de datos, no obstante con el creciente uso de la telefonía IP, en la actualidad es común ver dos puntos de red sin distinción entre ellos y de igual forma uno está destinado a telefonía y otro a red de datos. Estos cables son concentrados en una habitación donde son direccionados por diferentes dispositivos.

En 1991 se publicó el EIA/TIA 568 sobre cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales. El propósito de dicho estándar es:

- Ser universal, esto aplicable tanto para fabricantes como para servicios .
- Servir como base para otros estándares de comunicaciones (voz, imagen, LAN, WAN).
- Concebir el cableado de red como otro servicio más del edificio, así como lo son los servicios de energía eléctrica, agua, gas y demás, esto con parámetros incluso antes de que el edificio sea ocupado.

En este estándar se puede encontrar la especificación para armarios, cables, conectores, así como las señales a usar.

Por norma general, se realiza un cableado a dos niveles:

- Cableado horizontal: en cada planta (si es preciso cablear varias) se ponen cables desde un armario hasta los puntos terminales.
- Cableado vertical: desde cada armario de planta se ponen cables hasta una habitación del edificio donde se encuentran los dispositivos de red, los enrutadores hacia el exterior, la centralita telefónica, etc.

En cada nivel del edificio se debe crear un punto donde se concentren los cables que provienen de las estaciones de trabajo. Es común utilizar un dispositivo alojado en un armario de planta, el cual es el encargado de interconectar las terminales. En el caso del bus (la topología más utilizada actualmente), originalmente se utilizó el dispositivo conocido como concentrador o, en inglés, *hub*.

A pesar de que el concentrador cumplía con su función siendo un elemento central, muy pronto se llegó al desarrollo de las LAN conmutadas. Cuando el *hub* recibe una trama, éste lo reenvía al resto de estaciones para comportarse como un bus. Sin embargo, al *hub* se le agregó la capacidad de poder procesar y analizar la trama y en especial poder saber quién es el destinatario. Ya conociendo donde se encuentra el destinatario, el hub puede transmitir la trama únicamente a éste, con esto se disminuye la cantidad de tramas en la red y de esta manera aumenta la eficiencia. A los dispositivos que pueden realizar las funciones descritas se les conoce como conmutadores, aunque es más utilizado por nombre en inglés *switch*.

Para cableado estructurado refiriéndose ahora a la capa física, se utiliza en mayor medida pares de cobre trenzados, aunque también es muy común el uso de fibra óptica, la cual presenta mayores prestaciones, pero también un más alto costo que el cable de par trenzado. Para estandarizar los cables se tienen categorías de cables, cada categoría tiene requisitos y especificaciones propias para cumplir con el rendimiento esperado.

En la actualidad, los cables de par trenzado más utilizados son los de categoría 5e y categoría 6, estos cables permiten un ancho de banda igual o mayor de 100 Mbps, ancho de banda requerido para las LAN de alta velocidad, como *Fast Ethernet* y *Gigabit Ethernet*.

El utilizar la estructura con un dispositivo central es muy útil para detectar errores y para minimizar daños, ya que si falla un cable, sólo fallará una estación de trabajo y si fallan todas las estaciones, se sabrá que es el dispositivo el que falló. En cualquier situación el fallo es fácil de encontrar.

1.7 Ethernet

Ethernet define las características de los niveles físico y enlace de datos del modelo OSI.

Es común utilizar como sinónimos Ethernet e IEEE 802.3 debido a que estos sólo se diferencian por uno de los campos de las tramas de datos. Este estudio se centra principalmente en el medio físico, así que en este contexto se puede usar estos términos prácticamente como equivalentes, teniendo en cuenta la diferencia entre estos.

1.8 Tipos de medios físicos en Ethernet

Ethernet en el nivel físico ha ido evolucionando, logrando cada vez mejores prestaciones para los usuarios. A continuación, se puede observar esta evolución con los estándares más utilizados:

- **10Base2:** este medio tiene un alcance de 185 m. Utilizando repetidores se puede llegar hasta 925 m. Utiliza cable coaxial delgado, flexible y barato. En la actualidad, este no es muy utilizado y ha sido substituido por 10BaseT, sin embargo, por su popularidad anterior aún se encuentran millones de terminales interconectadas con Ethernet-10Base2. Es utilizado principalmente con topologías de bus.
- **10BaseT:** utiliza cable de par trenzado, es utilizado para cortas distancias, cada cable a su vez está formado por cuatro parejas de cables. Este cable es capaz de transmisiones a 10 Mbps. Habitualmente, los pares trenzados de qué está formado son de color naranja, verde, azul y marrón. Tiene un alcance de 100 metros al concentrador central. El alcance máximo que se puede obtener es de 500 metros encadenando cuatro concentradores. Este estándar representó mejoras al centralizar en un solo punto la gestión y la monitorización del estado de toda la LAN. Con 10BaseT, una mala conexión es más fácil de encontrar, ya que la correcta conexión puede ser verificada observando el concentrador que usualmente posee un *led* para cada puerto.
- **10BaseF:** similar a 10BaseT; sin embargo, en lugar de par trenzado, utiliza fibra óptica (generalmente, multimodo), con que se consigue un alcance mucho mayor (hasta 2 km).

- **100BaseT y 100BaseF:** poseen las similares características a 10BaseT y 10BaseF, respectivamente; sin embargo, funcionan a 100 Mbps. A causa del protocolo de control de acceso al medio CSMA/CD, el alcance se reduce mucho (100 m entre estación y concentrador, sin posibilidad de encadenar concentradores).
- **Gigabit Ethernet:** las variantes más comunes son 1000BaseT, sobre cableado de cobre categoría 5 y 6, (sin embargo es recomendado para 100BaseT utilizar cableado de cobre categoría 6) y 1000Base SX, sobre fibra. Tiene el mismo alcance que 100BaseT, 100 m.

2. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN MEDIANTE LÍNEAS DE ENERGÍA Y SU FUNCIONAMIENTO

Las tecnologías de comunicación mediante líneas de energía o comúnmente llamadas PLC por sus siglas en inglés (*Power Line Communications*), son tecnologías que brindan una alternativa viable frente a las tecnologías Ethernet y otras tecnologías, sin embargo, antes de analizar las ventajas entre estas distintas tecnologías se verá de qué tratan éstas, su surgimiento y por supuesto su funcionamiento.

2.1 Que es el PLC

Como se mencionaba anteriormente, PLC son las siglas de "*Powerline Communication*", esta tecnología puede ser encontrada también como PLT por "*Powerline Transmission*") y BPL ("*Broadband Powerline*"), teniendo estas por lo general el mismo significado, no obstante el término BPL es más utilizado para referirse al acceso a internet por medio de cables de energía eléctrica.

Power Line Communications (PLC) habilita a las redes eléctricas para el transporte de voz, datos y video por medio de transmisión de señales de radio frecuencia (RF) sobre la red eléctrica.

La tecnología PLC nació en los años cincuenta, pero hasta finales de los noventa permiten anchos de banda comerciales a costos accesibles. La comunicación bi-direccional fue desarrollada al final de los ochenta. El mayor avance desde entonces es el uso de frecuencias mayores y la reducción sustancial de la potencia de la señal.

La señal de RF es modulada y demodulada con información digital sobreponiendo una señal analógica sobre la señal estándar de 50 y 60 Hz. La señal de radio es transmitida sobre los cables de transmisión eléctrica en una banda de frecuencia muy por arriba de los 60 Hz.

Se estudiará las características de la tecnología PLC a lo largo de éste y el siguiente capítulo, sin embargo, para tener una idea rápida de esta tecnología se puede listar brevemente algunas de sus características más importantes que en la actualidad poseen.

- Soporta velocidades desde 1 a 200 Mbps. de ancho de banda.
- Es de fácil instalación e inversión mínima, utiliza las líneas de energía eléctrica existentes (Red Eléctrica).
- Su tiempo de instalación es mínimo.
- Proporciona la infraestructura que asegura la transmisión de banda ancha con altos niveles de seguridad.
- Ayuda a las compañías a lanzar negocios del PLC en los países donde la infraestructura de las telecomunicaciones no está completa.
- Puede proporcionar comunicación a áreas alejadas o rurales.

2.2 Evolución de la tecnología PLC

La idea principal detrás de PLC es la reducción del costo y erogaciones en la realización de nuevas redes de telecomunicación.

Redes de electricidad de alta o media tensión pueden ser usadas para cursar largas distancias para evitar construir una red de comunicación extra. Redes en bajo voltaje están disponibles en todo el mundo en un amplio número y pueden ser usadas para la realización de redes PLC de acceso para superar la llamada “última milla”. La tecnología PLC puede ser también aplicada dentro de edificios o casas, donde una instalación eléctrica interna es usada para la realización de redes.

La aplicación del cableado eléctrico para redes de telecomunicación ha sido conocida desde el inicio del siglo veinte. El primer sistema de transportador de frecuencias (CFS), fue operado en redes eléctricas de alto voltaje que era capaz de cubrir distancias sobre 500 km usando una señal de 10 Watts de potencia.

Reconociendo la necesidad para un método automático para compartir dispositivos periféricos en casa o en pequeñas oficinas, varios vendedores introdujeron productos de comunicación durante finales de los setentas e inicios de los ochentas, usando los cableados eléctricos existentes como un mecanismo de transporte.

Los dispositivos mencionados consistían de un conector que era conectado al puerto serial de una computadora e insertado dentro de un tomacorriente. El conector contenía un modulador de digital-a-radio frecuencia y un demulador. A través del uso de comunicación de radio frecuencia (RF), datos digitales transmitidos vía el puerto serial de la computadora, fue modulado y transmitido sobre la líneas de energía eléctrica a otro dispositivo tipo conector. El dispositivo fue conectado a impresoras o graficadoras (plotter) en la misma o diferente habitación, en efecto proveyendo una hábil red residencial sobre el cableado eléctrico.

Los productos iniciales desarrollados a finales de los años setenta y a inicios de los años ochenta habilitaron la transmisión de datos sobre líneas eléctricas de casas, sin embargo, nunca lograron un significativo grado de éxito. Las razones son variadas dependiendo del producto, pero probablemente fue resumido en dos áreas: una carencia de miniaturización, cuyo resultado más bien fue adaptadores voluminosos y la relativa lenta velocidad de datos provista por el uso de una conexión del puerto serial de la computadora.

La baja tasa de datos reflejó límites en el puerto serial de las computadoras durante los setentas y ochentas, este límite de tasa de transferencia fue en el mejor de los casos 19,200 bps durante los setentas y ya durante los ochentas fue de 115,000 bps con la alta tasa de transferencia, resultado de la introducción del Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, UART por sus siglas en inglés "*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*"

La introducción de adaptadores BPL, avances en microelectrónica y el desarrollo del puerto USB, dio como resultado un renovado interés en redes residenciales sobre los circuitos eléctricos en casas y pequeñas oficinas. Puertos USB proveen una transferencia de datos en un rango de diez a cien veces mayor que el más capaz UART. Respecto a avances en microelectrónica, en lugar de voluminosos adaptadores usados durante los setenta y ochenta, más modernos adaptadores fueron usados en casa y en pequeñas oficinas, siendo relativamente pequeños y simples de insertar en un tomacorriente estándar. La combinación de microelectrónica y la habilidad de conectar a altas velocidades el ahora estándar puerto USB en computadoras de escritorio y portátiles, resultó en varios vendedores formando el HomePlug Powerline Alliance, la cual dio como resultado su especificación para alta velocidad en redes por líneas de poder, producto que habilitó operaciones de clase Ethernet sobre el estándar de cableado de energía eléctrica.

Aunque el estándar *HomePlug* representa un importante paso para el futuro de la transmisión sobre circuitos eléctricos, redes residenciales representan una tecnología diferente de PLC, donde la existente infraestructura de red de transporte de energía eléctrica sea usada para proveer acceso a Internet de banda ancha altamente veloz para casas y negocios.

Es importante recordar que transformadores son usados para aumentar el voltaje en líneas de poder dirigidas de plantas de generación de energía. Sin embargo, también existen líneas de bajo voltaje, las cuales son dirigidas a sitios geográficas que contienen grupos de casas y oficinas. En estos sitios, adicionalmente los transformadores son utilizados para reducir el voltaje a 120 voltios.

Debido a que líneas de alto voltaje y transformadores conectados presentan diferentes condiciones de casas y oficinas, una diferente tecnología emergió para solucionar este problema asociado con el movimiento de datos sobre líneas de energía eléctrica. Aunque muchos de los principios asociados con la transmisión de datos sobre líneas de poder fuera de casa y circuitos eléctricos dentro de casa son similares, el equipo usado en líneas de energía afuera de casa difiere del equipo usado dentro de casa. Una de las más obvias diferencias concierne a la fabricación del equipo en resistencia a los elementos. Cuando es usado dentro, similar equipo no requiere de la habilidad para resistir lluvia, viento, niebla y otras condiciones del clima.

Otra diferencia obvia es respecto al mecanismo de transporte. En una casa u oficina, datos pueden ser modulados de pasar sobre un específico tipo de circuito eléctrico. En comparación, cuando datos son modulados para pasar sobre líneas de energía fuera de casa, el tipo de modulación usado podría variar basada en la habilidad del transporte.

Por ejemplo, algunas empresas eléctricas tienen instalada fibra óptica junto con sus líneas de energía de alto voltaje. Originalmente usadas exclusivamente para monitorear las líneas de poder y comunicaciones internas, estas fibras ópticas instaladas pueden ser usadas para proveer transporte de datos para clientes por incremento de la capacidad de la fibra junto con multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y multiplexación por división en longitudes de onda densas (DWDM). Porque las fibras ópticas usualmente no están disponibles en ramales eléctricos donde líneas de medio y bajo voltaje son distribuidas en dirección de clientes residenciales y comerciales, empresas eléctricas pasarán la transmisión óptica dentro de la transmisión vía modulación RF sobre sus líneas encaminadas a las casas y oficinas.

De esta manera, tecnología PLC de fuera de casas u oficinas representa múltiples métodos de modulación, mientras que internamente de casas u oficinas usa un circuito eléctrico que representa un solo método de modulación.

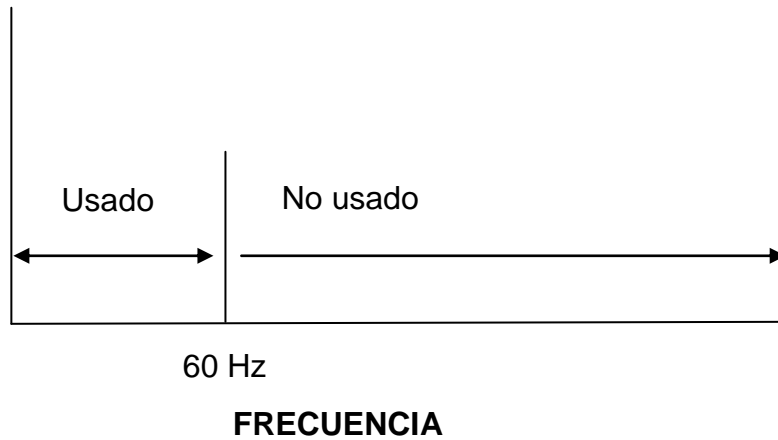
Durante los años noventa, varias compañías eléctricas europeas dirigieron pruebas involucrando la transmisión de datos sobre líneas de poder. Aunque a pesar de las pruebas iniciales produjeron resultados variados, avances en tecnología resultaron en pruebas adicionales ocurriendo durante este siglo.

Actualmente, se está realizando el estándar IEEE P1901, el cual será el estándar para la capa física y la capa control de acceso al medio. Es importante mencionar que en este estándar se reúnen también los estándares impulsados por el proyecto OPERA (*Open PLC European Research Alliance*).

2.3 Funcionamiento de las líneas eléctricas

La corriente alterna (AC) es transmitida a frecuencias de 60 Hz en Guatemala [CNEE No.- 09-99] al igual que en Norte América, en Europa es transmitido a 50 Hz. Lo anterior hace que las líneas eléctricas tengan casi todas sus frecuencias disponibles para ser utilizadas en otros propósitos, incluyendo transmisión de datos. Para una mejor idea se puede observar la figura expuesta abajo, la cual ilustra la frecuencia que utilizan las líneas de energía eléctrica.

Figura 3. **Frecuencias utilizadas por líneas de energía eléctrica**



De esta forma en Guatemala no son utilizadas frecuencias más allá de los 60 Hz.

2.4 Arquitectura de redes PLC

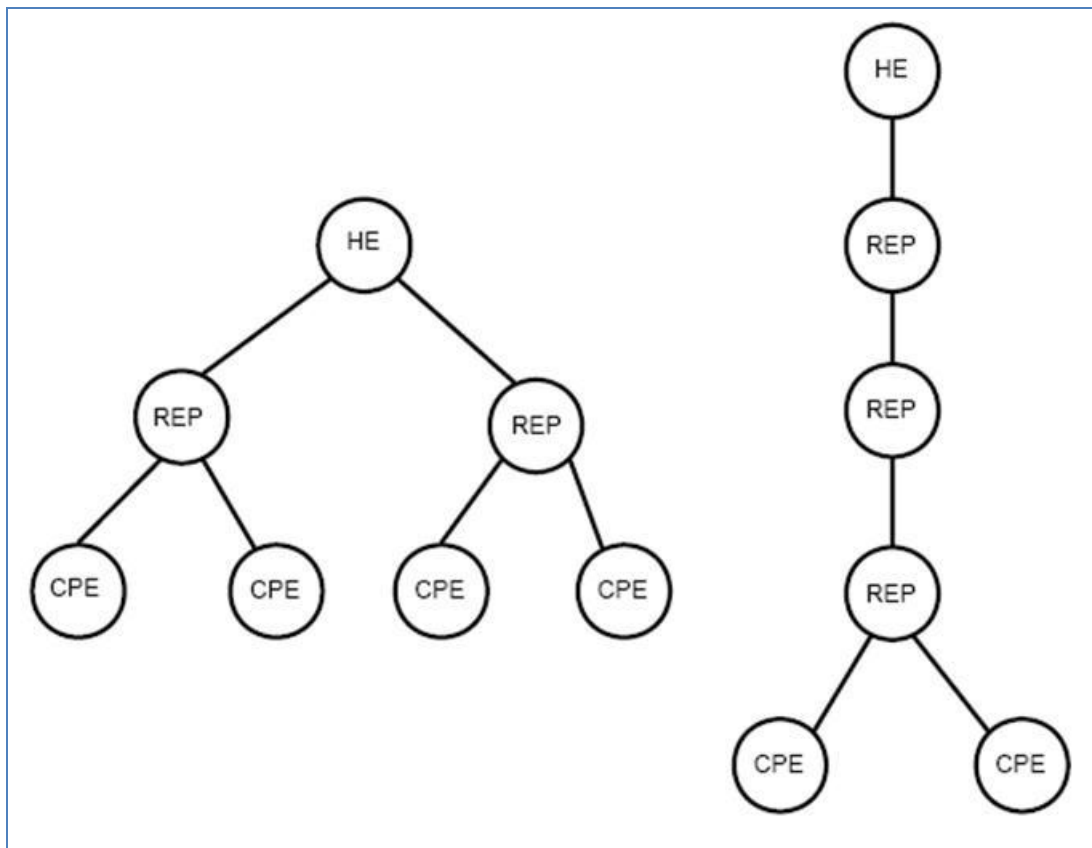
Una red PLC consiste en un número de terminales de usuario “CPEs” (de sus siglas en inglés “*Customer Premises Equipment*”) que transmiten y reciben tráfico en un medio compartido de y para una estación central “HE” (de sus siglas en inglés *Head End*). Si la señal es demasiado atenuada para contactar todos los CPEs de la misma HE, pueden ser insertados repetidores (REP) en la red en orden para retransmitir la señal y de esa manera incrementar la cobertura. De esta descripción se desprende que el tipo de topologías para establecer una red PLC son topologías tipo árbol, como en la figura 4, donde un nodo central, llamado HE, concentra todos los flujos descendentes y ascendentes, a pesar de que otras topologías, como la topología de anillo compartido, son también comunes. Todo tipo de estructuras en medio voltaje (MV) y bajo voltaje (LV) puede ser reducido a una estructura de HE más repetidores.

2.4.1 Descripción de nodo

Una red PLC puede estar formada por:

- Una celda PLC
- Varias celdas PLC si ellas son interconectadas vía repetidores de División de Frecuencias (FDR). FDR están hechos de una combinación de una HE y una CPE o un repetidor de división de tiempo (TDR) operando en diferentes modos. A lo largo de este capítulo se verá con mayor detalle cada uno de estos componentes.

Figura 4. Estructura de árbol de redes PLC



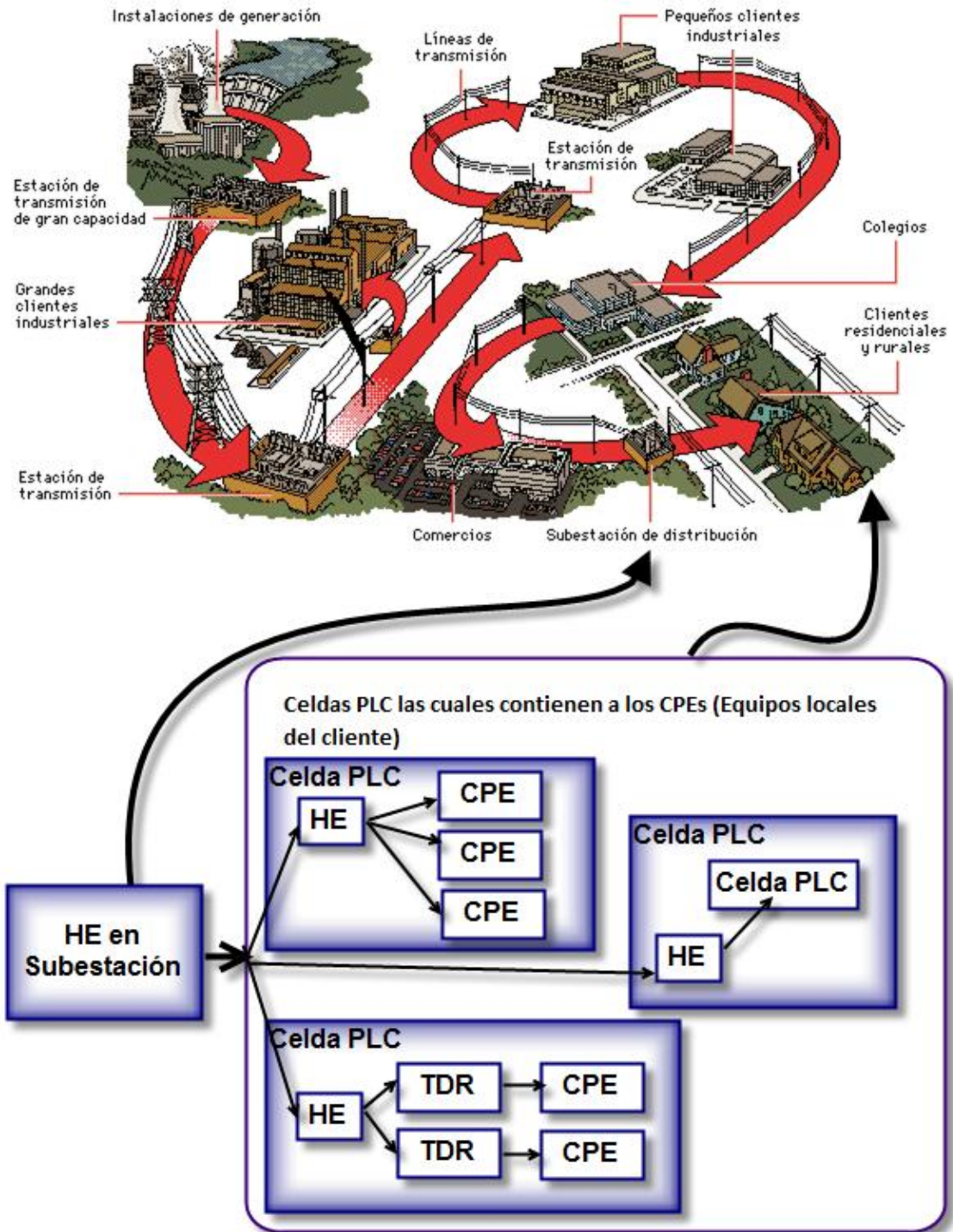
En compañías eléctricas que proveen redes de datos por medio de PLC, existe usualmente un HE, colocados en la subestación de distribución (de medio o bajo voltaje), estos concentran el tráfico de subida y bajada de y para todos los CPE de todas las celdas PLC conectadas. Ver figura 5.

Una celda PLC está compuesta desde el Control de Acceso al Medio por una HE y el conjunto de unidades (CPE o TDR) bajo el control directo o indirecto de la HE en operación bajo el mismo tipo de símbolos y la misma frecuencia de transmisión. Esta celda está compuesta por:

- Una HE
- De cero a varias TDR
- Una (o varias) CPE

Para garantizar el rendimiento requerido en términos de calidad de servicio (QoS), los nodos pueden ser además divididos en tres tipos por medio de sus funciones para asegurar la calidad del servicio: controladores QoS (QCs), dado por hecho que es un HE en una típica celda PLC, nodos maestros de flujos (FMN), son los nodos que aseguran los recursos necesarios para una certera clasificación de servicios en el tráfico de flujos y puntos finales que no tienen tareas de administración respetando la garantía del QoS.

Figura 5. Celdas PLC y distribución de la energía eléctrica



2.4.2 HE (*Head End* o Estación Central)

En forma simple una HE es una unidad PLC, la cual se comporta sólo como nodo maestro. Esta es la raíz de una celda PLC. Contrariamente a un TDR, la parte maestra de un HE no es conectada a una parte esclava a partir de la cual dependa la correcta comunicación.

El HE es el nodo central que controla la celda PLC totalmente. Éste asigna recursos a todos los nodos de la celda PLC a través del uso de la señal, de acuerdo a los requerimientos de QoS de los flujos circulando en la celda PLC. El HE será siempre el maestro de algún nodo directamente conectado a éste.

2.4.3 Repetidores de división de tiempo “TDR”

Es una unidad PLC compuesta de una parte maestra y una parte esclava, las cuales nunca operan en el mismo tiempo. Un TDR se comporta como cualquiera, como un maestro o como un esclavo en diferentes períodos de tiempo. Contrariamente a un HE, la parte maestra de un TDR no es un permanente maestro, la cual tiene control permanente de sus posibilidades de transmisión.

Un TDR es usado para incrementar la cobertura en aéreas muy lejanas de las celdas HE. TDR son conectadas a los HE o a otros TDRs que actúan como su nodo maestro. TDR comparten el canal asignado a ellos por sus nodo maestro y distribuyen éstos entre sus nodos esclavos de acuerdo con la circulación y clases de servicios en la celda PLC y el origen y destino de ellos. El TDR será esclavo del HE o de otro TDR y será el maestro de sus esclavos.

2.4.4 Equipo local del cliente

CPE por sus siglas en inglés “*Customer Premises Equipment*”. En forma simple una CPE es una unidad PLC, la cual sólo puede comportarse como un nodo esclavo.

Una CPE tiene que suscribirse a la red antes de tener acceso al canal. Suscribirse a la red significa seleccionar un nodo maestro que le asigne canal de tiempo de acceso. Para suscribirse a la red es ejecutado un proceso de validación para que la CPE sea reconocida como válida. Después de ser aceptada dentro de la red, la CPE automáticamente baja un archivo (proceso de auto-configuración) detallando los parámetros para usar, tal como el perfil del usuario y otros parámetros de configuración.

Figura 6. Distintos modelos de CPE PLC



2.5 Capa de acceso al medio

En la figura 7, puede observarse la interacción de esta capa con las demás capas del modelo para redes PLC. En una red IEEE P1901 pre-establecida el acceso al medio es administrado en una forma jerárquica.

El HE (que es usualmente el QC y el FMN para la más alta clase de servicio), programa el uso del canal por sus esclavos dependiendo de los actuales flujos de tráfico y sus previamente aceptados requerimientos de QoS. El acceso al medio puede ser administrado por el HE usando dos procedimientos principales.

1. Enviando individualmente a cada uno de los esclavos un dato o marco distribuidor, conteniendo datos del HE para los esclavos y terminado por una señal que contiene el próximo esclavo de la lista de esclavos que comparten el uso del canal, cuando el primero termina su transmisión en un predeterminado orden. La medida de tiempo del canal asignado por el HE puede ser fijo por un intervalo de tiempo o no. En el primer caso, el canal asignado puede ser síncrono con el principal o no. En el segundo caso, si un nodo no usa completo el tiempo asignado, la transmisión es dada inmediatamente al siguiente nodo en la lista o regresada al HE.
2. Enviando una señal CSMA, que abre una conexión priorizada entre los nodos que la reciben. El ganador de la conexión obtendrá el derecho a transmitir por el determinado período de tiempo y entonces, el derecho a transmitir es retornado al HE.

Por medio del primer procedimiento, un intervalo de tiempo puede ser programado donde diferentes esclavos pueden distribuir sus transmisiones.

2.6 QoS: calidad del servicio

IEEE P1901 provee varios mecanismos para asegurar la QoS del flujo de tráfico en la celda PLC. Los flujos de tráfico son sesiones orientadas y etiquetadas con cierta clase de servicio que implica ciertos requerimientos en términos de latencia, ancho de banda, conjuntamente con un requerimiento en términos de nivel de certidumbre de los recursos reservados.

Un esclavo requiriendo transmitir cierto tipo de tráfico primero clasificará éstas en una de las ocho clases de servicios disponibles, cada una con una programada latencia, ancho de banda y nivel de confianza de los recursos requeridos, que pueden ser velocidad binaria variable (VBR de sus siglas en inglés *Variable Bit Rate*), velocidad binaria constante (CBR de sus siglas en inglés *Constant Bit Rate*), velocidad binaria disponible (ABR de sus siglas en inglés *Available Bit Rate*) o mejor esfuerzo. El mapeo de clases de servicio para el ancho de banda, latencia y tipo de tráfico es común y conocido por todos los nodos en la celda PLC.

Entonces, por medio del protocolo de control de conexión (CAC de sus siglas en inglés *Connection Admission Control*), los requerimientos para transmitir los flujos de tráfico son solicitados al nodo maestro de flujos (*Flow Master Node*) de esta clase de servicio y puede ser aceptado asignándole un identificador de sesión, o también podrá ser rechazado.

En el caso donde la máxima capacidad del canal es alcanzada, varias políticas de congestión pueden ser aplicadas por el QC y FMNs para admitir, rechazar o dar de baja sesiones actuales en la celda PLC.

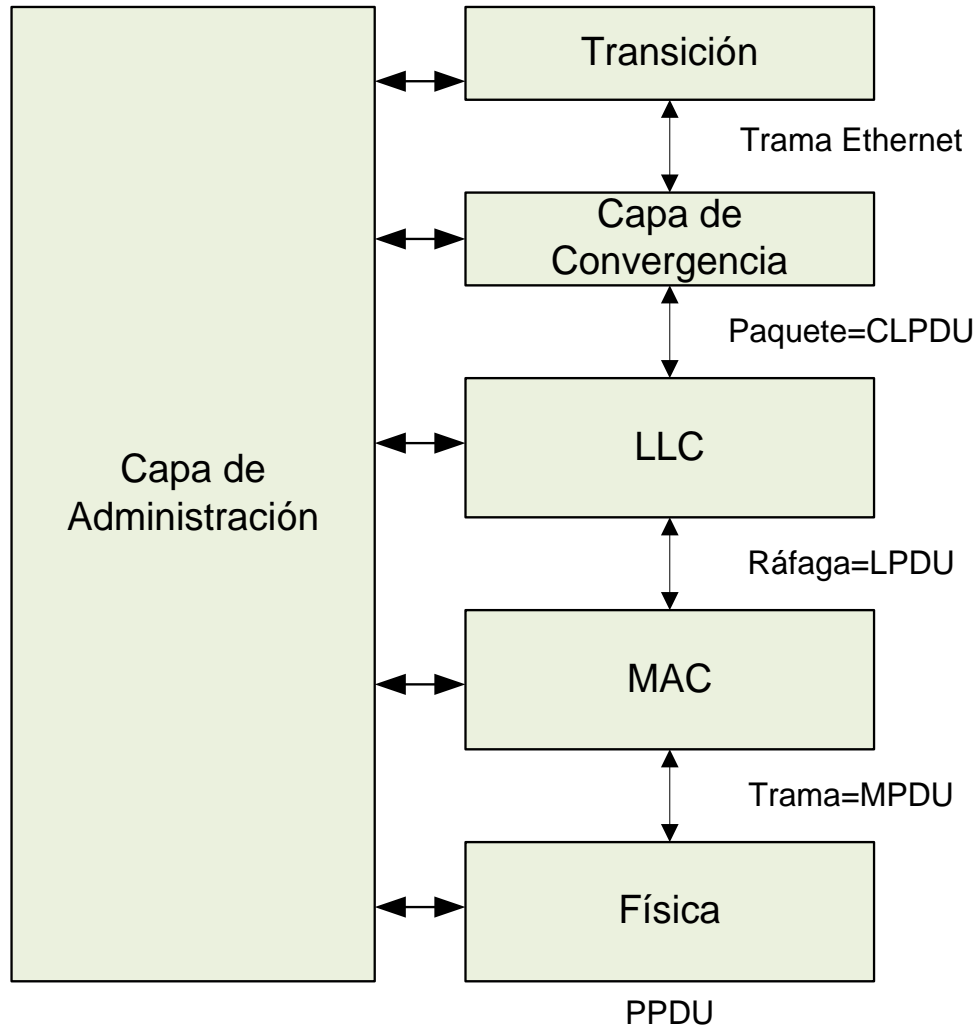
2.7 Seguridad

La especificación IEEE P1901 provee un mecanismo de seguridad probado y aceptados por la industria incluyendo CTR con encriptación de 128 bits AES con llaves individuales por cada CLPDU (Unidad de datos de protocolo de la capa de convergencia) o fragmento de CLPDU, integrando mecanismos por medio de CBC 128 bits también realizados individualmente para cada CLPDU o fragmento de CLPDU, integra protección de direcciones MAC, RADIUS y 802.1X basado en distribución de llaves y protocolo AAA, etcétera.

2.8 Modelo de referencia de red

La especificación del estándar para redes PLC (IEEE P1901) define la funcionalidad de capas física, MAC, LLC y de convergencia, así como también requerimientos de unión a ser sostenidos por todas las implementaciones compatibles. Además, define funciones de administración de capas. Finalmente, también contiene especificaciones para seguridad y configuración, incluyendo MIB (Base de Información Gestionada, MIB de sus siglas en inglés *Management Information Base*) y también incluye el tema de autoconfiguración.

Figura 7. **Modelo de referencia de red**



En un nivel de aplicación, el sistema aparece como una caja negra entre paquetes de información y la red PLC.

La capa de convergencia hace la conversión de trama Ethernet a Paquete. Esta función hace la conversión entre tramas Ethernet II/802.3 y paquetes ajustados a 32 bit. En la vía de transmisión, el convertidor adicionalmente fija la prioridad y la etiqueta de VLAN optimizada, si es necesaria. El manejo de *Broadcast/Multicast* es también hecho en este nivel.

La capa LLC provee a la capa de convergencia con unidades de datos del servicio LLC (LSDUs = paquetes). El máximo tamaño restringido en el LPDU de la carga útil es proveído por la capa de administración, los segmentos LLC y/o grupos de paquetes dentro de cargas útiles del LPDU son transferidos sobre el mismo puerto de transmisión. En relación con la capa de administración, la LLC también trata ráfagas de cargas útiles con encriptación/descriptación. La LLC agrega el encabezado de ráfaga a la ráfaga de carga útil.

La capa MAC provee a la capa LLC con unidades de datos del servicio MAC (MSDUs=LPDUs=ráfaga). En el camino de la transmisión, la capa MAC realiza la agrupación de ráfagas=MSDU dentro de un MPDU. La capa MAC también provee la capa de administración con la habilidad de generar específicos MPDUs (tramas) para desarrollar tareas de segundo plano. La capa MAC maneja siete tipos de tramas (de datos, de silencio, de estimación de canal, de sondeo, de acceso, de respuesta a acceso y de no retorno de datos). Todas estas tramas inician con un símbolo anunciador delimitador. Excepto por las tramas de estimación del canal, todas las otras tramas son terminadas con un símbolo delimitador con contenido dependiendo del tipo de trama.

La capa física realiza la modulación OFDM y procesa la señal digital necesitado para transmitir la MPDU sobre el canal PLC. Esta también agrega la redundancia FEC.

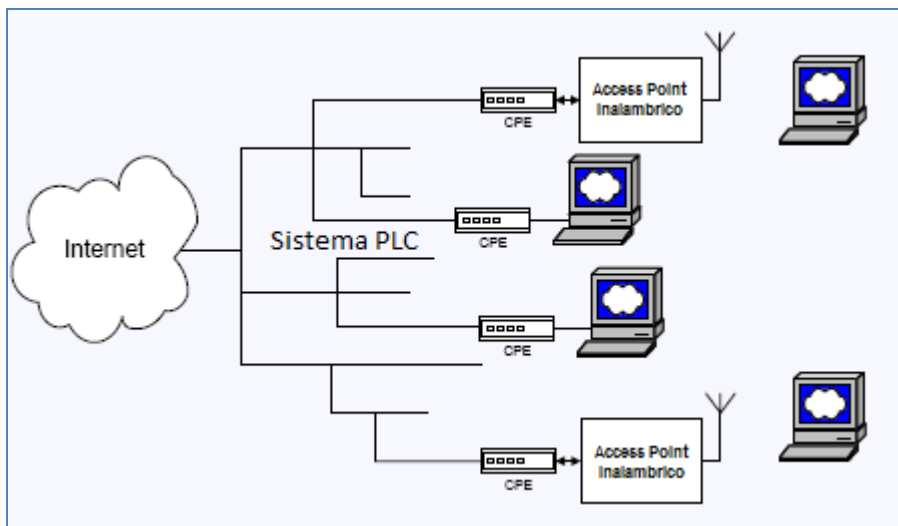
Como se ha visto dentro de las tecnologías PLC existen dispositivos HE, Repetidores y CPE. Debido a que en las redes PLC se comparte el medio, no se puede realizar conmutación dentro de ellas y si se requiere unir dos redes diferentes PLC, por lo general se utilizan “Gateway PLC” para unir las redes PLC al *backbone* que normalmente es de tecnología Ethernet.

2.9 Integración con otras tecnologías

Combinaciones de PLC y otras alternativas pueden ser usadas para extender la escalabilidad, capacidad y versatilidad de las tecnologías PLC. La tecnología PLC soporta capa 2 y usa el estándar IP como capa 3.

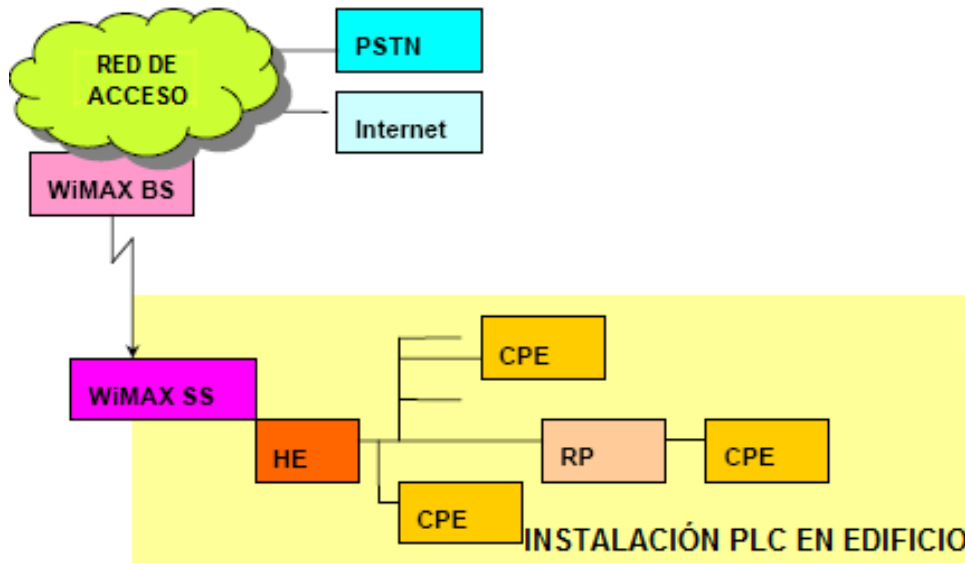
Las redes LAN inalámbricas (en inglés; *Wireless Local Area Network* “WLAN”) proveen al público acceso a internet en lugares públicos, además por lo cual capacidad de *rooming* a las laptops y un rango a los dispositivos de mano (*handheld*). WLAN han sido ampliamente adoptadas en LAN de hogares. De esta forma se tiene claras oportunidades para PLC y WLAN para ser integradas juntas. Un sistema PLC puede ser conectado a una WLAN para ampliar sus capacidades.

Figura 8. **PLC con complemento inalámbrico**



Además, las redes PLC también pueden ser combinadas con otras tecnologías como WiMax, xDSL, satélite, etc.

Figura 9. **WiMAX Estación base (BS) - Estación suscriptora (SS) y PLC en edificio**



2.10 Estándares de PLC

A nivel de los sistemas de PLC, aún no se ha logrado establecer un estándar completo.

Para redes internas sí existe un estándar, debido a esto, éste se ha tratado de utilizar para el resto de instalaciones PLC. El estándar reconocido para instalaciones internas es el *HomePlug Powerline Alliance* (HPA).

Las necesidades de un estándar son varias y muy importantes, en primera instancia, el no tener un estándar provoca que esta tecnología no sea utilizada por el temor a que se descontinuarán dispositivos y los nuevos no tuvieran compatibilidad con los usados y también de depender de una marca en específica al no poder hacer comunicación entre dispositivos heterogéneos. Además de esto si una empresa lograra dominar, ésta manejaría los precios a su disposición.

Entre los temas por tratar para la estandarización se encuentran el voltaje al cual funcionan las líneas eléctricas, de esta forma el estándar debería contemplar que los dispositivos funcionaran tanto a 110 V como a 220 V. Otro parámetro importante es la emisión electromagnética. Estos temas son importantes ya que si no son contemplados en el estándar, podría llevar a que un dispositivo fabricado en determinado país no funcionara adecuadamente en otro.

2.10.1 HomePlug

La *HomePlug Power Alliance* fue fundada en 2000 para promocionar y estandarizar redes sobre líneas de energía eléctrica. Esta alianza cuenta con una gran cantidad de asociados y es la más antigua dentro de las alianzas que contribuyen con la tecnología PLC, cuenta con más de 70 miembros y ha desarrollado especificaciones tanto para banda ancha como HDTV y aplicaciones de baja velocidad, como lo son aplicaciones de seguridad para el hogar. Ésta ha certificado más de 170 productos para múltiples vendedores.

La alianza *HomePlug* ha definido las siguientes especificaciones:

- *HomePlug* 1.0: publicado en junio de 2001. Es la especificación para conectar dispositivos por medio de líneas de energía eléctrica dentro del hogar. Teóricamente con velocidad de 14 Mbit/s.
- *HomePlug* AV: publicado en diciembre de 2005. Diseñado para transmitir HDTV y VoIP en torno del hogar. Teóricamente la velocidad de la capa física está arriba de 189 Mbit/s.
- *HomePlug* AV2: aún está en desarrollo, tiene como objetivos la evolución de los requerimientos de redes en el hogar con velocidades arriba de 600 Mbit/s y más robusta cobertura.
- *HomePug* Access BPL: se encuentra actualmente en desarrollo, se está trabajando la utilización del *HomePlug* ahora como tecnología de última milla.
- *HomePlug* *Command & Control*: publicado en octubre de 2007, éste es una especificación de baja velocidad, pero es una tecnología de muy bajo costo pretendiendo complementar los estándares de alta velocidad. La especificación disponible mejora el control en el hogar de la iluminación, aparatos de control de temperatura y seguridad, así como otros dispositivos.

2.10.2 IEEE P1901

IEEE P1901 es un grupo de trabajo del IEEE que desarrolla un estándar global para altas velocidades en comunicaciones sobre líneas de energía eléctrica. Durante el año 2009 en Tokio, el grupo de trabajo aprobó el “*IEEE 1901 Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications*”, como un borrador de un estándar del IEEE para banda ancha sobre líneas de energía eléctrica, definiendo las especificaciones para el acceso al medio y la capa física. En enero de 2010 el borrador del estándar fue publicado por el IEEE.

A continuación, se presenta como ha ido avanzando el estándar a lo largo del tiempo:

- En octubre de 2007, el grupo de trabajo completo hasta la selección del proceso. La propuesta final fue seleccionada entre una propuesta combinada de las propuestas *HomePlug/Panasonic*. Otras propuestas fueron eliminadas.
- En diciembre de 2008, el grupo de trabajo adoptó una línea de trabajo altamente sustentable.
- En febrero de 2009, las tareas fueron actualizadas y los documentos con los lineamientos fueron entregados a cuatro subgrupos técnicos (TSG).
- En julio de 2009, el grupo de trabajo votó y aprobó el borrador del estándar.
- En enero de 2010 el borrador del estándar fue publicado.

El proyecto P1901 tiene como alcance desarrollar un estándar para altas velocidades (mayores a 100 Mbps en la capa física), en comunicaciones vía líneas de energía eléctrica, esto también ha sido llamado Banda Ancha sobre línea de energía eléctrica (BPL). El estándar será utilizado para transmisión en frecuencias menores a 100 MHz. Este estándar podrá ser utilizado para dispositivos de BPL, incluyendo dispositivos BPL utilizados para el acceso en la última milla (menor a 1500 metros como premisa) y también para banda ancha en dispositivos usados como banda ancha en edificios para construir LAN y otros tipos de transmisión (distancia menor a 100 metros entre dispositivos).

Este estándar será enfocado en la eficiencia de utilizar líneas de energía eléctrica como canal que usen dispositivos de banda ancha, definiendo detalladamente los mecanismos para coexistencia e interoperabilidad entre los diferentes dispositivos BPL y asegurando que el deseado ancho de banda que calidad de servicio sea el otorgado. El estándar también incluye lo referente a seguridad y asegura la privacidad de la comunicación entre todos los usuarios.

P1901 tiene como propósito también proponer nuevas técnicas de modulación que permitan altas velocidades en las comunicaciones por cables de energía eléctrica. Esta nueva velocidad abre la puerta para varios dispositivos de banda ancha.

Sin un estándar independiente y abierto, los variados dispositivos de banda ancha tendrían conflictos, lo que daría como resultado un inaceptable servicio a todos los usuarios de estas tecnologías. El estándar debe proveer un mínimo de implementación que proporcione una aceptable coexistencia a todos los dispositivos PLC de banda ancha.

La completa implementación de este estándar proveerá de interoperabilidad entre dispositivos PLC de banda ancha, así como interoperabilidad con otros protocolos de red. Este estándar también contempla los límites para la compatibilidad electromagnética, esto para asegurar la exitosa coexistencia con sistemas de telecomunicaciones y sistemas inalámbricos.

2.10.3 CEPCA

“Customer Electronics Powerline Communications Alliance”. En el año 2007, la propuesta fue enviada a la IEEE-P1901. Así, desde ese entonces esta alianza se encuentra inmersa en el grupo de trabajo que realiza el estándar IEEE-P1901.

2.10.4 X10

X10 es un estándar internacional y abierto que estandariza la comunicación entre dispositivos electrónicos utilizados en la automatización de hogares, también conocidos como dispositivos de domótica.

Es un estándar internacional abierto, desarrollado en 1975 por Pico *Electronics*, para la comunicación entre dispositivos electrónicos usados para la automatización de hogares, a lo que se le conoce comúnmente como domótica. Estándares similares a X10 son: KNX, INSTEON, BACnet y LonWorks.

En la tabla siguiente se resumen los estándares, europeos y americanos, anteriormente citados. Se observa que algunos de ellos son a nivel mundial.

Tabla 1: Resumen de normas y estándares para la tecnología PLC a nivel europeo y americano

Europea	Americana
	HomePlug 1.0
	IEEE P1901
ETSI TS 101 867	
ETSI TR 102 049	
	CEPCA
	LonWorks
	X10

3. COMPARACIÓN DE REDES UTILIZANDO EL CABLEADO ELÉCTRICO Y REDES POR OTROS MEDIOS DE CONEXIÓN

Después de estudiar los conceptos básicos de redes en el capítulo uno y de conocer las tecnologías PLC se puede entrar de lleno al análisis central de este estudio, el cual es responder a la pregunta: ¿Es correcto implementar en nuestra organización la red de datos utilizando el cableado de energía eléctrica? La respuesta a esta pregunta será el tema esencial de este capítulo.

3.1 Ventajas tecnologías PLC

Al analizar los capítulos anteriores se encontraron ventajas de las tecnologías PLC, las cuales se listan a continuación.

3.1.1 Infraestructura existente

Una clara ventaja y la más obvia de las tecnologías PLC es el uso de la infraestructura existente del cableado eléctrico. Esto además de repercutir en el costo, también beneficia a que no se interrumpan las actividades del usuario al instalar la infraestructura. Las ventajas y oportunidades que brinda aprovechar la infraestructura existente es algo que sólo se puede observar de forma similar en las tecnologías DSL (“línea de suscripción digital”).

3.1.2 Fácil despliegue

Las tecnologías PLC no requieren de instalaciones especiales como ductería, canaletas o antenas lo cual permite un fácil despliegue. Cualquier toma corriente se puede convertir en un punto de red, lo cual hace que se alcance cualquier punto donde se necesite la red de forma simple.

3.1.3 Ubicuidad

La ubicuidad es definida como la “Capacidad de estar presente en todas partes”. La infraestructura eléctrica está prácticamente disponible en cualquier parte del mundo y además en cualquier lugar de nuestra organización (en escenarios tanto “*indoor*” y “*outdoor*”) con lo cual las tecnologías PLC proveen un alto grado de ubicuidad, se puede reafirmar esto al observar el hecho que la penetración de las líneas eléctricas es mayor que la de las líneas telefónicas. Este alto grado de ubicuidad se ha querido aprovechar utilizando la tecnología PLC como tecnología de última milla. Por lo anterior, las redes eléctricas provee un número de potenciales clientes significativamente alto a comparación de otras tecnologías.

3.1.4 Tiempo de instalación

El tiempo de la instalación es muy corto debido a la ya existente infraestructura y a la facilidad con que se hace la instalación, aunado a esto se pueden instalar solamente los segmentos de red que se necesiten.

3.1.5 Ancho de banda

Las tecnologías PLC soportan anchos de banda hasta 200 Mbps bajo el protocolo TCP/IP. Este ancho de banda es el que da la posibilidad de utilizar estas redes para diversas aplicaciones, desde acceso a internet, voz sobre IP, demótica, seguridad y otras muchas más.

3.1.6 Infraestructura recuperable

A diferencia de otras soluciones, la infraestructura de red PLC es totalmente movable y recuperable.

3.1.7 Costo

Este es definitivamente uno de los factores más importantes al realizar cualquier proyecto. El uso de cables de energía como medio físico de transmisión elimina la necesidad de despliegue de nueva infraestructura en cableado, esto hace que la tecnología PLC tenga un reducido costo de despliegue. Si la tecnología PLC es utilizada como tecnología de acceso, entonces sólo se tendrían que instalar repetidores, acopladores y el equipo del usuario. Comparado con algunos servicios DSL, el cliente no tiene que pagar por el alquiler de la línea, el cual es un requerimiento impuesto por algunos operadores DSL.

3.1.8 Impacto ambiental

Relacionado con los párrafos anteriores, la instalación de PLC no tiene un significativo impacto en el ambiente. A diferencia de utilizar tecnologías inalámbricas como tecnologías de acceso como WiMax, antenas no son requeridas ya sea en el cliente o en la estación base. Comparada con otras tecnologías que utilizan cableado, no se requieren trabajos civiles. Además, el problema de interferencias ha sido minimizado en los años anteriores con el desarrollo de nuevas técnicas de conexión e inyección.

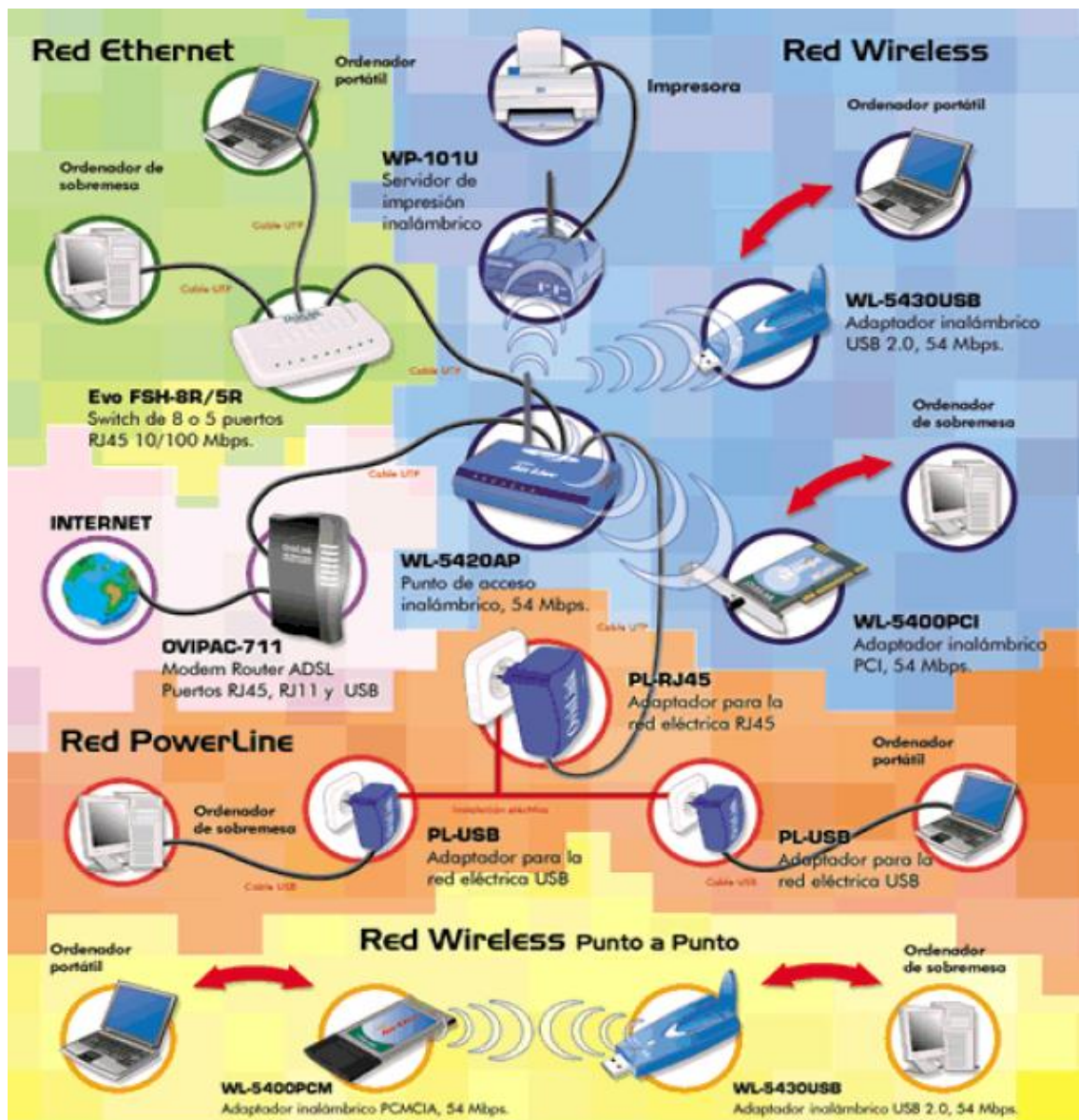
3.1.9 Tecnología madura

A pesar de que la ausencia aun de un estándar global para PLC ha reducido la velocidad del desarrollo de estas tecnologías, existe un número de soluciones comerciales que ha hecho que la tecnología PLC madure tanto, que puede operar en varios escenarios. La modulación, seguridad y el monitoreo QoS utilizado por los sistemas comerciales ha hecho sistemas PLC robustos en diferentes escenarios donde varias interferencias, ruido y daño en el canal aparecen. PLC es ahora maduro y listo para ser estandarizado en todo el mundo por una entidad internacional y un número de instituciones internacionales están trabajando juntas en los temas de interoperatividad y coexistencia de diferentes servicios PLC, usando una red eléctrica común.

3.1.10 Fácil integración con otras tecnologías

El equipo PLC puede ser fácilmente integrado con otras tecnologías. Existen numerosos ejemplos de integración disponible. La figura mostrada a continuación muestra la coexistencia entre tecnologías LAN, WLAN y PLC.

Figura 10. Coexistencia entre tecnologías LAN Ethernet, WLAN y PLC



3.1.11 Nuevos modelos de negocios, servicios y aplicaciones

La tecnología PLC ha posibilitado implementar tanto servicio de acceso y en el hogar, además aplicaciones útiles para la energía eléctrica, “consumo inteligente de energía”, etc. Además, el desarrollo de PLC sobre existentes líneas de energía para su uso en vehículos (*in-vehicle*), es una solución prometedora para aplicaciones como la mecatrónica (comunicación entre sensores y activadores, con velocidades de 10 kbits/s). Las aplicaciones de comunicación sobre líneas de energía para los sistemas de instrumentación de las aeronaves también han sido propuestas. Como se ve, se tienen muchas posibilidades con las tecnologías PLC algunas de las más desarrolladas se puede observarlas en la sección 3.3.

3.1.12 Impacto social

Gracias a la ubicuidad de las líneas de energía eléctrica y al ancho de banda que pueden ofrecer actualmente, PLC mejoran la penetración del acceso a internet y toman especial importancia en las áreas rurales y remotas. Por consiguiente, servicios como *eGovernment*, *eHealth* y *eCommerce* son hechos accesibles a un gran porcentaje de la población. PLC puede empujar a hacer la banda ancha una realidad para todos en los próximos años.

3.1.13 Seguridad

A pesar de encontrarse compartiendo el medio, las comunicaciones sobre líneas de energía están encriptadas, así que el acceso a la información privada del usuario está garantizado. Por consiguiente, el nivel de privacidad y seguridad no es menor que en otras tecnologías.

3.1.14 Avances contra la interferencia en señales de radio

En los primeros pasos del desarrollo PLC, radio aficionados no tenían certeza de la potencial interferencia de los PLC. Nuevos métodos de conexión minimizan el riesgo de que la señal PLC interfiera con los sistemas de radio. Además, en los últimos tiempos se tiene la tendencia de desplegar las líneas de energía eléctrica subterráneamente, lo cual hace que éstas no interfieran con las señales de radio.

3.2 Desventajas tecnologías PLC

Como se ha visto en la sección anterior, las tecnologías PLC presentan varias ventajas respecto a otras soluciones, sin embargo, al considerar una solución con estas tecnologías, también se debe de considerar las desventajas que éstas tienen debidas en su mayor parte en que la infraestructura eléctrica no fue diseñada originalmente para la transmisión de información.

3.2.1 Ruido

Como se mencionaba, el hecho de que el cableado eléctrico originalmente no fue diseñado para la transmisión de datos implica algunos problemas, uno de los más importantes es que los cables eléctricos no cuentan con blindaje adecuado, con lo que la transmisión puede llegar a ser afectada por el ruido. Otro problema lo constituye que el cableado eléctrico está sujeto a cargas variables, debido que estas pueden ser conectada y desconectadas en cualquier momento. En sí se ve que el cableado eléctrico tiene que afrontar problemas que no tienen las redes Ethernet.

Para minimizar el problema del ruido la tecnología PLC se ha provisto de un buen mecanismo de “corrección de errores”, sin embargo, no se debe olvidar que es más susceptible al ruido que la tecnología Ethernet. Además, el problema de carga variables es minimizado utilizando modulación ortogonal y la multiplexación de frecuencias.

3.2.2 Mal estado de la infraestructura eléctrica

Al igual que con cualquier sistema, el mal estado de la infraestructura afecta a la transmisión de datos, esto toma mayor relevancia en las tecnologías PLC ya que la instalación eléctrica en esta región, muchas veces no es planificada y más bien es el resultado de un crecimiento desordenado.

3.2.3 Rendimiento

La velocidad física disponible para la mayoría de sistemas PLC utiliza un “*overhead*” que típicamente representa 50% de los datos que son transportados, en otras palabras cuando se asegura una conexión física con ancho de banda de 200Mbps, esto significa que el tráfico empleado de esta conexión será alrededor de 100Mbps.

No obstante, aun la velocidad de 200Mbps de la capa física es un valor teórico que puede ser conseguido sólo en condiciones perfectas, en campos reales el valor nunca será conseguido.

El posible ancho de banda conseguido está alrededor de 50Mbps en condiciones perfectas (sin considerar atenuaciones, interferencias, etc.), porque de los 200 Mbps se van 100Mbps a causa del “*overhead*” y de los 100Mbps se pueden ir 50Mbps debido a repetidores TDD. Una condición a no olvidar es que aún los 50Mbps son multiplexados para los usuarios, de esta forma si se agregan usuarios el ancho de banda se distribuirá dentro de estos, ahora bien con cableado estructurado se emplean tantas líneas de cable UTP dependiendo del número de usuarios de la red con lo que no decrece el ancho de banda, pero requiere nuevo cableado al aumentar considerablemente los usuarios.

3.3 Aplicaciones de la tecnología PLC

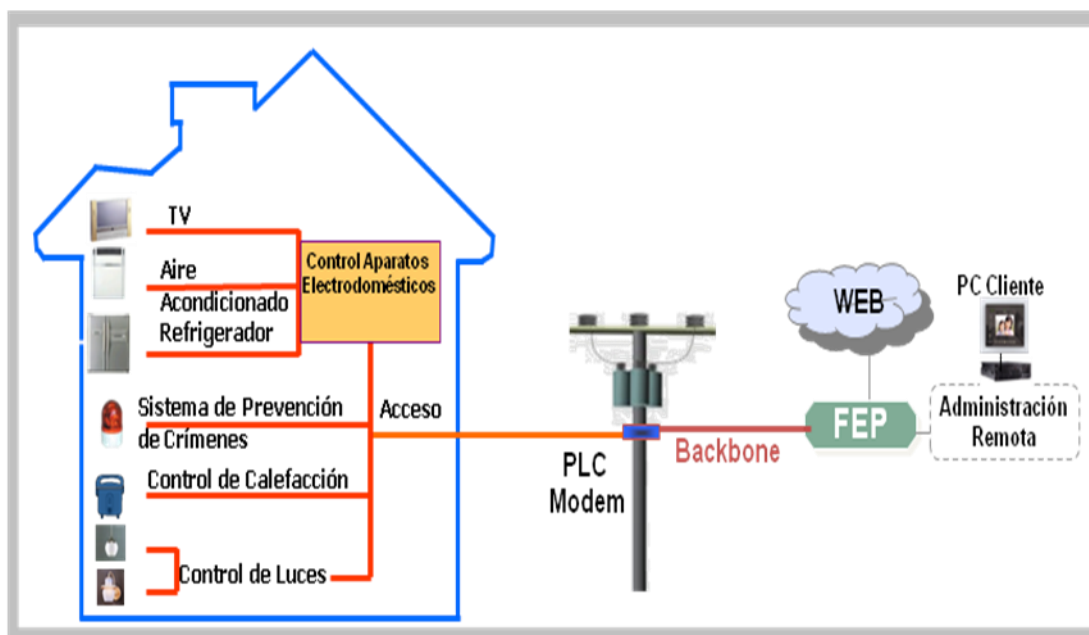
Después de haber expuesto las características, desventajas y ventajas de las tecnologías PLC ahora se puede listar algunas de las aplicaciones donde presentan mayores ventajas.

3.3.1 Usos en el hogar

Debido a la inherente topología en escenarios dentro del hogar, PLC constituye una óptima tecnología para proveer servicios a cualquier punto en el hogar sin instalaciones de nuevos cables. Usando esta característica, PLC además constituye un buen candidato para extender servicios de Internet y cualquier otro servicio dentro del hogar.

Como ejemplos de los usos en el hogar, se puede mencionar control de aparatos electrodomésticos (aire acondicionado, refrigerador, luz, microonda, etc.), usando la red de PLC; conectarse con el servidor casero por el teléfono o por Internet desde un lugar alejado; también puede controlar el gas, la electricidad y el agua desde cualquier parte usando un teléfono móvil.

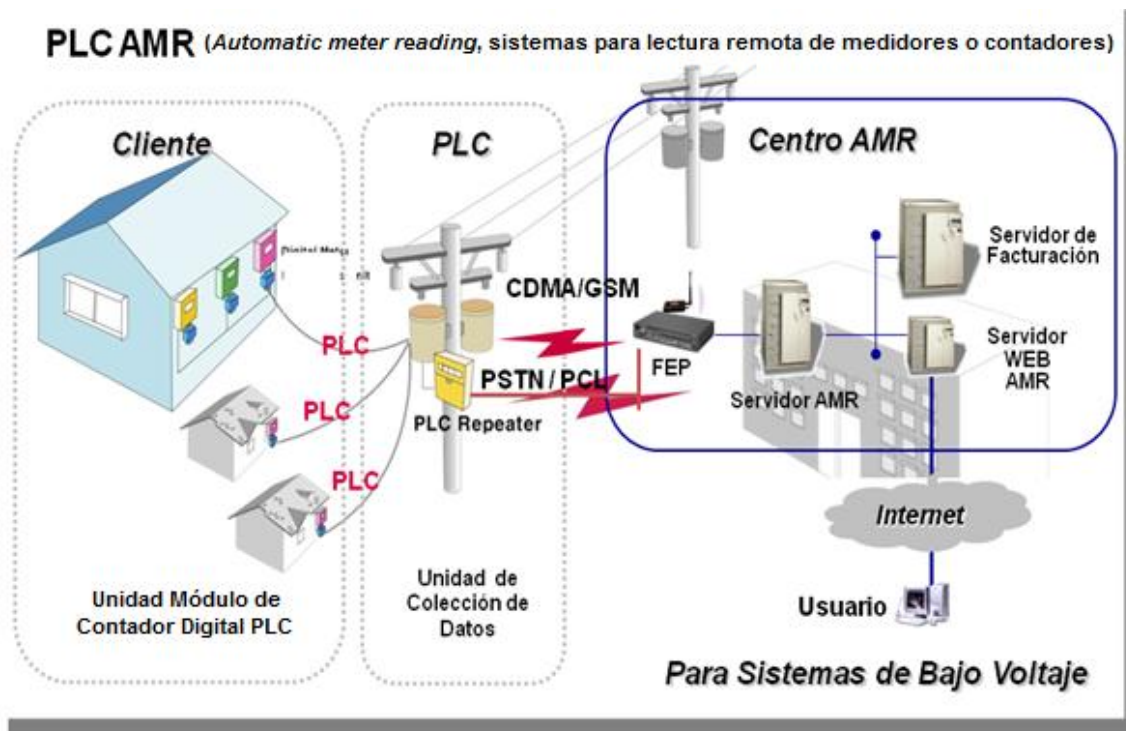
Figura 11. Usos en el hogar de tecnologías PLC



3.3.2 Lectura de consumos de energía, agua y gas

Como se ha discutido previamente, una red PLC puede ser utilizada para proveer varios servicios, dentro de los primeros servicios que pueden utilizar las distribuidoras de electricidad es implementar un sistema de lectura remota (AMR) para sus medidores o contadores. Esto representaría ya un primer retorno de la inversión del equipo que se necesitaría para formar la red PLC, así utilizar la red PLC como AMR sería una buena estrategia para poder realizar el desarrollo de la red PLC.

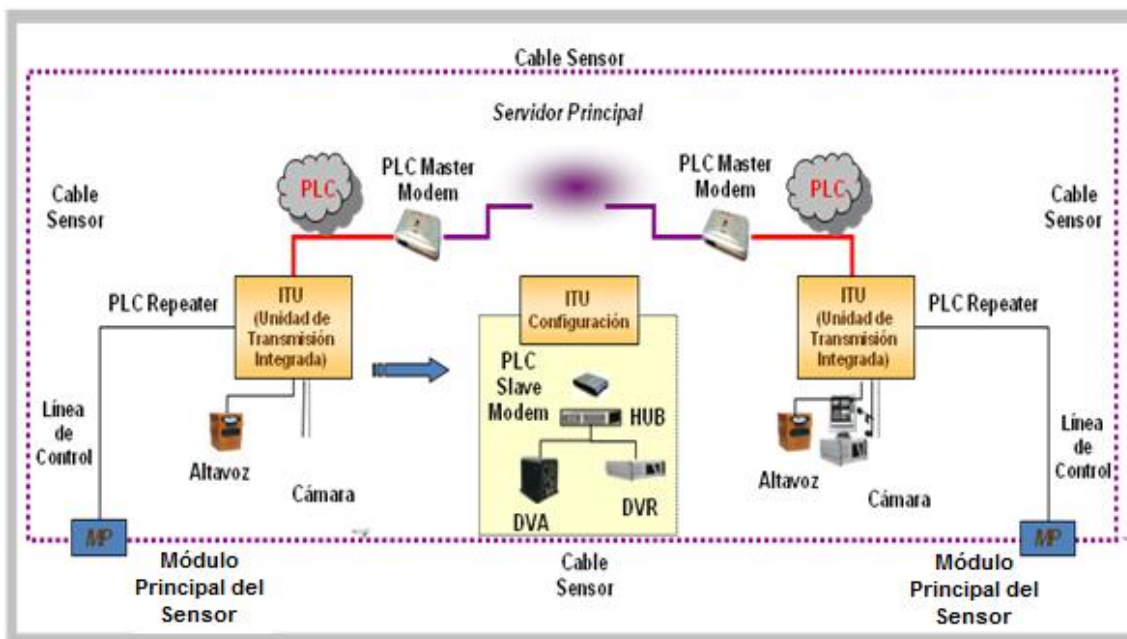
Figura 12. **Sistemas para lectura remota de medidores o contadores con tecnologías PLC**



3.3.3 Sistemas de seguridad

Usando la red del PLC se puede monitorear el hogar por medio de cámaras de video y sensores de intromisión, ver la imagen en tiempo real desde un dispositivo de video DVR (Digital) o una PC.

Figura 13. **Sistemas de seguridad con tecnologías PLC**

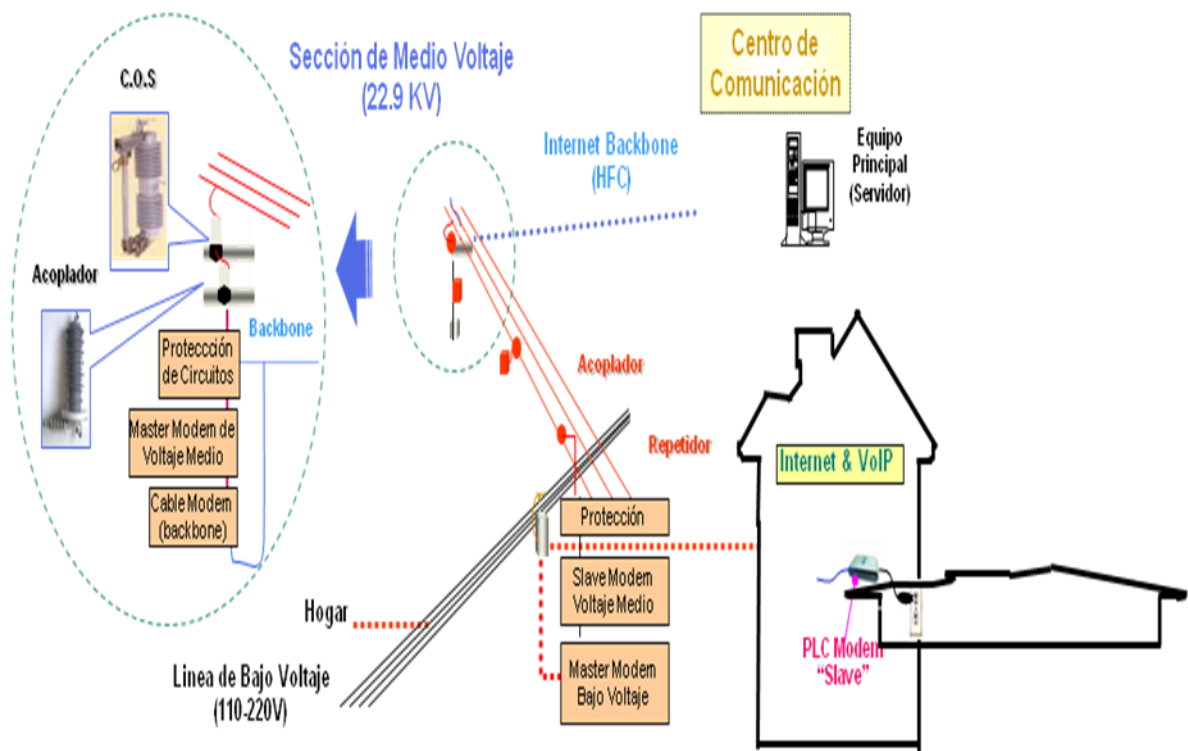


3.3.4 Como tecnología de acceso

Esta es una de las aplicaciones de las que se esperan mayores beneficios de las tecnologías PLC, en gran medida por la ubicuidad del cableado de energía eléctrica, debido a esto esta aplicación será tratada a mayor profundidad.

Con las líneas de poder es formado un conveniente y barato medio de comunicación para controlar y transmitir datos. Con los avances tecnológicos, tanto en la capa MAC como en la física se ha logrado alta velocidad comparada con otras tecnologías en este campo. Además los mecanismos de QoS, diferentes niveles de ancho de banda y latencia, pueden ser garantizados para usuarios de diferentes servicios, en concordancia con sus requerimientos. Con importantes mejoras durante los últimos años se ha simplificado la instalación. Una simple instalación promueve que las redes de trabajo se construyan utilizando PLC, con beneficios para los usuarios finales. Adicionalmente, la integración de PLC con otras tecnologías permite que la red sea más flexible e integral. Otro adelanto importante de las tecnologías PLC es el soporte de VLAN con interfaces estándar IEEE802.3.

Figura 14. **Tecnología PLC como tecnología de acceso**



A continuación, se presenta una comparación global entre tecnologías de acceso por líneas fijas e inalámbricas. La tabla provee una vista general de las tecnologías más importantes, así como de las características más importantes de éstas. En muchos casos, los valores de los parámetros con cada tecnología son variables dependiendo de diferentes factores (interferencia, modulación, etc.), de esta forma en las tablas se muestra los valores típicos.

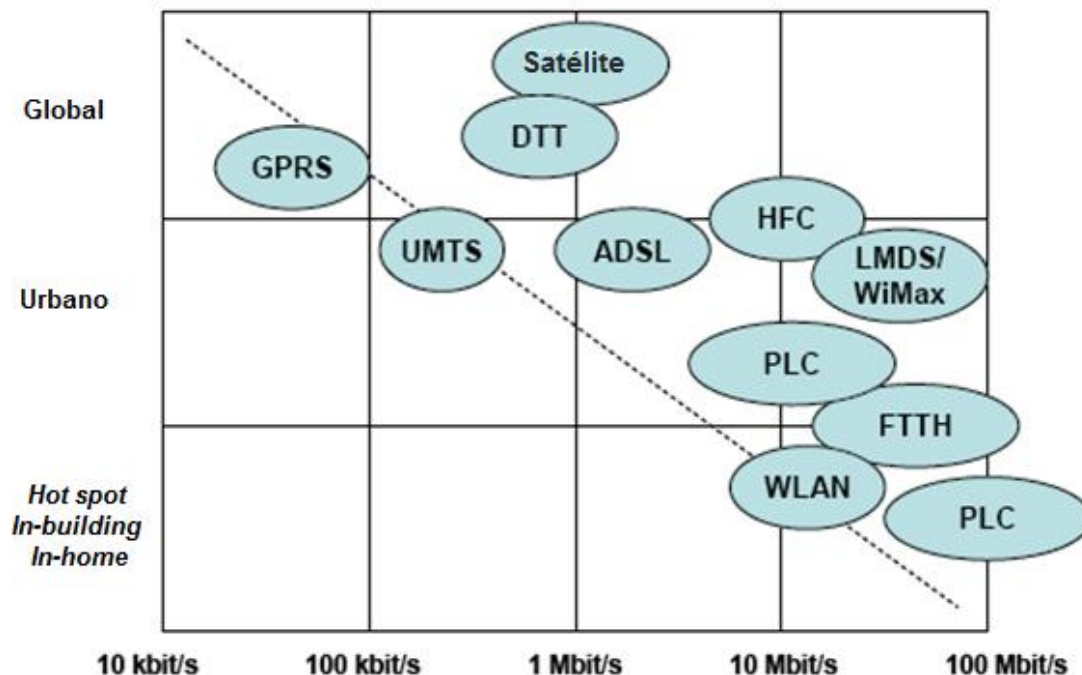
Tabla 2: **Comparación global entre tecnologías de acceso por líneas fijas e inalámbricas**

	Tecnología	Estandarización	Medio Físico
Tecnologías inalámbricas	Satélite	DVB,ETSI	Radio, 11-14 GHZ (Ku), 20-30 GHz (Ka)
	UMTS	3GPP	Radio, 1.7-2.2 GHz
	WLAN	IEEE 802.11, ETSI	Radio, 2.4 GHz, 5 GHz
	DTT	DVB, ETSI	Radio (UHF)
	LMDS/WiMax	IEEE 802.16, ETSI	Radio, 3 GHz, 26 GHz y encima
Tecnologías por medios guiados	HFC	DOCSIS, DVB	Fibra y coaxial
	FTTX	FSAN, ITU-T	Fibra óptica y/ líneas de cobre trenzado
	xDSL	ITU-T, ETSI	Par trenzado
	PLC	PLC Forum, CENELEC, ETSI, IEEE	Líneas de energía eléctrica de medio y bajo voltaje
	EFM (Ethernet en la primera milla)	IEEE 802.3ah	Par trenzado o fibra

	Tecnología	Topología	Terminales	Rango
Tecnologías inalámbricas	Satélite	Multipunto	Fija (también móvil con bajos kbit/s)	Línea de visión
	UMTS	Multipunto	Móvil	50 m-3 km
	WLAN	Multipunto	Móvil	50-150 m
	DTT	Multipunto	Fija	32 km
	LMDS /WiMax	Multipunto	Fija	Línea de visión, 3 km (26 GHz), 8 km (3.5 GHz)
Tecnologías por medios guiados	HFC	Multipunto	Fija	40 km
	FTTX	Punto a punto o multipunto	Fija	20 km
	xDSL	Punto a punto	Fija	300 m – 6 km
	PLC	Multipunto	Fija	200 m (en bajo voltaje)
	EFM	Punto a punto o multipunto	Fija	750 m-2.7 km (usando par trenzado)

La siguiente figura, muestra la cobertura versus la tasa de bits para tecnologías de acceso. La gráfica debe interpretarse cualitativamente, ya que la exacta tasa de bits varía para cada tecnología (esto es el caso por ejemplo de xDSL).

Figura 15. Cobertura versus tasa de bits analizado para tecnologías de acceso



La tecnología PLC ofrece un rendimiento de 200 Mbits/s: en el segmento de acceso, esta capacidad debe ser compartida entre todos los clientes, pero en escenarios *in-home*, la capacidad completa puede ser utilizada para un servicio. En el caso de WLAN, actualmente la velocidad binaria alcanza 54 Mbit/s, pero la implementación de sistemas MIMO (Múltiple Entrada Múltiple Salidas en inglés *Multiple Input Multiple Output*) en las terminales (estándar 802.11n y equipo pre-n) doblará la capacidad.

En relación a disponibilidad, viabilidad y ancho de banda, PLC obtienen un óptimo equilibrio entre cobertura, ancho de banda y viabilidad comparado con otras tecnologías de acceso. PLC tiene ligeramente más baja viabilidad que las tecnologías inalámbricas, pero más alta que tecnologías con cableado.

En términos de rendimiento, fibra funciona un poco mejor que PLC y tecnologías inalámbrica ofrecen el peor resultado, ya que su rendimiento depende de varios factores. En cobertura, inalámbrico y PLC ofrecen similares rendimientos, con un rango más grande que desarrollos de fibra óptica.

En términos de gastos requeridos para el despliegue, la inversión de capital por usuario es comparable con otras tecnologías de acceso, tal como xDSL y significativamente más baja que HFC y fibra. Además, reducción en el precio del equipo es esperado en un futuro cercano comparado con otras tecnologías como una consecuencia de la madurez comercial.

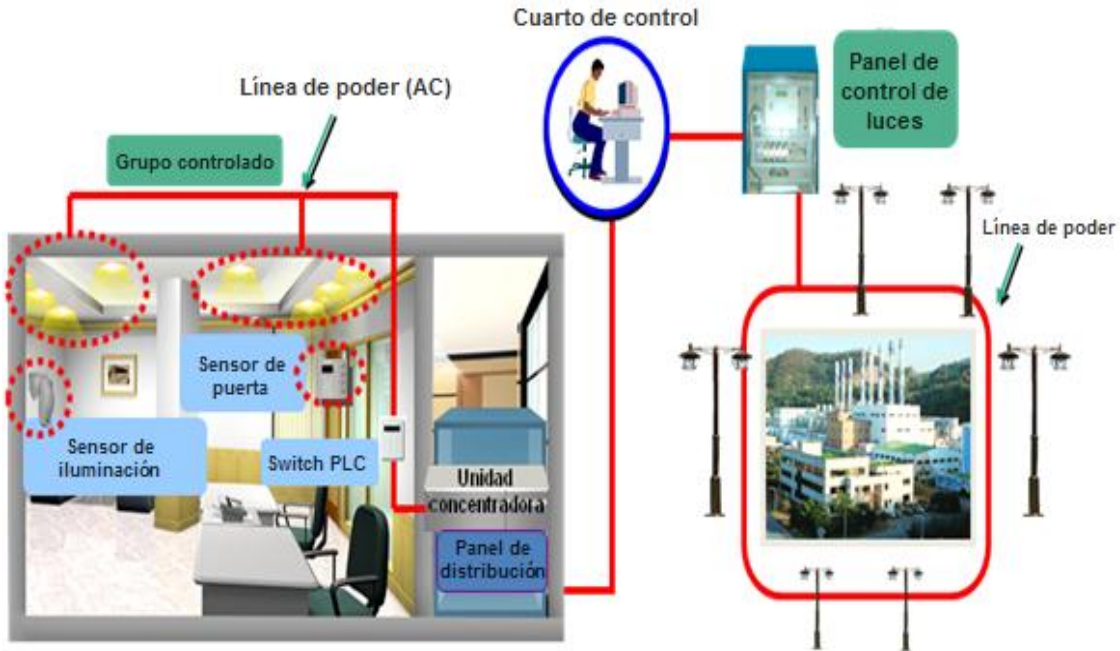
Respecto a los costos de operación, PLC muestra los más bajos números que otras alternativas, como está basada en la infraestructura ya desplegada.

Finalmente, PLC como otras tecnologías con existente infraestructura, presenta un buen equilibrio de ventajas y desventajas en términos de capacidad de servicio versus costo de despliegue y plazos, haciendo ésta competitiva en escenarios urbanos como escenarios rurales.

3.3.5 Sistema de control de iluminación

Control de los sistemas de iluminación en el alumbrado público y en el interior de lugares alejados, usando tecnología PLC. También, este sistema puede utilizar sensores de la iluminación, *out-door* e *in-door* con la función del horario y tiempo de uso de la luz. Este sistema ahorra cantidades significativas de energía eléctrica.

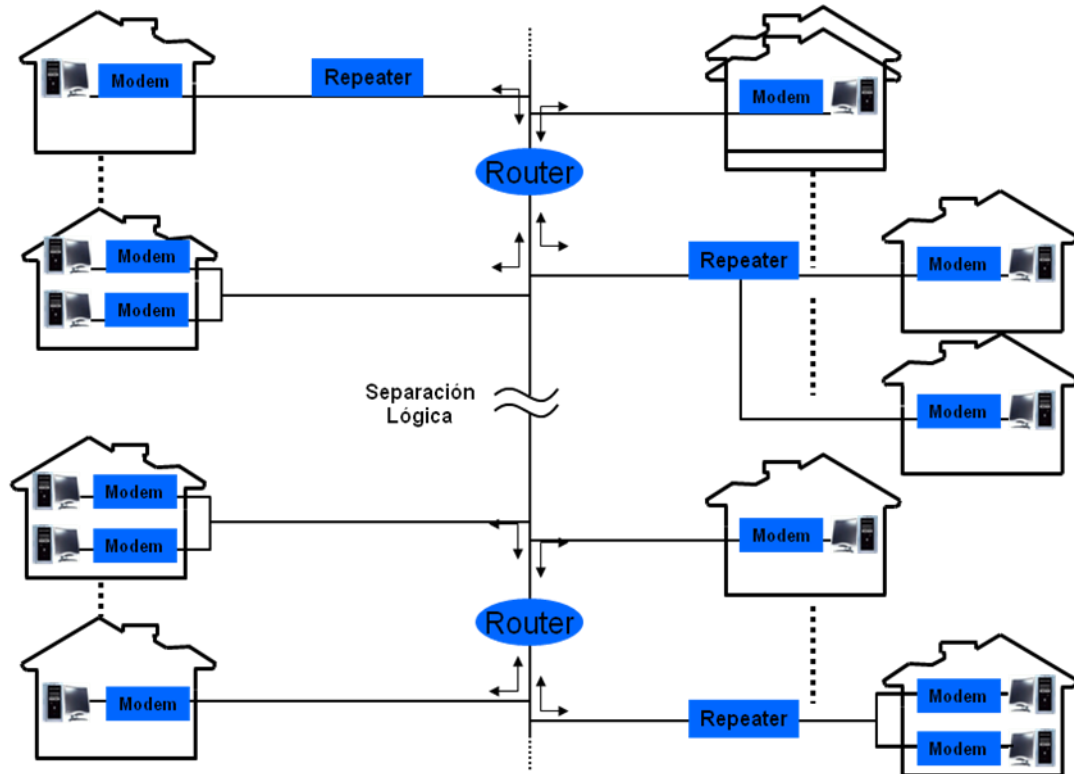
Figura 16. **Sistemas de control de iluminación con tecnologías PLC**



3.3.6 PLC en conjuntos habitacionales

Esta aplicación puede ser muy bien organizada para brindar comunicación entre vecinos, así como para automatizar servicios de pago y seguridad.

Figura 17. **PLC en conjuntos habitacionales**



3.3.7 PLC en edificios de oficinas o departamentos

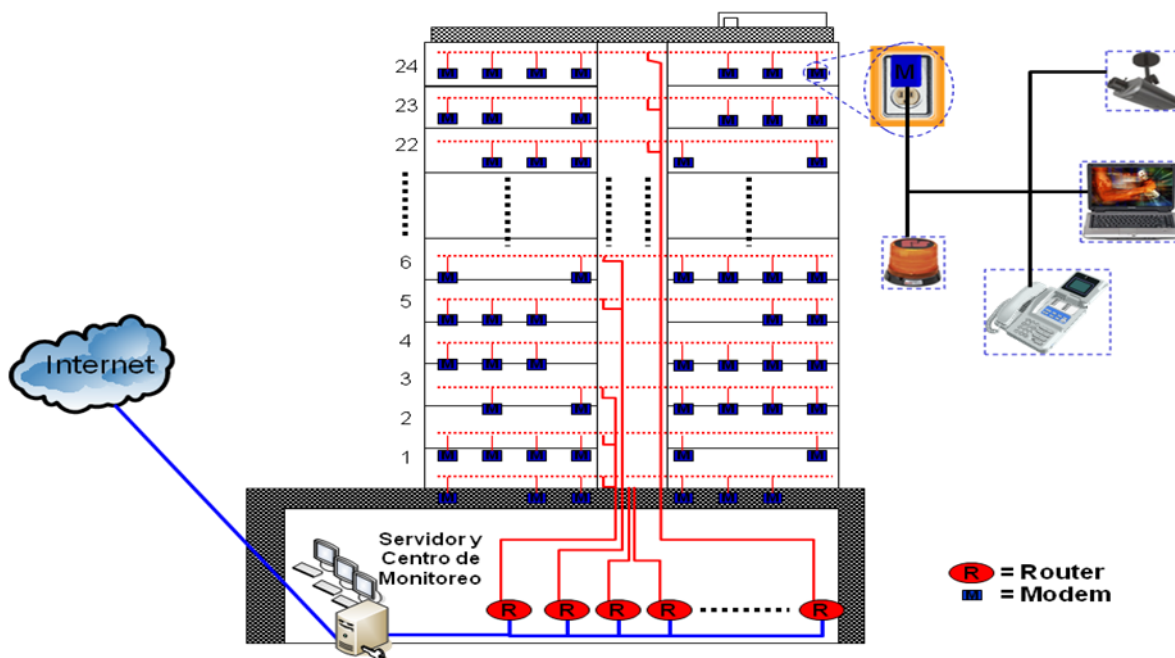
Esta es claramente una de las opciones en que las tecnologías PLC tienen más ventajas al poder construir una red informática de manera rápida y con bajo costo; es posible un despliegue de la red por fases según la priorización de usuarios.

Además, como se ha mencionado, se pueden integrar las tecnologías PLC, pudiendo utilizar las tecnologías PLC para hacer llegar la red a algún lugar y después utilizar tecnologías inalámbricas para que el usuario final se conecte a éstas.

Al decidir qué tipo de red se utilizará en la organización, se debe recordar que las tecnologías PLC tienen mejor rendimiento que las tecnologías inalámbricas, pero por lo general más bajo rendimiento que las tecnologías Ethernet, hablando específicamente al utilizar para la capa física cable de par trenzado categoría 6, el cual es prácticamente el estándar en el medio local.

De esta forma si se debe elegir entre cableado de categoría 6 y utilizar el cableado de la energía eléctrica, se debe pensar si el mejor rendimiento de las tecnologías Ethernet justifica el costo más alto. Para resolver esto, se puede observar la diferencia de costos entre ambas tecnologías mostradas en el capítulo siguiente; para verificar si el rendimiento satisface los requerimientos realizar una pequeña prueba con los dispositivos PLC y las aplicaciones, esto aprovechando el bajo costo de los dispositivos PLC y de su completa recuperación al ser retirados.

Figura 18. Tecnologías PLC en edificios



4. IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE DATOS BASADO EN CABLEADO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA POZA VERDE

4.1 Situación de la Central Hidroeléctrica Poza Verde

La Central Hidroeléctrica Poza Verde está ubicada en el municipio de Pueblo Nuevo Viñas, departamento de Santa Rosa. Y actualmente, tiene una capacidad total de generación de doce punto diecisiete megavatios (12.17 MW).

La Central Hidroeléctrica Poza Verde ha ido creciendo desde su creación y aun sigue su crecimiento, de aquí se deriva que en ésta se tengan diferentes proyectos para su mejor funcionamiento, uno de estos proyectos es la implementación de su red de comunicación la cual es tratada en este capítulo.

Se puede observar el crecimiento de la Central Hidroeléctrica Poza Verde observando las fases por las que ha pasado, incluyendo la última programada para el año 2010.

Primera etapa: 1.5 MW en 1,985
Caudal 6 m ³ /s
Caída neta: 26 metros
Presa de desviación
500 metros de conducción
Presa de derivación y dos canales desarenadores (160 m x 5 m c/u)
490 metros de túnel
Casa de máquinas
Dos turbinas Morgan Smith de 1.0 MW y 0.5 MW
Subestación de 2 KVA, de 440 v/13.2 Kv
Subestación de 3.5 KVA, de 13.2 Kv/ 69.0Kv
Cuatro kilómetros de línea en 13.2 Kv

Segunda etapa: 8.34 MW en 2,000
Caudal 7 m ³ /seg
Caída neta: 130 metros
Utilizó toda la infraestructura de la Primera Etapa, salvo la tubería de presión y Casa de máquinas
Cuatro nuevos túneles: 1,230m + 220m + 100m + 90m , con un total de 1,640 metros de conducción.
Dos sifones invertidos: 467m + 275m, con un total de 742 metros de conducción
Un total de 2,571 metros de canales cerrados
282 metros de tubería de presión
Casa de máquinas
Dos turbinas de 4.17MW cada una
Subestación de 15MVA

Tercera etapa: 12.17 MW en 2,007	
Caudal	10.5 m ³ /s
Caída neta:	130 metros
Presas de	14 metros alto por 120 metros largo
Túnel y tubería cerrada:	360 metros
Turbina Kaplan-A	2.0MW
Subestación de	2.5 MVA
Utilizó toda la infraestructura de la segunda etapa con refuerzos en obra civil y túneles.	
Se modificó Casa de Máquinas	
Turbina de	3.17 MW

Cuarta etapa: 18 o 20 MW en 2,010	
Se utiliza toda la infraestructura existente y se agrega el caudal de otra cuenca.	
Una turbina de	3.17 MW
Construcción de	400 metros de túnel
2,700 metros de canal cerrado	
350 metros de tubería de presión	
Posibilidad de otra turbina de	2.0 MW

Figura 19. Especificación de uno de los tres generadores de Central Hidroeléctrica Poza Verde

Type	AA 56 BVL8-8P	Nº	165326-2	IP	23
Puissance Power rating	4030.2 4478	kW kVA	Cos φ Rend Eff. %	0.9	Δ
tr/mn R.P.M.	900	60	Hz	Ph	3
Service Duty	S1	Echauffement Temperature rise	105	K	Amb. 40 °C
Régulat. A.V.R.	BASLER	Excitation	R-B-S	En charge	53 V
Date	11-98	A vide No load	2.05	A	Rated load 5.6 A
Masse Weight	15000	kg	Rlt côté entraînement DE BRG		
Quant.		g	Rlt côté opposé	NDE BRG	
Périodicité de graissage Grease every Graisser en rotation Regrease in running		h	Avec With		
		Or tous les 6 mois Or every 6 months	Ou graisse équivalente - Or any equivalent grease Graisser à la mise en service - Regrease at the start up		
ALTERNATEUR IEC 34 A.C. GENERATOR					
CE					
Fabriqué par Manufactured by					
MOTEURS LEROY - SOMER - DPT - ACEO 45005 ORLEANS CEDEX 1 (FRANCE)					

En la parte se puede observar el crecimiento de la Central Hidroeléctrica Poza Verde, para este estudio se hará referencia principalmente a la siguiente infraestructura civil:

- Casa de máquinas (Se encuentra en el edificio principal)
- Campamento.
- Garita.

Figura 20. **Vista general de Central Hidroeléctrica Poza Verde**



Al referirse específicamente del cableado eléctrico, la Central Hidroeléctrica Poza Verde cuenta con un tablero principal de distribución, el cual se encarga de distribuir la energía eléctrica a todos los circuitos. Este tablero principal se encuentra ubicado en la casa de máquinas (edificio principal).

Además, se cuentan con tableros secundarios en diferentes áreas. Para el presente estudio será relevante el tablero que se encuentra ubicado en el campamento.

4.2 Alcance de la red

Se realizará el diseño e implementación de la Red de Área Local (LAN) para la Central Hidroeléctrica Poza Verde contemplando el área de máquinas, campamento así como la garita de seguridad. Lo anterior como alternativa a las redes Ethernet de cableado estructurado que son definidas según las normas expuestas posteriormente. Esta implementación se realizará utilizando la infraestructura eléctrica ya existente en la Central Hidroeléctrica.

La red LAN por implementar cubrirá todos los requerimientos de servicios de la Central Hidroeléctrica Poza Verde y además proporcionará una evaluación de implementar redes de datos utilizando "*Power Line Communication*".

4.3 Condiciones actuales

A continuación, se observan los planos de las diferentes estructuras de la Central Hidroeléctrica Poza Verde, se muestra la planta general de la hidroeléctrica, así como la planta del edificio principal que también es el edificio de máquinas.

Figura 21. **Planta general Central Hidroeléctrica Poza Verde**

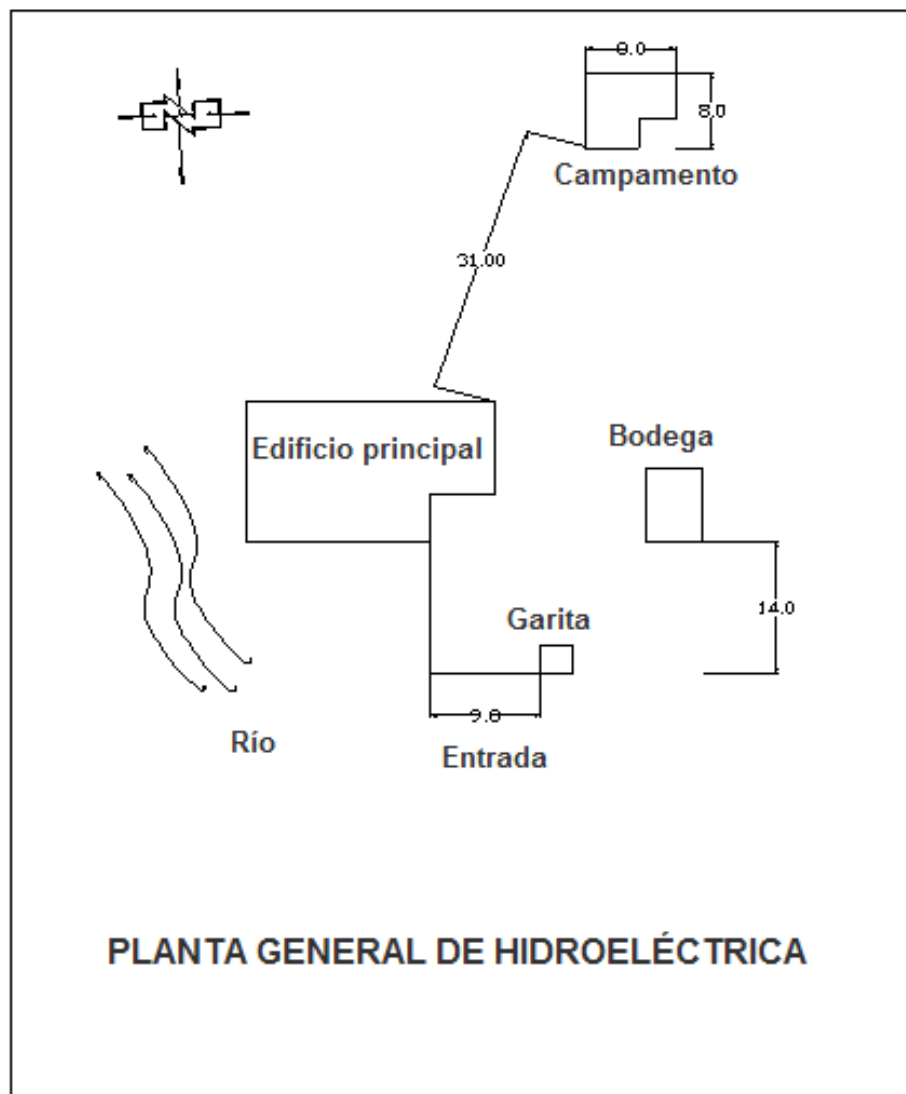
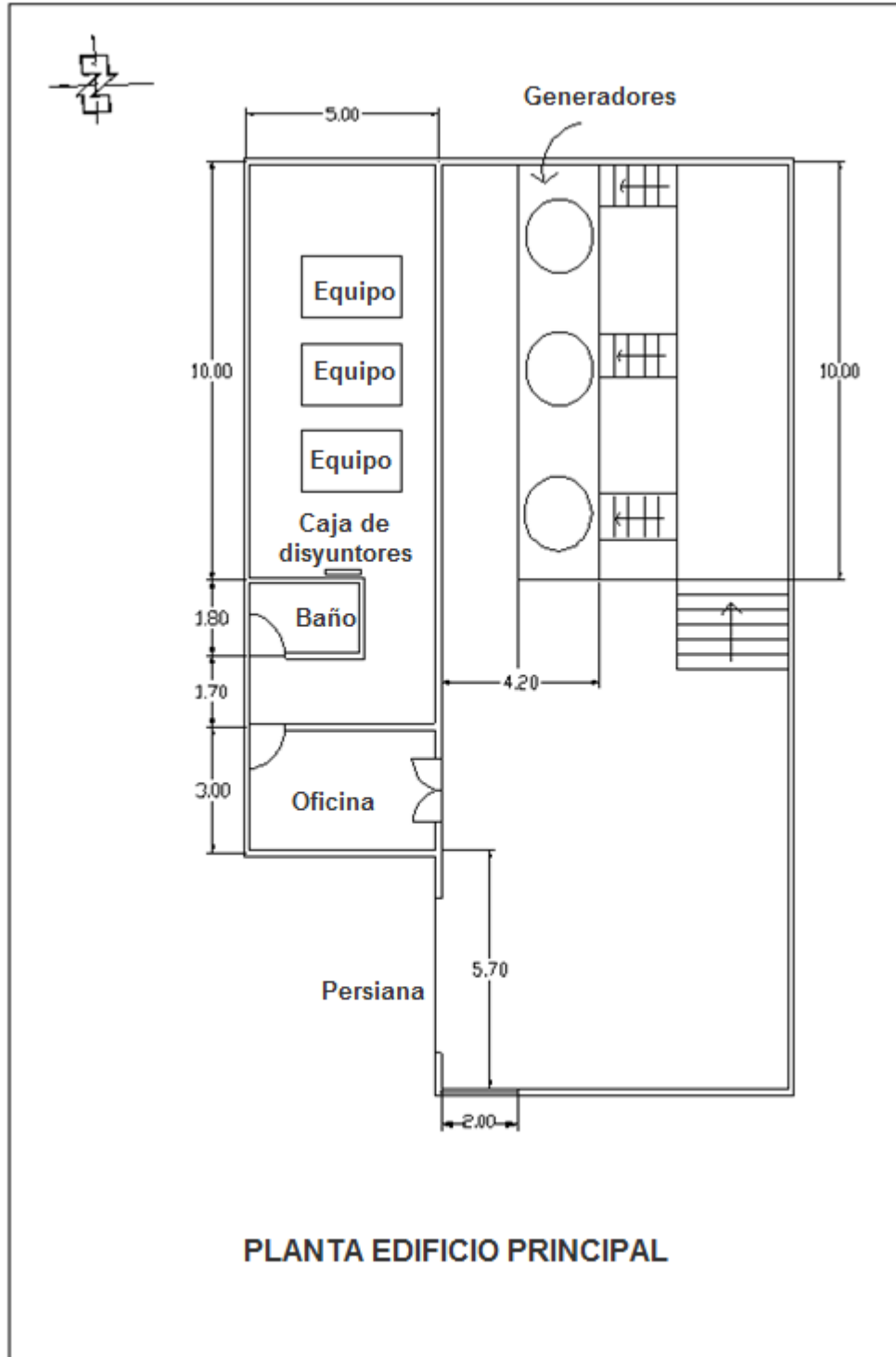
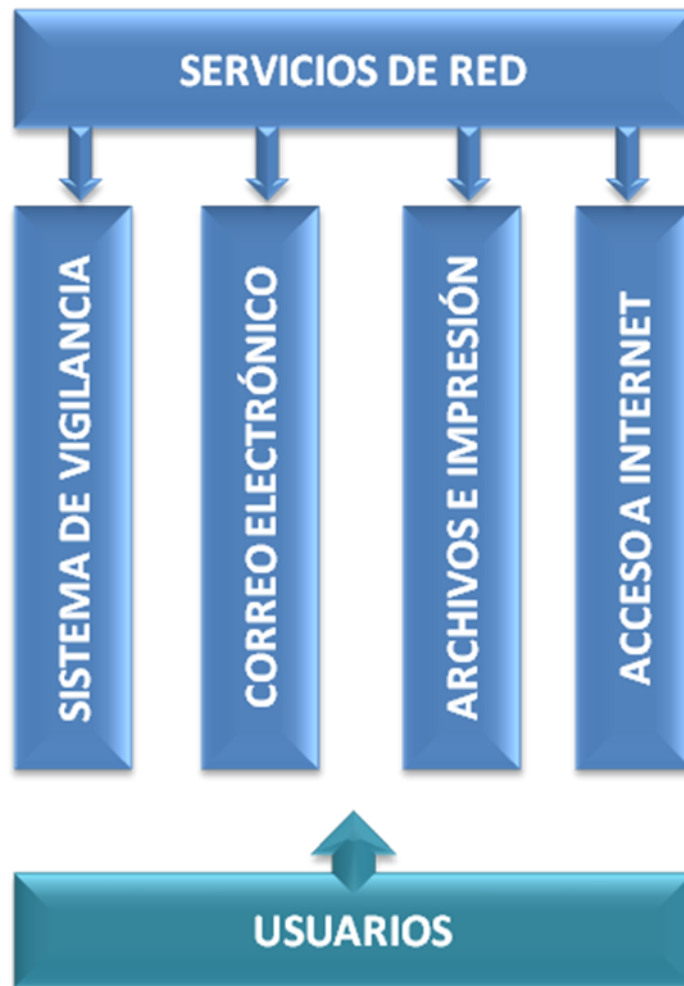


Figura 22. **Planta edificio principal Central Hidroeléctrica Poza Verde**



4.4 Requerimientos de la red

Figura 23. **Servicios de red requeridos**



Como se puede apreciar arriba, se necesita proveer a los usuarios de diferentes servicios, esto implica tener puntos de acceso a la red en las instalaciones de Central Hidroeléctrica Poza Verde, específicamente para el sistema de vigilancia se necesitará que estos puntos se encuentren, tanto en el edificio principal, campamento y garita.

4.5 Estándares y normas

En las posteriores secciones se encuentran las soluciones para implementar la red que necesita la Central Hidroeléctrica Poza Verde, en general se presentan dos soluciones. La primera solución utilizando tecnologías Ethernet y tecnologías PLC y la otra utilizando solamente tecnologías Ethernet. De esta forma antes de observar estas soluciones en esta sección, se presentan los estándares y normas tanto de las tecnologías Ethernet como con las tecnologías PLC.

4.5.1 Estándares y normas de Ethernet y cableado estructurado

La instalación, documentación, componentes y sistemas deben cumplir o exceder las siguientes especificaciones de la industria:

- ANSI/TIA/EIA-568-B.1 (y adenda) “Cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales. Parte 1: Requerimientos Generales”. Esta norma constituye la base de cableado, establece las especificaciones para el diseño e instalación de un sistema de cableado genérico. En ella se definen los requisitos y recomendaciones en cuanto a su estructura, configuración, interfaces, instalación, parámetros de desempeño y verificación. Además, en el addendum se encuentra:
 - Requisitos mínimos de curvatura, bajo condiciones de no carga.
 - Especificación de la puesta y unión a tierra para cable horizontal de par trenzado balanceado apantallado.

- Especificación de las distancias soportadas y atenuación de canal para aplicaciones de fibra óptica, clasificadas por tipo fibra.
 - Reconocimiento de la categoría 6 y del cableado de fibra óptica multimodo.
-
- ANSI/TIA/EIA-568-B.2 “Cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales - Parte 2: Componentes de Cableado de Par Trenzado Balanceado”: Esta norma especifica los requisitos mínimos para componentes reconocidos de par trenzado balanceado, usados en cableados de telecomunicaciones en edificios y campus (cable, conectores, *hardware* de conexión, cordones y *jumpers*).
 - ANSI/TIA/EIA-568-B.3 “Cableado de telecomunicaciones para edificios comerciales - Parte 3: Norma para componentes de Cableado de Fibra Óptica”: Esta norma especifica los requisitos mínimos para componentes de fibra óptica usados en cableados de telecomunicaciones en edificios y campus, tales como cable, conectores, *hardware* de conexión, cordones, *jumpers* y equipo de pruebas en campo.
 - TIA-569-B “Estándar de cableado de telecomunicaciones en edificios comerciales para rutas y espacios”.

- ANSI/TIA/EIA-606-A “Norma de Administración para la Infraestructura de Telecomunicaciones Comerciales”: El propósito de este estándar es proporcionar un esquema de administración uniforme que sea independiente de las aplicaciones que se le den al sistema de cableado, las cuales pueden cambiar varias veces durante la existencia de un edificio.
- ANSI-J-STD-607-A. “Requerimientos de tierra y protección para infraestructura de telecomunicaciones en edificios comerciales.”
- ANSI/TIA/EIA-758. Norma Cliente-Propietario de cableado de Planta Externa de Telecomunicaciones.
- IEC/TR3 61000-5-2 - Ed. 1.0 y enmiendas “Compatibilidad electromagnética (CEM) - Parte 5: Guías de instalación y atenuación Sección 2: Puesta a tierra y cableado”

4.5.2 Instituciones involucradas en las tecnologías PLC

Existen varias instituciones interesadas en el desarrollo de las tecnologías de comunicación por cables de energía eléctrica y, como se ha visto anteriormente, a lo largo del tiempo éstas han formado diversas alianzas para tratar de estandarizar totalmente las tecnologías PLC.

De estas instituciones o alianzas las más importantes han sido:

<i>HomePlug Powerline Alliance</i>
<i>ETSI (European Telecommunications Standards Institute)</i>
<i>IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)</i>
<i>UPA (Universal Powerline Association)..</i>

4.5.2.1 Home Plug PowerLine Alliance

Como se mencionó en capítulos anteriores, los estándares publicados por esta institución son:

- *HomePlug 1.0.*
- *HomePlug AV.*
- *HomePlug BPL.*
- *HomePlug CC.*

Es importante señalar que en la actualidad estos son los estándares que cumple la mayoría de dispositivos PLC que se encuentran en el mercado.

4.5.2.2 IEEE

IEEE es hoy en día, las instituciones más importantes en la elaboración de estándares a nivel mundial; el principal estándar para transmisión de datos a través de cableado por energía eléctrica, impulsado por esta institución es el IEEE P1901 (*IEEE P1901 Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications*).

No obstante P1901 aún se encuentra sólo como borrador y no ha sido adoptado ampliamente por los fabricantes de dispositivos que, en general siguen utilizando el estándar de *HomePlug*.

Los principales estándares de la IEE referentes a PLC son:

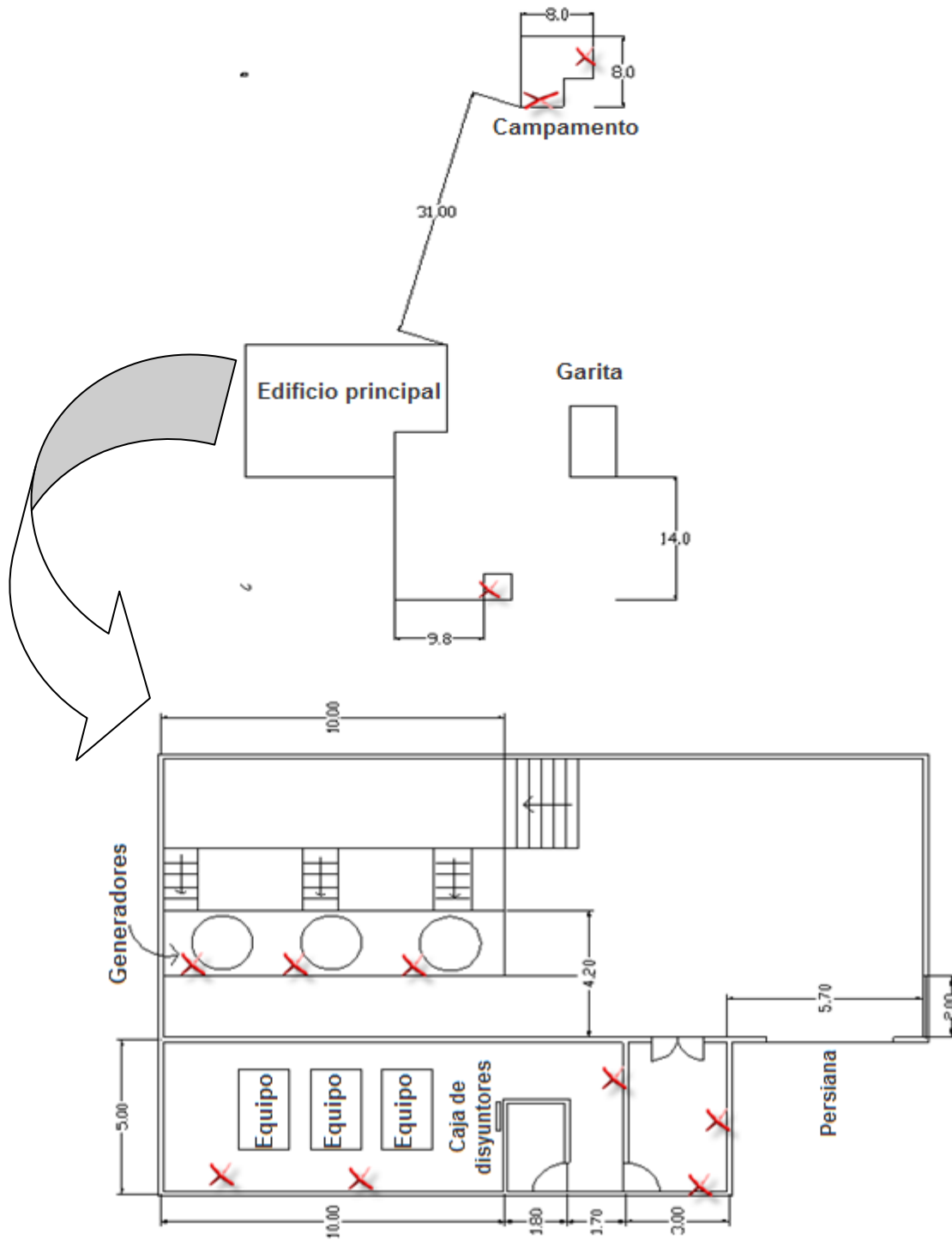
IEEE P1675
Estándar para el desarrollo de <i>hardware</i> PLC de banda ancha(<i>Standard for Broadband over Power Line Hardware</i>). Se trata de un grupo de trabajo especializado en instalaciones (<i>hardware</i>) y asuntos de seguridad para el uso de la tecnología PLC.
IEEE P1775
<i>Powerline Communication Equipment – Electromagnetic Compatibility Requirements - Testing and Measurement Methods</i>). Es un grupo de trabajo centrado en los requerimientos de compatibilidad electromagnética del equipamiento PLC y en las metodologías de pruebas y medición.
IEEE P1901
<i>IEEE P1901 Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications</i> . El objetivo de este grupo de trabajo es la definición de los procedimientos de control de acceso al medio y las especificaciones de capa física, para toda clase de dispositivos PLC.

4.6 Diseño de la red utilizando tecnologías PLC

Los puntos de conexión que se requieren se muestran en el diagrama siguiente.

Figura 24. Salidas de red requeridas para Central Hidroeléctrica Poza

Verde

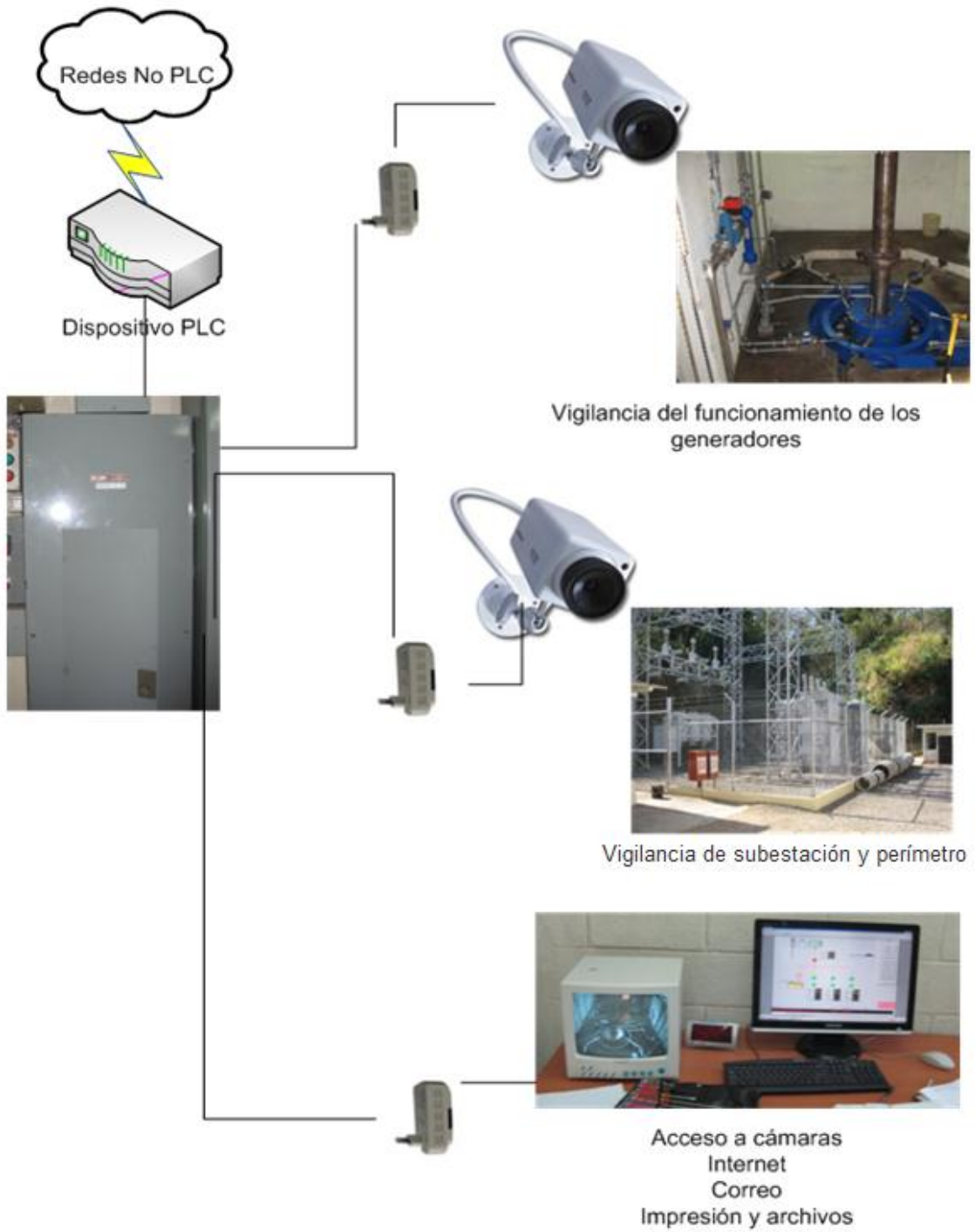


Las salidas consideradas en el diagrama cubren los requerimientos actuales de los usuarios. Estas salidas son las que se consideran en el diseño, sin embargo, es importante recalcar que si bien en este diseño no se definen explícitamente puntos extras para considerar el crecimiento de usuarios, o la necesidad de nuevos servicios en diferentes lugares, este crecimiento está considerado intrínsecamente dentro de las características de las tecnologías PLC, ya que se puede agregar una nueva salida en la red cuando se necesite y en cualquier lugar donde llegue la infraestructura existente de cableado eléctrico.

Específicamente las salidas de red que se necesitan se detallan a continuación:

Área	Número de salidas	Principal uso
Edificio principal (Área de equipo de control y administrativa)	5	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a Internet • Correo electrónico • Archivos e Impresión • Sistema de seguridad: acceso a cámaras de vigilancia
Edificio principal (área de generadores)	3	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de vigilancia <ul style="list-style-type: none"> ○ 3 cámaras
Garita de seguridad	1	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de vigilancia <ul style="list-style-type: none"> ○ 1 cámara ○ Acceso a cámaras.
Campamento	2	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a Internet • Correo electrónico • Acceso a cámaras de vigilancia.

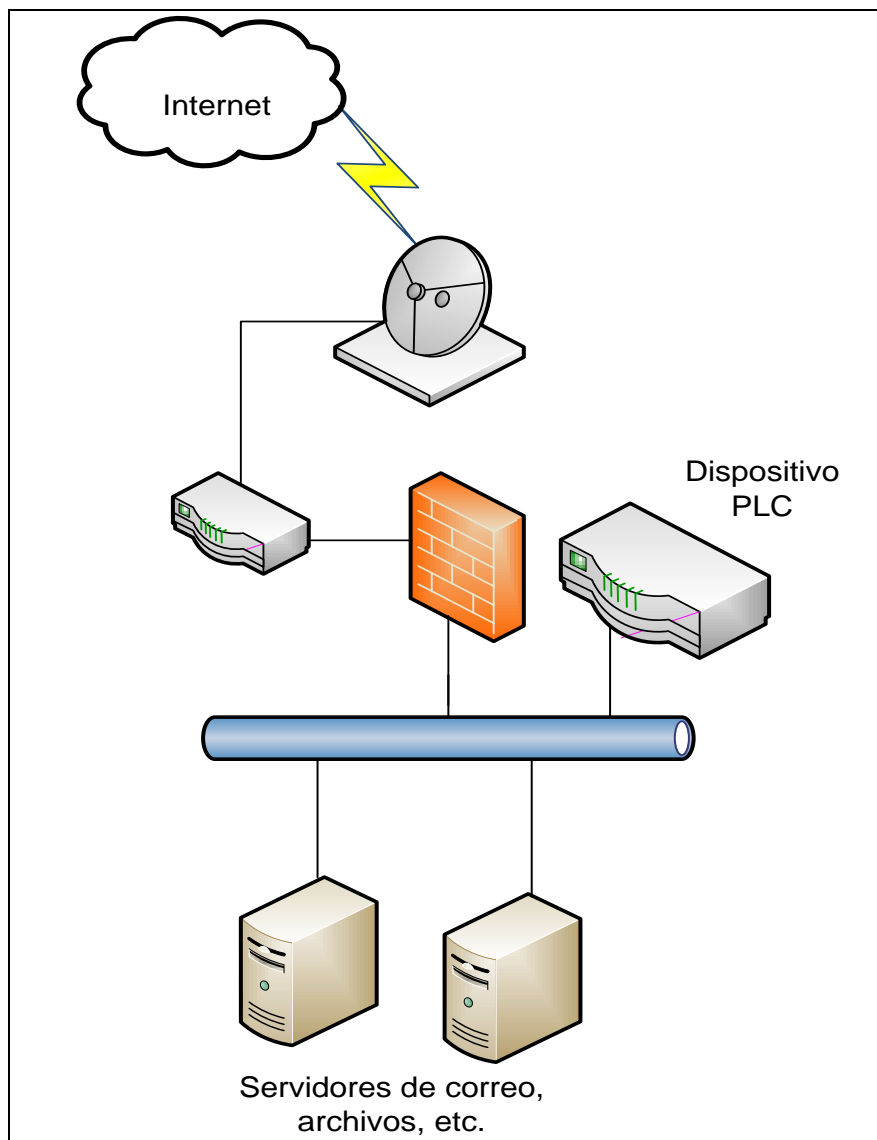
Figura 25. Diagrama de la solución con tecnología PLC para Central Hidroeléctrica Poza Verde



4.6.1 Conexión de la LAN PLC a internet y otros servicios

A continuación, se muestra el diagrama de cómo se conectan la red LAN PLC a Internet, así como a otros servicios que puede ser proporcionado por una red Ethernet u otro tipo de red.

Figura 26. **Conexión de la LAN PLC a Internet y otros servicios**



4.6.2 Dispositivos PLC por utilizar

A continuación, se presentan las características de los dispositivos PLC que se utilizarán.

Los dispositivos utilizados proveen una rápida solución para redes sin instalación de cables adicionales, con una velocidad mayor a 200Mbps, además cuentan con QoS con lo cual se mejora la transmisión de datos video y voz. Además, la distancia máxima entre estos dispositivos es de 500 metros con lo que se tiene el suficiente alcance para llegar a cualquier parte de la Central Hidroeléctrica Poza Verde.

Especificaciones de los dispositivos	
Temperatura y humedad de operación	0 – 40 °C (32- 104°F)
Velocidad	Arriba de 200 Mbps en la capa física
Interfaces	10/100 Base T <i>Fast Ethernet</i> , cables de energía eléctrica
Seguridad y electromagnetismo	FCC Part 15. EN55022 EMC
Consumo de energía	4W
Entrada de poder	110V AC, 50~60 Hz
Rango de frecuencia usado	2~32 MHz
LED	Poder <i>On</i> (Encendido) PLC <i>link/activity</i> (actividad PLC) Ethernet <i>link</i> (conexión Ethernet)
Estándares contemplados	IEEE 802.3u 802.1 P 802.1 Q

Tipo de conexión AC	US, EU, UK, AUS
Seguridad de transmisión	Por encriptación y por VLAN

A continuación, se presentan los dispositivos PLC que se plantean usar por cada área.

Elemento	Edificio principal	Campamento	Garita
Dispositivo PLC de 1 puerto	7	2	1
Dispositivo PLC de 4 puertos.	1	0	0


<p>Dispositivo PLC de 1 puerto Adaptador Ethernet de bajo voltaje de tipo conexión a pared</p>


<p>Dispositivo PLC de 4 puertos Adaptador Ethernet de bajo voltaje de 4 puertos LAN</p>

4.6.3 Mantenimiento

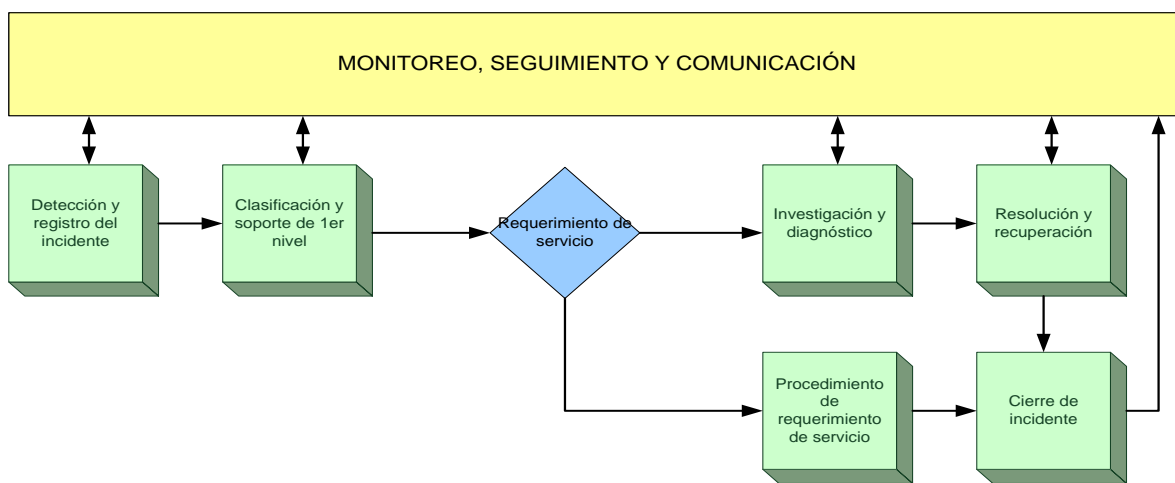
Respecto al mantenimiento de las redes PLC, existen dos diferentes roles los cuales hay que prever.

- Rol electricista: podría resolver todos los problemas relacionados a conexión, fuente de energía, apagones, etc.
- Rol técnico: podría resolver todos los problemas relacionados con *hardware*, configuración, ajustes, etc.

Además, es recomendable una priorización de incidentes y el tiempo de resolución de estos.

- Urgente. Los dispositivos más críticos en términos de afectar el funcionamiento de la organización.
- Alta prioridad. Segmentos
- Media prioridad.
- Baja prioridad. Usuarios individuales cuyas actividades en la red sean ocasionales.

Figura 27. Proceso de gestión de incidentes



4.6.4 Costo de la red utilizando tecnologías PLC versus Ethernet

4.6.4.1 Presupuesto de red LAN utilizando tecnologías PLC

A continuación, se muestra el valor de cada uno de los elementos utilizados en la red, el número de unidades que se requieren, así como el costo de implementar la red LAN.

Tabla 3: **Presupuesto de red LAN utilizando tecnología PLC**

Elemento	Costo unitario en USD	Cantidad de elementos	Costo total en USD
Dispositivo PLC de 1 puerto	110	9	990
Dispositivo PLC de 4 puertos	224	1	224
Sub total:			1214
Costo de instalación:			210
Total:			1424

4.6.4.2 Presupuesto de red LAN utilizando tecnologías Ethernet

Antes de exponer los costos para esta red, se verán unos aspectos fundamentales de la red utilizando tecnologías Ethernet.

Puntos de red: la cantidad de puntos se puede observar en la siguiente tabla, cabe resaltar que estos puntos así como lo tratado en esta sección, corresponde a la red diseñada con tecnología PLC y no a la red total de Central Hidroeléctrica Poza Verde.

Área	Número de salidas
Edificio Principal	10
Garita de Seguridad	1
Campamento	2

Salidas: cada salida está compuesta por conectores RJ45 y cajetines, las salidas se ubican a 50 cm sobre el piso. Para llegar a los distintos puntos de red se utiliza tubos flexibles y canaletas.:

Cálculo del cableado: el cálculo del cableado se hace siguiendo estos pasos:

- Ubicación de las salidas.
- Determinar la ruta del cableado. Esto hace referencia al camino que van a tomar desde el cuarto de telecomunicaciones hasta las salidas.
- Medir las distancias hacia cada punto para determinar la longitud del cable UTP. La longitud de cable UTP se obtiene a partir de mediciones sobre los planos de Central Hidroeléctrica Poza Verde.
- Obtener la cantidad de tubo conductor necesario.
- Obtener la cantidad de canaleta. La finalidad de la canaleta es darle un buen aspecto al cableado que llega al punto de red en el área de trabajo.

Tabla 4: Presupuesto de red LAN utilizando cableado con UTP

Elemento	Valor en USD	Cantidad	Total en USD
Enchufes(jack) RJ45	6.12	13	79.56
Cajetines	10.00	13	130.00
Cable UTP por metro	0.52	180	93.60
Tubo Flexible por metro	3.88	75	291.00
Canaleta 2.5 m	3.56	30	106.80
Costo Instalación por salida	35.00	11	385
Trabajos de Obra Civil Adicional			1036
Total			2121.96

4.6.4.3 Comparación

Como se ha hecho evidente a lo largo de los capítulos anteriores, la realización de una red utilizando tecnología Ethernet con cableado estructurado, implica mayor tiempo al tener que realizar obra civil además de la instalación propia de los dispositivos de red y mayor cantidad de elementos, ya que cuando se realiza el cableado se debe tomar en consideración el crecimiento, esto es una clara desventaja frente a las redes que utilizan tecnología PLC, las cuales pueden implementarse solamente con las salidas necesarias en un momento dado e ir agregando dispositivos según se necesite.

Ya son muchos años los que el cableado estructurado de Ethernet ha sido la solución para redes LAN por lo cual ésta es una tecnología conocida y confiable. Por su parte, la tecnología PLC aún no es familiar y por lo cual por muchos no es percibida como una tecnología confiable, cabe resaltar en este apartado que ésta es una tecnología confiable dependiendo del estado de las instalaciones eléctricas.

En cuanto a costos específicamente, un proyecto emprendido con tecnologías PLC será por lo general más barato, específicamente en la red de Central Hidroeléctrica Poza Verde de 1424 USD y un proyecto que se realice con cableado estructurado representará una erogación más grande, para la red de Central Hidroeléctrica Poza Verde de 2,121.96 USD. De esta forma el proyecto utilizando tecnologías PLC tendría un costo del 67% de lo que costaría realizarlo con tecnologías Ethernet.

5. CONCLUSIONES

1. La comunicación por medio de cables de energía eléctrica si bien no corresponde exactamente las capas del modelo OSI, su funcionamiento sí es por medio de capas, entre las cuales se encuentran a las capas: de convergencia, control de enlace lógico (LLC), control de acceso al medio (MAC), capa física y una capa de administración.
2. La tecnología PLC funciona como una caja negra que entrega paquetes a la capa de red.
3. Las tecnologías de comunicaciones por medio de cables de energía eléctrica, son tecnologías que ya llevan tiempo en el mercado, evolucionando desde dispositivos con poca capacidad de transmisión a las actuales tecnologías PLC, las cuales brindan una alternativa viable frente a las tecnologías Ethernet.
4. Las tecnologías PLC tienen una gran integración con otras tecnologías lo que permite combinar dispositivos PLC con otras tecnologías y obtener mejores soluciones.
5. Combinar tecnologías PLC con tecnologías inalámbricas es una práctica común que aprovecha ventajas de ambas tecnologías.

6. Se necesita más tiempo de diseño para una red con cableado estructurado en comparación con una red con tecnologías PLC.
7. En el mercado existe diversidad de dispositivos PLC, los cuales ya presentan velocidades de 200 Mbps en la capa física.
8. Si bien en el mercado internacional existe diversidad de dispositivos PLC, dentro del mercado local no hay tanta disponibilidad como hay para cableado estructurado, lo cual repercute en que las tecnologías PLC no sean explotadas completamente en el medio local.
9. Las tecnologías PLC por lo general, presentarán una solución más barata a las soluciones con cableado estructurado, sin embargo, la diferencia de costos varía dependiendo en gran parte de la obra civil necesaria para poder realizar el cableado estructurado.

6. RECOMENDACIONES

1. Las tecnologías PLC para la implementación de una red LAN no es recomendable en redes eléctricas en mal estado, ya que esto puede provocar pérdidas; los cables también pueden actuar como antenas causando interferencia y errores en general en la transmisión.
2. Para elegir los dispositivos a utilizar en redes PLC, un parámetro importante es la garantía del dispositivo, claro está que esto también debe estar balanceado con el costo del dispositivo.
3. Las tecnologías PLC son una opción para la realización de redes de datos, sin embargo, para decidir la utilización de éstas se deben conocer los requerimientos de los usuarios para verificar que estas tecnologías puedan cumplirlos.
4. Para verificar si se cumplirá con los requerimientos, se pueden realizar pruebas de forma práctica con dos dispositivos PLC, los cuales son completamente recuperables, si se establece que estas tecnologías, con las condiciones dadas, no cumplen con los requerimientos.
5. Al realizar pruebas con dos dispositivos para verificar el funcionamiento futuro de la red PLC, debe considerarse que el ancho de banda se dividirá dentro de los usuarios que utilicen la red al mismo tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ashwin Gumaste y Tony Antony. ***First mile access networks and enabling technologies***. Estados Unidos de Norte América: Cisco Press, 2004. 312pp.
2. Barcel José Maria y otros. **Redes de computadoras**. España: Eureka Media, 2004. 352pp.
3. Chouinard, G. ***Power-line communications (PLC) or broadband-over-power-line (BPL)***. Canada: CRC, 2004. 6pp.
4. Cisco Systems. **Academia de networking de Cisco systems: guía del primer año**. 3era. Edición. Estados Unidos de Norte América: Pearson Educación, 2004.1016pp.
5. Cisco Systems. ***Internetworking technologies handbook***. 4ta. Edición. Estados Unidos de Norte América: Cisco Press, 2003. 1128pp.
6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. **Normas técnicas del servicio de distribución –NTSD- resolución CNEE No.- 09-99**. Guatemala: CNEE, 1999.
7. Congreso de la República de Guatemala. **Ley general de electricidad DECRETO No. 9396** Guatemala: 1996.

8. *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations. PLT, DSL, cable communications, LANs and their effect on radioservices.* Croacia: *Electronic Communications Committee (ECC)*, 2003. 112pp.
9. Eyler, Pat. **Guía avanzada redes Linux con TCP/IP.** España: Pearson Education. S.A. 2001. 417pp.
10. García, Elisa y otros. **El proyecto OPERA (Open PLC European Research Alliance).** España: IBERINCO, 2008. 5pp.
11. Group IEEE P1901. **IEEE Draft standard for broadband over power line networks: médium access control and physical layer specifications. IEEE P1901.** Estados Unidos de Norte América: IEEE, 2010.
12. Kang, Joon-Myung y otros. **Design and implementation of network management system for power line communication network.** Italia: *IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications.* 2007. 6pp.
13. Lee, M. K. y otros. **HomePlug 1.0 powerline communication LANs – Protocol description and performance results.** Estados Unidos de Norte América: *International journal of communication systems*, 2002. 25pp.
14. Open PLC *European Research Alliance.* **First draft of the OPERA specification version 2.** Estados Unidos de Norte América: IEEE, 2007. 447pp.

15. OPERA (*Open PLC European Research Alliance*). <http://www.ist-opera.org>. 2010
16. PLCVENTURES *Electric Broadband Access*. **PLC como tecnología de última milla**. Peru: Foro “Nuevas tecnologías para el acceso a la última milla”, 2006. 24pp.
17. Prop, Michel. ***The use of reliable powerline communications in telemanagement trials***. Unidos de Norte América: *Adaptive Networks, Ink*. 2004. 8pp.
18. Shaughnessy, Tom y Toby Velte. **Manual de Cisco**. Mexico: MacGraw-Hill, 2002. 664pp.
19. Serra. Xavier Hesselbach y Jordi Altés Bosch. **Análisis de redes y sistemas de comunicaciones**. España: Ediciones UPC, 2002. 186.
20. Vamsi, Paruchuri. y otros. **Securing powerline communications**. India: ORDYN, 2008. 6pp.