

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE RED DE DATOS CON TECNOLOGÍA PLC (POWER LINE COMMUNICATION) PARA LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS- ESPE

Orbea Mirian, Chacha Magaly
Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Latacunga – Ecuador

Resumen – El proyecto tiene como propósito implementar una red de datos con tecnología PLC (Power Line Communications) en el Laboratorio de Comunicaciones de la ESPE Extensión Latacunga.

En la primera etapa se realizará un análisis de la red eléctrica existente en el Laboratorio de Comunicaciones para tener un enlace dedicado que permita aplicar esta tecnología y mediante equipos PLC tener acceso a los servicios de una red de datos bajo Software libre.

La segunda etapa será adquirir los equipos adecuados PLC (Power Line Communications), previamente analizados para obtener el buen funcionamiento en la red propuesta.

La tercera etapa es la conexión física entre ordenadores y equipos PLC, situados de forma que la señal inyectada consiga conectividad en todo el centro del laboratorio. Una vez que las conexiones físicas están hechas, instalaremos el [software](#) libre para detectar todos los nodos en la red.

Se realizará la configuración de los equipos para dar servicios de red como WEB, E- Mail, FTP, DNS y monitoreo para analizar la compatibilidad de tecnologías, aplicabilidad y las bondades de esta tecnología en una red de datos.

Además las comprobaciones de cobertura, verificando el grado de la señal PLC en la red eléctrica del Laboratorio, lo que permitirá comprobar la calidad de la transmisión en los diferentes puntos y la evaluación tanto de la necesidad de eventuales equipos repetidores en la red PLC como la posible ubicación de los mismos.

Palabras Claves.- PLC (POWER LINE COMMUNICATIONS), RED ELÉCTRICA, BANDA ANCHA, RED DE DATOS

I. INTRODUCCIÓN.

Hoy día, a pesar del gran valor que han adquirido todas las formas de comunicación a distancia, existen todavía muchos países, especialmente aquellos en vías de progreso o tercermundistas, donde no todas las personas tienen la posibilidad de beneficiarse de servicios como el internet, la telefonía y televisión por cable. En este sentido, Ecuador no

es la excepción, ya que existen zonas del país que aún están incomunicadas, lo cual se debe principalmente a que las comunidades se encuentran excluidas de las centrales de distribución, los recursos económicos de la población son muy bajos y no pueden costear las tarifas que conlleva el acceso a este servicio.

En un tiempo como el que se vive en la actualidad, en el que la situación económica no favorece a una importante parte de la población, resulta difícil incluir en el presupuesto de gastos aquellos servicios, que si bien son necesarios, no son indispensables como el agua y la luz, entre otros. Por otra parte existe un inconveniente que tiene que ver con la zona geográfica en la que se requiere el acceso a Internet, ya que si está muy alejada de la ciudad corre el riesgo, de que al solicitar alguno de estos servicios le sea negado, porque la compañía proveedora todavía no cuenta con la plataforma tecnológica adecuada para llegar a algunos lugares.

Por las razones explicadas anteriormente se toma como alternativa a la red eléctrica ya que esta es la más extensa del mundo, está formada por miles de kilómetros de cable, llega a millones de personas y ofrece servicios incluso a aquellos lugares donde no hay teléfono. Utilizar esa extensa red para la transmisión de voz y datos, conectarse a Internet a gran velocidad y usar la línea telefónica en cualquier enchufe no es una quimera o una historia de ciencia ficción, es una realidad tangible que se llama Power line Communications (PLC).

Actualmente en el Ecuador existen un gran interés por esta tecnología PLC e incluso ya se han realizado pruebas piloto obteniendo excelentes resultados, por tanto se tiene grandes perspectivas en el futuro con la tecnología PLC y se anuncia excelentes resultados en su utilización, entre los usos recientes que se han dado en Ecuador se tiene:

1.- Las Telecomunicaciones en CELEC EP - TRANSELECTRIC, constituyen el pilar fundamental en donde se soportan los servicios para el Sistema Nacional

Interconectado (SNI) como son tele protección, canales de voz y datos en tiempo real. Desde hace 25 años se ha operado y mantenido un Sistema de Telecomunicaciones que utiliza Onda Portadora (PLC) a través de las líneas de alta tensión del Sistema Nacional de Transmisión (SNT), con resultados altamente satisfactorios [3].

2.- Análisis de Eficiencia y Rendimiento de la implementación de Servicios Triple – Play sobre Tecnología PLC (Power Line Communications) .- Se presenta un análisis del rendimiento y eficiencia de servicios Tile Play utilizando la red eléctrica como medio físico de transmisión en el DEEE de la Escuela Politécnica del Ejército, especialmente en el Laboratorio de Networking. El análisis considera la utilización de estándar Home Plug 1.0 [4].

3. Propuesta de la Prestación de Servicios de Banda Ancha Mediante el Empleo Conjunto de Tecnologías CATV (Redes De TV Por Cable) Y PLC. - Se realiza el estudio y diseño de una red de área local bajo tecnología de comunicación por red eléctrica (PLC), para el Laboratorio de electricidad de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Guayaquil [5].

Este informe tiene como objetivo explicar el funcionamiento de la tecnología PLC (Power Line Communications), considerando que esta es de gran importancia debido a sus altas velocidades de Tx (transmisión) de datos, una instalación rápida y un coste competitivo con otras tecnologías alternativas; además de alcanzar a lugares donde no llega el cable telefónico, pero si la electricidad por medio de sus tendidos de redes eléctricas actuales.

El estudio permitirá realizar un prototipo para que los docentes y estudiantes accedan a servicios de voz, datos y multimedia por la red eléctrica, con velocidades mayores a las actuales, tener compatibilidad con redes inalámbricas para la movilidad de equipos o usuarios dentro de la red, optimizando papeleo, tiempo y recursos.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1 CONCEPTO PLC(Power line Communications)

Power Line Communications (PLC) es una tecnología que aprovecha las líneas eléctricas existentes para transmitir señales de datos, permitiendo a los dispositivos conectarse en red sin introducir ningún nuevo cable [1].

Esto se consigue mediante la impresión de una señal modulada a una cierta frecuencia de portadora en una línea de energía para hacer uso de la estructura existente y por lo tanto evitar los costos de tendido de cables. PLC puede ser clasificado como de banda ancha o la tecnología de banda estrecha. Power Line Communications de banda estrecha se

utiliza para las frecuencias más bajas, típicamente menos de un mega Hertz mientras la banda ancha PLC funciona para frecuencias en la gama de 1-30 MHz [1].

2.2 ARQUITECTURA DE REDES POWER LINE COMMUNICATIONS

La Tecnología Power Line Communications (PLC) utiliza dos sistemas de distribución, de media y baja tensión, como medio de transmisión para llegar a los abonados, en la figura II.1, se muestra la arquitectura básica de la red Power Line Communications (PLC)"

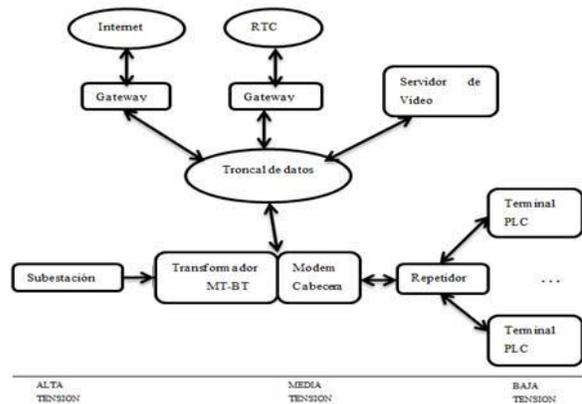


Figura II.1 Arquitectura de una Red PLC [6].

El primer sistema de MT (Media Tensión) comprende la red eléctrica que va desde el transformador de distribución hasta el medidor de energía eléctrica. Este sistema es administrado por un modem cabecera que conecta la red eléctrica con la troncal de datos o backbone, de esta manera el modem cabecera inyecta a la red eléctrica la señal de datos que proviene de la red de transporte o línea de media tensión.

El segundo sistema se denomina BT (Baja Tensión), y cubre el tramo que va desde el medidor del usuario hasta todos los toma corrientes o enchufes ubicados al interior de los hogares, utilizando como medio de transporte el cableado eléctrico interno.

Para conectar los sistemas de MT y BT se utiliza un equipo repetidor y un Modem Terminal PLC que recogen la señal directamente de la red eléctrica a través del enchufe. De esta forma tanto la energía eléctrica como las señales de datos que permiten la transmisión de información, comparten el mismo medio de transmisión, es decir el conductor eléctrico.

El MODEM TERMINAL PLC, dispondrá de un puerto para conectarse a la red eléctrica y otro a la placa ethernet para conectar un computador, un teléfono IP u otro equipo de comunicaciones que posea una interfaz ethernet.

La Red Telefónica Conmutada (RTC) es la red de telecomunicaciones que básicamente sirve de soporte para la transferencia de voz y de información de audio entre terminales situados en ubicaciones fijas [2].

2.2.1 ELEMENTOS DE UNA RED PLC

Los elementos básicos de la red PLC, son necesarios para realizar una comunicación sobre las tomas de energía eléctrica. La tarea principal de los elementos básicos es la preparación de la señal y conversión para su transmisión sobre los cables de energía eléctrica, así como también la recepción de la señal. Los siguientes dos dispositivos son necesarios en cada red de acceso PLC.

- Modem PLC
- Estación base PLC
- Repetidor
 - Gateway

2.3 TOPOLOGÍA DE LAS REDES DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN

La topología de una red de acceso PLC está dada por la topología de la red de energía eléctrica de baja tensión usado como medio de transmisión. En esta sección, se discuten varias configuraciones de las redes de acceso PLC, su influencia en la topología de la red y la organización de las comunicaciones en la red. El impacto causado por el uso de elementos adicionales en la red (Repetidores y entradas) y sobre todo el cambio en su estructura [9].

La topología de una red de energía eléctrica de baja tensión para PLC también se diferencia de un lugar a otro y depende de varios factores, como por ejemplo [9]:

- Localización de la red
- Densidad de abonados
- Longitud de la red
- Diseño de red

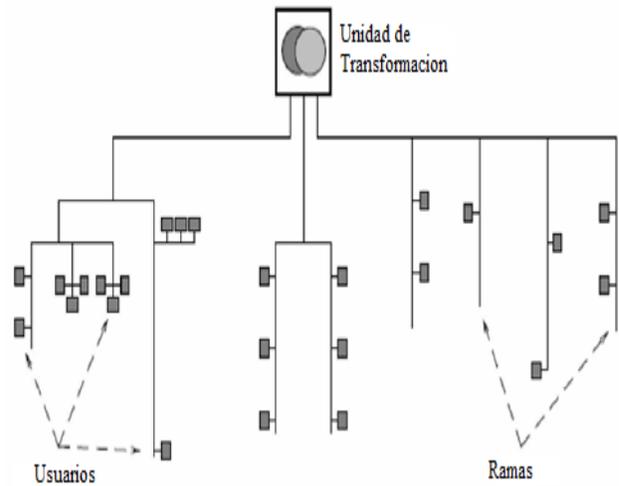


Figura II.2 Posible topología de una red de baja tensión [9].

Las redes de energía eléctrica de baja tensión se diferencian una de la otra y no es posible especificar una estructura típica de la red para ellas. Sin embargo, es posible definir y describir una estructura aproximada de una red típica para PLC con algunos valores característicos, como se nombra a continuación:

- Número de usuarios en la red: ~250 a 400
- Número de secciones de la red: ~5
- Número de usuarios en una sección de la red: ~50 a 80
- Longitud de la red: ~500 m.

Las redes de energía eléctrica de baja tensión con una topología general como la que se presentó anteriormente, se utiliza como medio de transmisión para las redes de acceso PLC. Sin embargo, existen varias opciones para la organización de los sistemas del acceso PLC usando la misma red de energía eléctrica o las múltiples redes (ramas) de baja tensión [6].

2.4 ESTRUCTURA DE LAS REDES DE ACCESO PLC

La estructura de una red PLC se basa en las redes baja tensión, están compuestas por un transformador y un número de cables que suministran energía a los usuarios finales conectados a la red por medidores de energía. Un sistema de transmisión PLC utiliza la red de baja tensión y la usa como un medio para realizar la conexión de acceso PLC. De este modo, las redes de baja tensión pueden ser utilizadas para una comunicación con otras redes.

Las redes de acceso PLC están conectadas a las redes principales de comunicación WAN por una estación base maestra (BS), usualmente colocada después del transformador. Muchas utilidades del servicio de energía

eléctrica se pueden crear colocando equipos PLC en los transformadores y conectándolos con una red convencional de telecomunicaciones.

Enfocándose a los abonados de PLC se establece los dos tipos de conexión que se puede usar, como son:

a) El modem PLC está conectado a la unidad de medición del consumo eléctrico, donde el usuario utiliza otra tecnología de comunicación para desplegar los datos en la residencia o edificación.

b) La instalación eléctrica interna es el medio de comunicación llamado también in-home. Para extender la explicación de la estructura, se muestra la figura II.3 a continuación [6].

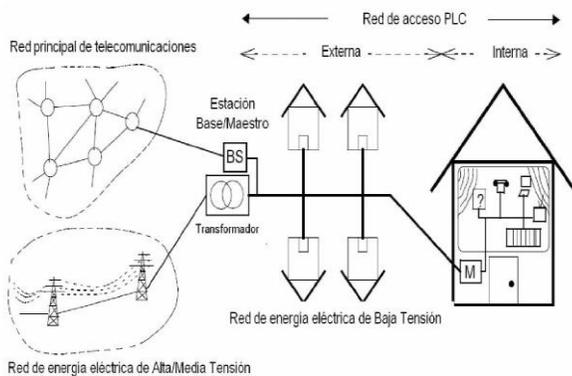


Figura II.3 Estructura de una red PLC [6].

2.6 SISTEMAS DE ACCESO PLC

El acceso PLC está reglamentado por varios elementos de la red, básicamente la comunicación dentro de una red de acceso PLC está dada entre una subestación y un número de módems PLC, los suscriptores PLC y sus dispositivos de comunicación.

Se presenta algunos aspectos para realizar sistemas de acceso PLC, como la transmisión, los protocolos y la arquitectura implementada dentro de los elementos de la red [6].

2.6.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA PLC

El intercambio de información entre usuarios distantes parece ser muy compleja. Los dispositivos de Comunicaciones utilizados pueden diferir el uno del otro, y el flujo de información entre ellos pueden llevarse a

cabo a través de múltiples redes, que puede aplicar diferentes tecnologías de transmisión.

Para entender las complejas estructuras de comunicación, el proceso de comunicación ha sido universalmente estandarizado y organizado en capas jerárquicas individuales de comunicación

El modelo de referencia ISO / OSI (Organización Internacional de Normalización) como se muestra en la figura II.4, el cual se utiliza principalmente para la descripción de los diversos sistemas de Comunicaciones. Se compone de siete capas, cada uno de ellos lleva una función definida con precisión (o varias funciones). Cada capa superior representa un nuevo nivel de abstracción en comparación con la capa inferior.

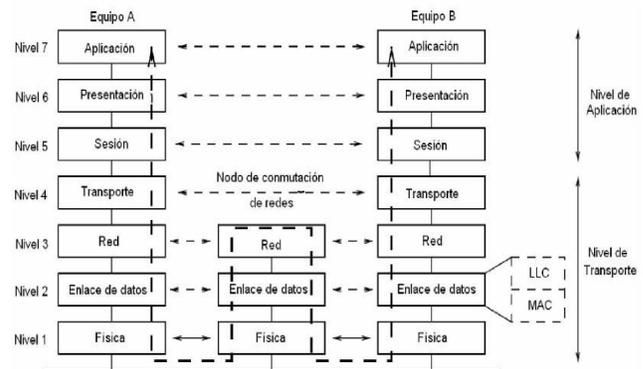


Figura II.4 Medio de transmisión (p. ej. PLC) [6].

Por lo tanto se dará una breve descripción de las funciones definidas en el modelo correspondiente al sistema PLC, con el fin de poder definir los niveles empleados.

- **Capa 1 - Capa Física** - Considera la transmisión de bits sobre un medio de comunicación, incluyendo las características eléctricas y mecánicas de un medio de transmisión, sincronización, codificación, modulación de señal.
- **Capa 2 - Enlace de datos** - se divide en dos subcapas.

MAC - Control de Acceso al Medio. - Especifica el acceso a los protocolos

LLC - Control de enlace lógico. - Considera la detección y corrección de errores y control de flujo de datos.

- **Capa 3 - Capa de red** - Es responsable de la estructuración y terminación de conexiones de red, así como enrutamiento.
- **Capa 4 - Capa de Transporte** - Considera el transporte de datos de extremo a extremo que incluye la

segmentación de los mensajes transmitidos, control de flujo de datos, gestión de errores, seguridad de datos.

- **Capa 5 - Capa de sesión** - Controla la comunicación entre terminales participantes (dispositivos).
- **Capa 6 - Capa de Presentación** - transforma las estructuras de datos en un formato estándar para la transmisión.
- **Capa 7 - Capa de Aplicación** - Proporciona una interfaz para el usuario final.

Las estaciones base y los módems PLC proporcionan una interfaz específica para su conexión con el medio de transmisión de línea eléctrica como se muestra en la figura II.5. Por otra parte, las interfaces para la conexión a las redes de distribución y las redes principales, así como también a varios dispositivos de Comunicaciones, están realizadas de acuerdo con las tecnologías de comunicación aplicados en la red y en los dispositivos finales, los cuales son especificados en las correspondientes normas de telecomunicaciones.

La interconexión entre otras tecnologías de Comunicaciones PLC y se lleva a cabo en la tercera capa de red, que también está estandarizado. La interfaz específica PLC incluye los primeros dos niveles de red: la capa física y el Control de Acceso al Medio (MAC) y subcapas Control Lógico de Vínculos (LLC) La capa física PLC está organizada de acuerdo a las características específicas del medio de transmisión de línea eléctrica [6].

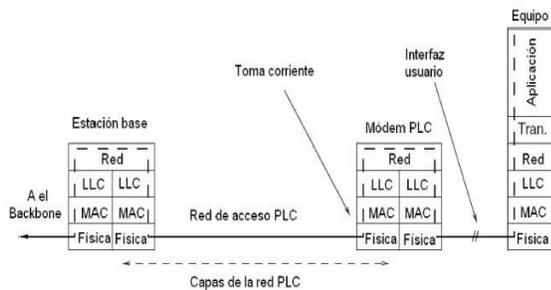


Figura II.5 Capas de la Red PLC Fuente: [6].

2.6.2 TÉCNICAS DE MODULACIÓN PARA SISTEMAS PLC

La elección de la técnica de modulación para un sistema de comunicación está dada por la naturaleza y las características del medio en el cual tiene que funcionar. La Red de energía eléctrica como medio de transmisión de la señal de comunicación presenta dificultades, entre ellas el ruido. La no-linealidad del medio haría que el demodulador fuera muy complejo y caro, haciendo casi imposible la conversión de tantos datos por encima de 10 Mbps, utilizando un solo tipo de demodulador. Por lo tanto, la modulación PLC debe

vencer este problema sin que sea necesario utilizar una tecnología muy complicada.

Investigaciones han enfocado la atención e dos técnicas de modulación que han demostrado ser buenas en ambientes difíciles y estas se adaptaron para diferentes sistemas de banda ancha. La primera es OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia), y la tecnología DSL. En segundo lugar, la modulación por propagación de espectro, la cual es ampliamente usada en aplicaciones inalámbricas, ofreciéndole una modulación adecuada para ser utilizada con una gran variedad de esquemas con accesos múltiples [6].

2.6.3 PRINCIPIOS DE MODULACIÓN

MCM (MultiCarrier Modulation): Modulación multiportadora (MCM) Es el principio de transmitir datos mediante la división de corriente en varios bits de corrientes paralelas, cada una tiene una tasa de bits más pequeña, pero utiliza varias sub-portadoras para modular estas sub-corrientes.

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal es una forma especial de MCM con sub-portadoras densamente esparcidas y los espectros propagados, como se muestra por la representación de la señal OFDM en el dominio de la frecuencia como muestra la figura II.6 Para permitir una recepción libre de error en la señal OFDM, se debe hacer que las formas de onda de las sup-portadoras sean ortogonales una de la otra.

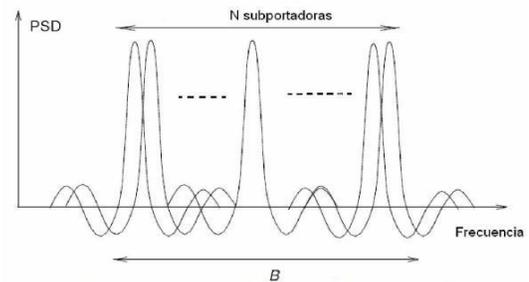


Figura II.6 Representación de OFDM en el dominio de la frecuencia [6].

Usualmente, los sistemas OFDM son diseñados a fin de que cada sub-portadora sea lo suficientemente estrecha, para experimentar un desvanecimiento en la frecuencia. Esto también le permite a las sub-portadoras permanecer ortogonales cuando la señal es transmitida, sobre un canal selectivo de frecuencia e invariante en el tiempo. Si una señal en una modulación por OFDM es transmitida sobre tal canal, cada sub-portadora experimenta una atenuación diferente, codificando la sub-corriente de datos, estos errores tienen más probabilidad de ocurrir en la sub-portador gravemente atenuada, esto es detectado y normalmente corregido en el aparato receptor por medio de códigos de corrección de errores [6].

2.6.4 ELECCIÓN DEL ESQUEMA DE MODULACIÓN PARA SISTEMAS PLC

Varias investigaciones se han llevado a cabo para encontrar implementaciones adecuadas de OFDM para redes PLC. Para evitar la pérdida de señal OFDM sobre el canal de transmisión, se debe ser selectivo en la frecuencia con más pérdidas.

Esta solución consiste en controlar el poder de la transmisión de cada sub-portadora de señal OFDM, para maximizar al SNR común de cada sub-portadora de señal recibida.

Esto controla la regulación de potencia total transmitida. La mejora para este control es propagando las sub-corrientes en la salida, con un convertidor de salida serial a paralelo. Un sistema OFDM subdivide la información original en tres datos paralelamente agrupados, donde cada grupo es mapeado de acuerdo a BPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Binario) o QPSK BPSK (Modulación por Desplazamiento de Fase Cuaternario) y cifrado según el código de red [6].

III. METODOLOGÍA

3.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES (HARDWARE Y SOFTWARE) PARA LA RED DE DATOS POWER LINE COMMUNICATIONS

3.1.1 REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO

Para poder desarrollar la implementación de la red PLC es necesario utilizar equipos con tecnología Power Line Communications con requisitos previos que se adapten a las necesidades del proyecto. Los criterios seleccionados se explican a continuación, agrupados.

3.1.1.1 CRITERIO TECNOLÓGICO

Se agrupan los aspectos técnicos para identificar de manera específica los principales requerimientos que una tecnología de banda ancha debe cumplir, para ser implementada en el Laboratorio de Comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Este criterio se puede descomponer en los subcriterios:

- Ancho de banda
- Escalabilidad
- Interoperabilidad
- Interferencia
- Sistema Operativo
- Rangos de tensión y frecuencia

3.1.1.2 CRITERIO REGULATORIO

Cubre los aspectos que a nivel regulatorio se deben tener en cuenta al momento de pensar en implementar la tecnología de

banda ancha. Propiamente hablando de las licencias y permisos necesarios para poder ser desplegada la red PLC y prestar servicios de telecomunicaciones.

3.1.1.3 CRITERIO FINANCIERO

Cubre los aspectos económicos que implican el adoptar la tecnología PLC en el Laboratorio de Comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Las variables consideradas en este nivel son:

- Costos de instalación.
- Costos Adicionales
- Vida Útil de la red

3.1.1.4 CRITERIO AMBIENTAL

Este nivel mide el beneficio potencial que tiene el proveedor de equipos con tecnología PLC para hacer aportes al medio ambiente, es importante conocer el impacto ambiental que conlleva la implementación de la tecnología PLC.

3.1.1.5 CRITERIO INFRAESTRUCTURA

Corresponde a las características técnicas del conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para el funcionamiento del servicio de telecomunicaciones. Los subcriterios para este nivel son:

- Cobertura
- Seguridad
- Tiempo de instalación / Activación
- Tipo de Enchufe
- Mantenimiento.
- Conocimiento de la tecnología

3.1.2 SELECCIÓN DE HARDWARE

En la selección de Hardware se toma en cuenta, tanto elementos con Tecnología Power Line Communications como elementos adicionales para dar los diferentes servicios en todo el Laboratorio de Comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Latacunga

3.1.2.1 ELEMENTOS CON TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS

Para la Red de Datos PLC en el Laboratorio de Comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga se selecciona los equipos de marca CORINEX ya que cumplen con la mayoría de estándares, protocolos y especificaciones técnicas necesarias para la transmisión de datos a altas vel

ocidades, además está mejorando aspectos como consumo de potencia de los equipos y Modulación OFDM con corrección de errores.

a) Gateway PLC LV Compact

Último desarrollo en tecnología BPL 200 Mbps. Actuar como un Head-End Modem, extendiendo una conexión existente de Internet (fibra, ADSL, satélite, etc.) a través de la red eléctrica o de infraestructura de cable coaxial sin la necesidad de instalar un nuevo cableado.



Figura III.1 Forma física del Gateway PLC [7]

Características Técnicas:

- Estándares, seguridades y compatibilidad electromagnética: IEEE 802.3u, 802.1P, 802.1Q, FCC Part 15, OPERA EN 50412, EN 55022, EN 55024, EN 60950
- Velocidad de Backbone: Hasta 200 Mbps en PLC y 100 en Ethernet
- Acoplador trifásico para redes eléctricas: 110VAC / 220VAC / 240VAC
- Interfaces: Fas Ethernet RJ-45 10/100BaseT, Puerto serial RS485, Puerto coaxial (Puerto hembra TNC), Puerto AC para BPL, Puerto DC para fuente de poder
- Rango de frecuencias: 2– 34 MHz
- Entrada de energía: 85 a 265VAC, 50/60 Hz
- Dimensiones: 180 x 135 x 40 mm
- Densidad de potencia espectral transmitida: -50 dBm/Hz
- Consumo: 7 W
- Temperatura de operación: -40° a 85°C (-40°F a 185°F)
- Humedad de operación: 10% a 95% sin condensación

b) Modem PLC HD200

Es un adaptador de interfaz de red que utiliza las líneas de energía eléctrica como medio para comunicación. Este equipo local del cliente (CPE) proporciona acceso a la red de punto final para los usuarios en unidades de viviendas.



Figura III.2 Modem PLC HD200 [8].

Características Técnicas:

- Dimensiones: 180 x 135 x 40 mm
- Velocidad: Hasta 200 Mbps en PLC y 100 en Ethernet
- Rango de frecuencias: 2– 34 MHz
- Interfaces: Fas Ethernet RJ-45 10/100BaseT, Enchufe de AC de 16 A, Botón multifunción
- Estándares IEEE: 802.1D, 802.1p, 802.1Q, 802.3u
- Protocolos de red: TCP/IP, UDP, IGMP
- Seguridad y encriptación: Soporte para autenticación RADIUS, DES (56bits) o 3DES (168 bits), AES 128/256
- Compatibilidad electromagnética: Limites EMC EN 55022, UL/EN 60950, FCC Part 15
- Entrada de energía: 100 a 240 VAC y 50/60 Hz
- Consumo de potencia: 3,85 W
- Densidad de potencia espectral transmitida: -58 dBm/Hz
- Temperatura de operación: -40° a 85°C (-40°F a 185°F)
- Humedad de operación: 10% a 95% sin condensación

c) Filtro de ruido

Reduce el ruido producido por electrodomésticos o equipos que contengan una inductancia alta.



Figura III.3 Filtro de Ruido

Características Técnicas:

- Línea de voltaje: 85-265VAC
- Línea de corriente: 10A
- Frecuencia: 50/60Hz
- Temperatura de operación: 0° hasta 50°C (32°F hasta 122°F)

- Número de salidas: 1
- Material de embalaje: Plástico
- Gamma de frecuencias de molestias: 100KHz a 100MHz
- Nivel de atenuación de ruido: Hasta 50dB
- Dimensiones: 9cm de Largo, 5cm de Ancho, 3,5cm de altura
- Peso: 205gr
- Tipo de alimentación AC: US, UK, EU y AUS

3.1.2.2 SERVIDOR PRINCIPAL PARA LA RED POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC.)

Se encarga de centralizar las comunicaciones necesarias mediante un software basado en Linux. Se encuentra conectada a la red PLC mediante un modem PLC. Brinda servicios de Correo, FTP, DNS, WebHosting, Almacenamiento de Datos, VoIP y Monitoreo de Red.

Características Técnicas:

- Memoria RAM: DDR3 de 4GB Kingston
- Disco Duro: SATA de 500 GB
- Procesador Core I5-3330: Generación: tercera, Velocidad de reloj: 3.3Ghz, Cantidad de núcleos: 4, Cantidad de subprocesos: 4, Cache: 6MB, Tamaño máximo de RAM: 32GB
- Desktop Board DH61CR: Dos zócalos de módulo de memoria, (DIMM) en línea dual SDRAM,
- DDR3 de 240 pines, Compatibilidad con módulos DIMM DDR3 de 1333/1066 MHz

3.1.2.3 ROUTER TL-WR340G

Permite que la red interna PLC pueda conectarse a la red de internet compartiendo el ancho de banda para todo el Laboratorio de Comunicaciones.



Figura III.4 Router TP-LINK

Características Técnicas:

- Interface – 6 puertos LAN y 1 puerto WAN
- Suministro de energía – 9VCD/0.6 A
- Frecuencia – 2.4 – 2,4835 GHz
- DHCP – Servidor DHCP

3.1.3 SELECCIÓN DE SOFTWARE

En esta parte se especifica el software requerido para la red de datos, el cual se encuentra dividido en dos partes:

a) Software utilizado para equipos PLC

Hanewin dhcp server 3.0.- Esta herramienta permite asigna direcciones IP de manera estática a través de perfiles predefinidos cuando se incluye la dirección MAC de cada equipo, Gateway y Módems HD200.

b) Software utilizado en el Servidor.

Tabla III.1 Software Utilizado

Software	Función
GNU/Linux Debian	Sistema operativo que permiten interactuar y ejecutar otros programas.
PROXMOX Entorno Virtual (VE)	Es una solución completa de virtualización de servidores basada en sistemas de código abierto. Permite la virtualización tanto sobre KVM como contenedores y gestiona máquinas virtuales, almacenamiento y redes virtualizadas en la red PLC
ISPConfig	Es un panel de control Open Source para administrar Servidores de Hosting, simplifica los detalles complicados de configurar DNS, varios sitios web y cuentas de correo electrónico para múltiples usuarios en los sitios web que tendrán acceso los usuarios en el Laboratorio de Comunicaciones.
Filezilla Server	Permite a un usuario crear una lista de sitios FTP con sus datos de conexión, además proporciona una interfaz gráfica para FTP.
WordPress	WordPress es una avanzada plataforma semántica de publicación personal orientada a la estética, los estándares web y la usabilidad. Permite crear sitios web periódicamente actualizados y ser publicados para el acceso de los usuarios en el laboratorio de Comunicaciones.
FreeNAS	Es un sistema operativo que puede ser instalado en cualquier plataforma de hardware, este permite compartir memoria en una red

informática y tener acceso desde cualquier ordenador del Laboratorio de Comunicaciones.

Elastix Es una aplicación software, que permite crear sistemas de Telefonía IP para la comunicación entre estudiante o profesores.

Ekiga, Es una aplicación de software libre para realizar videoconferencias y telefonía IP.

Squert Es una aplicación web que proporciona un contexto adicional a los eventos, representaciones de series de tiempo y conjuntos de resultados agrupados de forma lógica en la red.

WIRESHARK Es un analizador de protocolos en la redes de Comunicaciones Power Line Communications

AV200SNR Viewer Permite analizar las siguientes variables en la red PLC.

- Relación Señal a Ruido (SNR) medido en la línea eléctrica
- Respuesta en frecuencia del canal (CFR)
- Velocidad de Transmisión y Recepción de los equipos en la red PLC.

IV. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizó el comportamiento práctico de la Red Power Line Communications implementada en su ambiente real de funcionamiento, se debe considerar que la línea de energía eléctrica no está diseñada para el envío de datos, por esta razón el desempeño de la Red puede variar dependiendo de algunos factores. Es así que las pruebas que se detallan a continuación tienen como fin determinar la respuesta de la red PLC implementada trabajando en diferentes condiciones.

4.1 ANÁLISIS DE TRÁFICO DE DATOS EN LA RED POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC)

El análisis de tráfico de red en tecnología PLC se basa en el uso de un software (Wireshark). Dicho software captura y registra el tráfico de paquetes sobre la red de datos.

Procedimiento.

- Poner en funcionamiento la Red Power Line Communications.
- Iniciar Wireshark 1.12.1.
- Seleccionar la interfaz en la que se desea capturar, Red de área local.
- Dar click en Start, esperar unos segundos y observar los resultados desplegados.

Resultados

Una vez seguido el procedimiento para las pruebas de tráfico de datos con el software Wireshark, se presentan los resultados para cerciorarse que el envío del flujo de datos se está realizando correctamente.

Se toma valores de los paquetes en cuatro computadoras del laboratorio de Comunicaciones por cuatro días para comprobar el perfecto funcionamiento de la Red Power Line Communications, detallados en la tabla IV.1.

Tabla IV.1 PAQUETES CAPTURADOS

	TIEMPO (Min)	EQUIPO A	EQUIPO B	EQUIPO C	EQUIPO D
DIA A	30	46058	169156	98756	62135
DIA B	30	128844	59156	38743	111353
DIA C	30	170581	69035	60231	89321
DIA D	30	32196	23680	138756	152135

De los datos obtenidos durante cuatro días y en diferentes equipos de la Red se puede apreciar que el enlace Power Line Communications no tiene ninguna dificultad en transmitir el tráfico de datos demandado por los estudiantes en el laboratorio de comunicaciones.

4.2 ANÁLISIS DE LA ATENUACIÓN. RELACIÓN SEÑAL RUIDO Y VELOCIDAD DE LA RED PLC.

Para realizar las pruebas del canal Power Line Communications y de sus características importantes de transmisión se usó una herramienta de software desarrollada por la empresa proveedora de los equipos PLC para el monitoreo de ciertos parámetros específicos como estado del canal, atenuación y Relación Señal Ruido (SNR), que es

conocida como SNR Viewer, con la cual se visualiza el desempeño de red entre el Gateway y un módem PLC.

Enlace 1: GWPLC01 – MPLC01. Distancia:

A continuación la figura IV.3 muestra los valores de CFR y SNR del enlace 1 entre el Gateway y el CPE 1, el medio de acceso en las frecuencias de 2 a 12MHz, y de 23MHz a 32MHz muestra poco ruido y un desarrollo excelente para las Comunicaciones, debido a que el CFR tiene valores de 5 hasta -30dB y el SNR desde 45 a 15dB.

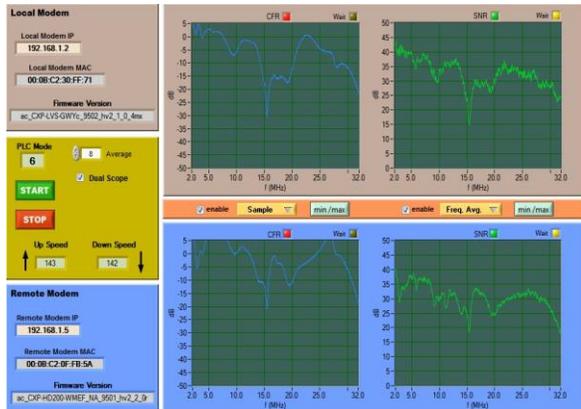


Figura IV.1 Espectro de frecuencias para los enlaces PLC

A continuación se genera un resumen de los datos tomados en la tabla IV.2 se observa el comportamiento de la velocidad colocando a diferentes distancias los módems PLC.

Tabla IV.2 Resumen de velocidad, atenuación y SNR
3 metros 6 metros 9 metros 12 metros

	Modem Local	Modem Remoto						
Velocidad	143	142	85	57	76	74	63	69
Atenuación	6.36	1.27	- 1.10	-5. 57	14.72	16.38	5.57	13.87
SNR	32.36	32.05	24.63	18.50	23.28	23.47	19.39	22.04

Se confirmó que la velocidad de transmisión de datos variar debido a las distancias, ya sea por factores inherentes a la propia red como a la separación entre conductores durante el recorrido, el tipo de cable, los tipos de acople usados, entre otros, los cuales producen pérdidas extra de potencia de la señal.

A la máxima distancia tenemos una velocidad de subida y 69 Mbps de bajada

4.3 ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN SOBRE SEÑALES DE DATOS PLC EN AMBIENTES ELÉCTRICOS CON DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA.

El objetivo de estas pruebas es analizar el funcionamiento de los equipos Power Line Communications en ambientes eléctricos con diferentes condiciones de carga. Para comprobar y medir la velocidad de transmisión de datos, y observar los efectos que se producen en la transmisión ante la presencia o ausencias de equipos eléctricos conecta dos a la red eléctrica.

a) Registro de valores con cuatro módems en condiciones normales de carga

En la figura IV.6 se observa la velocidad de subida y bajada de transmisión con cuatro módems, y en la tabla IV.3 se generan los valores obtenidos durante una hora, con los cuatro Host conectados a la Red.

Tabla IV.3 Valores de voltaje y corriente con cuatro módems

TIEMPO	VOLTAJE	CORRIENTE
14.05	0.1478	4.434
14.16	0.1428	4.284
14.22	0.1465	4.395
14.55	0.1488	4.464

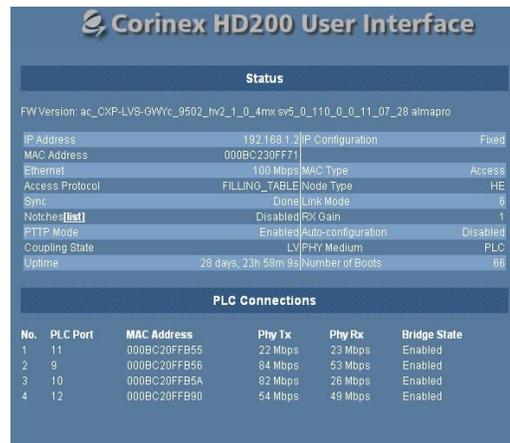


Figura IV.2 Velocidad de transmisión con cuatro módems

En la figura IV.7 se observa el registro de los valores de voltaje medidos en las salidas del transformador en condiciones normales de carga en el laboratorio. Para conocer la corriente se realiza la relación 30 Amperios equivale a 1 Voltio.



Figura IV.3 Registro de valores de voltaje en el laboratorio.

b) **Registro de valores con cuatro módems en condiciones máximas de carga**

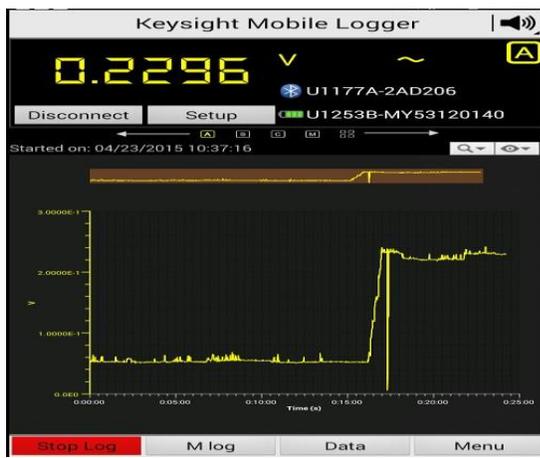
Tabla IV.4 Valores de voltaje y corriente con cuatro módems

TIEMPO	VOLTAJE	CORRIENTE
14.05	0.1478	4.434
14.16	0.1428	4.284
14.22	0.1465	4.395
14.55	0.1488	4.464



Figura IV.4 Velocidad a condiciones normales de carga (4 módems)

En la figura IV.9 se observa el registro de los valores de voltaje medidos en las salidas del transformador que van incrementando en condiciones máximas de carga en el laboratorio de comunicaciones. Para conocer la corriente se



realiza la relación 30 Amperi

os equivale a 1 Voltio.

Figura IV.5 Registro de valores de voltaje en el laboratorio en máximas condiciones de carga.

V. CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que la red Power Line Communications esta apta para ser utilizada en el Laboratorio de Comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE como medio de transporte de información, haciendo uso de servicios en tiempo real como son voz, datos y multimedia.
- Se probó que existen factores de influencia que afectan a la eficiencia de comunicación en la red como longitud, arquitectura de la red eléctrica, esto se pudo comprobar al aumentar la distancia entre el Gateway y una estación en la cual se atenuó más la señal, por lo que la calidad del canal bajo y se empezó a reducir la velocidad de transmisión por el canal.
- Las velocidades que se producen en la transmisión de datos ante el incremento de corriente en la red eléctrica no son afectadas. Esto permite tener una red de datos en excelentes condiciones de comunicación con velocidades óptimas de transmisión ya sea con la presencia o ausencias de equipos eléctricos conectados a la red eléctrica.
- Los equipos PLC son sensibles al ruido por lo tanto, CORINEX provee en el firmware el uso de QoS, equitativo (fair) y basado en prioridades, otro aspecto relevante del firmware es el uso de submodos con el fin de utilizar otra frecuencia de operación, evitando así la interferencia de una frecuencia específica en el espectro de 2 a 34MHz.
- La tecnología Power Line Communications permite la fácil compatibilidad con otras tecnologías desplegadas ya que se la considera una tecnología complementaria y no sustitutiva.
- El uso de la tecnología PLC para servicios de internet como web hosting, almacenamiento NAS, VoIP y seguridades de internet es de altas prestaciones, con velocidades suficientes para mantener un ISP y en ambientes educativas permite al estudiante utilizar un

Laboratorio con las tecnologías actuales a bajo costo y con diversos enfoques al ambiente laboral, desde la configuración de equipos, su administración y monitoreo.

- El despliegue y costo de implementación de la tecnología PLC sobre las redes eléctricas es sencillo y rápido comparado con otras tecnologías de acceso, al aprovechar los cables existentes de energía eléctrica.
- PLC tiene posibilidades en el ámbito residencial, empresarial y pequeñas oficinas, ya que, PLC tiene el potencial de llegar a un porcentaje mayor de la población cumpliendo de esta forma el objetivo social detrás de este proyecto.
- Es necesaria una regulación tecnológica que posibilite la creación de estándares, que permitan alcanzar economías de escala a los fabricantes reduciendo costes y facilitando masivas inversiones a largo tiempo a las empresas eléctricas.
- De las pruebas realizadas variando el número de hosts se puede concluir que los resultados de la comunicación para condiciones normales de carga sobre la red eléctrica permiten tener una red de datos en excelentes condiciones de comunicación con velocidades óptimas de transmisión sin afectar el incremento de dispositivos en la red eléctrica

5.2 LIMITACIONES

- Algunos elementos del laboratorio como son las fuentes de voltaje, motores, etc; provocan ruido en las líneas que imposibilita mantener la calidad de la comunicación. Para evitarlo, es necesario localizar los equipos que los causan y aislarlos mediante el filtro.
- Los equipos PLC () utilizados tienen poco alcance por lo que la velocidad de transmisión es baja a mayor distancia
- Otro problema es la estandarización de la tecnología PLC, pues generalmente las redes eléctricas y las de telecomunicaciones no tienen el mismo contenido regulatorio por lo que habrá que definir qué tratamiento se debe dar a una red que se podrá comportar como eléctrica y de telecomunicaciones al mismo tiempo.
- El sistema está diseñado exclusivamente para el laboratorio de comunicaciones, por lo que no se

podrá utilizar en ningún otro lugar de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Ndlovu, “An OFDM Inter-Subcarrier Permutation Coding Scheme for Powerline Communication,” *IEEE ISPLC 2014 - 18th IEEE Int. Symp. Power Line Commun. Its Appl.*, pp. 196–201, 2014.
- [2] F. P. Catoira Fernando, Maidana Melisa, “Power line communications,” *Univ. Nac. del Sur*, vol. 23, p. 120, 2004.
- [3] CELEC.EP, “Las Telecomunicaciones Multimedia.” 2014
- [4] G. Narváez, “Análisis de Eficiencia y Rendimiento de la implementación de Servicios Triple - Play sobre Tecnología PLC,” *Esc. Politécnica del Ejército*, pp. 1–147, 2013
- [5] R. VITE, “ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE ÁREA LOCAL BAJO TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN POR RED ELÉCTRICA (PLC),” *Univ. Católica Santiago Guayaquil*, 2013.
- [6] H. Hrasnica, A. Haidine, and R. Lehnert, “Broadband powerline communications: network design,” p. 292, 2004.
- [7] CORINEX, “HD Compact Gateway & Corinex LV Compact Gateway,” pp. 1–2, 2013.
- [8] “HD200 Powerline Wall Mount F Adapter Manual,” 2011.
- [9] Debian.org, “Debian. El sistema operativo universal,” 2011

Magaly Chacha. Nació en Salcedo provincia de Cotopaxi en Ecuador. Sus estudios primarios lo realizó en la escuela fiscal Rosa Zarate, sus estudios secundarios los realizó en el Instituto tecnológico “Victoria Vasconez Cuvi” ubicado en la ciudad de Latacunga en donde obtuvo su título de bachiller en Física - Matemático. Actualmente se encuentra finalizando

sus estudios de Ingeniería en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga – Ecuador.

Mirian Orbea. Nació en Latacunga provincia de Cotopaxi en Ecuador. Sus estudios primarios los realizó en la escuela San José LA SALLE sus estudios secundarios los realizó en el Instituto tecnológico “Victoria Vasconez Cuvi” ubicado en la ciudad de Latacunga en donde obtuvo su título de bachiller en Física - Matemático. Actualmente se encuentra finalizando sus estudios de Ingeniería en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga – Ecuador.