



TESIS PROFESIONAL

Estudio de factibilidad económica y legal en tecnologías PLC, en el ITSMT.



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO
TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



VERACRUZ
GOBIERNO
DEL ESTADO



SEV
Secretaría
de Educación

SEMSys
Subsecretaría de Educación
Media Superior y Superior



DET
Dirección de Estudios
Tecnológicos del Estado
de Veracruz



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LEGAL EN TECNOLOGÍAS PLC, EN EL ITSMT

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MARTÍNEZ DE LA TORRE

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:
LICENCIADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
COMPUTACIONALES

Presenta:

LUIS FERNANDO MENDIOLA
NAVARRO

Asesores:

M.C.C. y T. KEILA ELENA OCAÑA DROUAILLET

MSC. HUGO LUCAS ALVARADO

M.R.T. VÍCTOR GUILLERMO ASAD ZETINA

Martínez de la Torre, Veracruz [Septiembre, 2021]

FICHA TÉCNICA

Estudiante

Mendiola

Navarro

Luis Fernando

No. de control:15010100

Carrera: Ingeniería en sistemas computacionales

Correo: luis.mendiola1195@hotmail.com

Asesor(es) y/o colaboradores ITSMT

M.C.C. y T. Keila Elena Ocaña Drouaillet

MSC. Hugo Lucas Alvarado

M.R.T. Víctor Guillermo Asad Zetina

Datos del lugar donde se desarrolló el proyecto

Nombre o razón social

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MARTÍNEZ DE LA TORRE

Dirección (calle, número, colonia, ciudad, código postal)

Ignacio de La Llave 182, Centro, 93600 Martínez de la Torre, Ver.

Asesor externo: MSC. Hugo Lucas Alvarado

Departamento: Informática

Cargo: Docente

Correo: halvarado@tecmartinez.edu.mx

Teléfono y extensión: 232 373 5240

FORMATO DE LIBERACIÓN DEL PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL

	Liberación del Proyecto para Titulación Integral	Página 1 de 1
---	--	---------------

Martínez de la Torre, Ver. a 03 de Junio de 2021

C. DR FROYLAN ROSALES MARTÍNEZ
JEFE(A) DE DEPTO. SERVICIO SOCIAL Y
RESIDENCIAS PROFESIONALES
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MARTÍNEZ DE LA TORRE
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del estudiante:	Luis Fernando Mendiola Navarro		
Carrera:	Ingeniería en Sistemas Computacionales	No. De control:	15010100
Nombre Proyecto:	Estudio de Factibilidad económica y legal en tecnologías PLC, en el ITSMT		
Opción Titulación:	Tesis		

Agradezco su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados(as).


JEFATURA DE CARRERA
ING. SISTEMAS COMPUTACIONALES


M.C. Keila Elena Ocaña
Drouaillet

A T E N T A M E N T E

M.C. JULIO CÉSAR MACÍAS GÓMEZ
JEFE DE DIVISIÓN DE CARRERA DE
INGENIERÍA EN SISTEMAS
COMPUTACIONALES


M.S.C. Hugo Lucas
Alvarado


M.R.yT. Víctor Guillermo
Asad Zetina

C.c.p Estudiante.
C.c.p. Archivo.

F-11-07
Rev. 1

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE ENTREGA DE TESIS EN SOPORTE DIGITAL

	Carta de Autorización de Entrega de Tesis en Soporte Digital	Página 1 de 1
---	--	---------------

No. de Oficio: DET/ITSMT/DA/ISC/054/2021

ASUNTO: Autorización de entrega

Martínez de la Torre, Ver., a 14 de Julio de 2021.

C. LUIS FERNANDO MENDIOLA NAVARRO
No DE CONTROL 15010100
EGRESADO (A) DE LA CARRERA
INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
P R E S E N T E

Por medio de la presente hago constar que ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el Lineamiento para la Titulación Integral.

Por tal motivo se autoriza la entrega de la Tesis en soporte digital titulada:

Estudio de factibilidad económica y legal en tecnologías PLC, en el ITSMT

Dándose un plazo máximo de 30 días naturales a partir de la fecha de la expedición de la presente para realizar la solicitud del Acta de Recepción para la obtención del Título Profesional.

ATENTAMENTE


M.C.C. y T. Keila Elena Ocaña Drouaillet
Presidenta de Academia de Ingeniería
en Sistemas Computacionales

C.c.p. División de Estudios Profesionales
C.c.p. Archivo


Ing. Hernet Bautista Ruiz
Jefe de Carrera de Ingeniería
en Sistemas Computacionales


JEFATURA DE CARRERA
ING. SISTEMAS COMPUTACIONALES

F-11-09
Rev. 1

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi universidad, gracias por haberme permitido formarme y en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

Gracias a mis padres, que fueron mis mayores promotores durante este proceso, gracias a Dios, que fue mi principal apoyo y motivador para cada día continuar sin tirar la toalla.

RESUMEN

Las redes PLC, de sus siglas en inglés Power Line Communications, son dispositivos que aprovechan la instalación eléctrica para transmitir datos a alta velocidad. En pocas palabras, se trata de una tecnología que convierte cada toma de corriente en una conexión a Internet. En este sentido, y mediante el filtrado de frecuencias, las redes PLC son capaces de ofrecer velocidades de conexión similares a las de un cable ethernet, separando la información digital de la red eléctrica.

Actualmente existen diversas tecnologías de interconexión local, pero muchas veces estas tecnologías requieren de muchos materiales para su instalación, por lo que, el gasto y el tiempo de implementarlo se vuelve excesivo.

El presente proyecto de investigación tiene por objetivo realizar estudio de factibilidad económica y legal para la implantación del acceso a internet a través de la red eléctrica por medio de la tecnología PLC, en el laboratorio de cómputo de las instalaciones tipo H del ITSMT.

De esta manera, por medio de una metodología de enfoque cuantitativo se busca obtener y procesar información sobre la tecnología PLC, con el fin de analizar si cumple con nuestras necesidades y objetivos planteados.

Palabras Clave: *plc, redes, análisis de costos, estándares, normas.*

ABSTRACT

PLC networks, for its acronym in English Power Line Communications, are devices that take advantage of the electrical installation to transmit data at high speed. In words, it is a technology that rarely turns every outlet into an Internet connection. In this sense, and by filtering frequencies, PLC networks are capable of offering connection speeds similar to those of an ethernet cable, separating the digital information from the electrical network.

Currently there are various local interconnection technologies, but many times these technologies require many materials for their installation, so the expense and time of implementing it becomes excessive.

The objective of this research project is to carry out an economic and legal feasibility study for the implementation of internet access through the electrical network by means of PLC technology, in the computer laboratory of the ITSMT type H facilities.

In this way, through a quantitative approach methodology, we seek to obtain and process information on PLC technology, in order to analyze whether it meets our needs and objectives.

Keywords: *plc, networks, cost analysis, standards, norms.*

CONTENIDO

FICHA TÉCNICA	3
FORMATO DE LIBERACIÓN DEL PROYECTO PARA TITULACIÓN INTEGRAL	4
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE ENTREGA DE TESIS EN SOPORTE DIGITAL	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABLAS	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	17
3. JUSTIFICACIÓN	18
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO	19
4.1 OBJETIVO GENERAL	19
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
5. HIPÓTESIS.....	19
6. MARCO TEÓRICO.....	20
6.1 Red de área local	20
6.2 Red de acceso a internet	20
6.3 Tecnología Power Line Communication (PLC).....	21
6.3.1 Aplicaciones internas (Indoor)	21
6.3.2 Última milla (Outdoor).....	22
6.3.3 Ventajas de la tecnología Power Line Communications (PLC)	23
6.3.4 Limitaciones de la tecnología Power Line Communications (PLC)	24
6.4 Dispositivos de una Red Power Line Communications (PLC).....	25

6.4.1 Acopladores	25
6.4.2 Equipo de Cabecera Gateway MV	28
6.4.3 CPE o Modem de Usuario PLC.....	29
6.5 Requerimientos legales para el uso de la tecnología PLC en México	35
6.6 Estándares y Normas de PLC.....	36
6.6.1 Home Plug Powerline Alliance	37
6.6.2 ETSI – EP PLT	38
6.6.3 IEEE.....	38
6.6.4 UPA	39
6.7 Antecedentes	39
7. MATERIALES Y MÉTODOS	45
7.1 Procedimientos y descripción de las actividades	47
7.1.1 Análisis costo-beneficio de la infraestructura de la red PLC	47
7.1.2 Diseño de la red del laboratorio de cómputo utilizando PLC.....	49
7.1.3 Diseño de la red del laboratorio de cómputo con cableado estructurado	52
7.1.4 Comparación de diferentes tecnologías	54
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
9. CONCLUSIÓN.....	62
10. RECOMENDACIONES	63
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama del ITSMT	14
Figura 2. Red PLC indoor	22
Figura 3.Red PLC Outdoor	23
Figura 4. Acoplador capacitivo BPL OVERCAP	26
Figura 5. Acoplador inductivo MICU 300A-S/LF	27
Figura 6. Equipo de Cabecera Gateway MV	28
Figura 7. Modem de usuario PLC.....	30
Figura 8. Kit Powerline Extensor Universal de Cobertura Wi-Fi AV500.....	31
Figura 9. KIT Extensor TP-Link WPA7510 Kit AC750.....	32
Figura 10. Linksys PLEK500 Powerline Wired Network Expansion Kit	33
Figura 11. Linksys PLWK400 Powerline Wired and Wireless Network Expansion	34
Figura 12: Proceso de investigación	45
Figura 13. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre	47
Figura 14. TL-PA4010.....	48
Figura 15. TL-WPA4220.....	48
Figura 16. Subestación del ITSMT	49
Figura 17. Diseño de la subestación	50
Figura 18. Diseño laboratorio de cómputo	51
Figura 19. Diseño de la red PLC completa	52
Figura 20. Ubicación SiTe	52
Figura 21. Diseño red cableado de estructurado	53
Figura 22. Gráfica de costos	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Costo red PLC.....	58
Tabla 2. Costo de red ethernet (cableado estructurado).....	59

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre (ITSMT)(Gobierno del estado, 2008), se crea como organismo público descentralizado del Gobierno del Estado, con personalidad jurídica y patrimonios propios, el domicilio del instituto se encuentra localizado en el municipio de Martínez de la Torre, Ver, este organismo público se encarga de formar profesionales e investigadores aptos para la aplicación y generación de conocimientos científicos y tecnológicos, de acuerdo con los requerimientos del desarrollo económico y social de la región, del estado y del país.

El Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre inició operaciones en el mes de agosto del 2008, ofertando dos carreras: Licenciatura en Ingeniería en Industrias Alimentarias y Licenciatura en Ingeniería en Gestión Empresarial. A partir del año 2012 se comenzó a realizar el histórico de matrícula del ITSMT, en ese año las licenciaturas contaban con una matrícula de 964 alumnos registrados (*SNE TecNM / Sistema Nacional de Estadística del Tecnológico Nacional de México, s. f.-a*), con el paso de los años el instituto fue creciendo, así como la demanda de alumnos que deseaban pertenecer a la institución, por lo cual se agregaron tres nuevas carreras, las cuales fueron: Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales, Licenciatura en Ingeniería Ambiental y Licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica.

Actualmente el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre cuenta con las cinco licenciaturas mencionadas anteriormente, y según el último histórico de matrícula realizado en el año 2017 (*SNE TecNM / Sistema Nacional de Estadística del Tecnológico Nacional de México, s. f.-a*), el instituto contaba con una matrícula de 1,141 alumnos registrados, además, ahora el instituto desarrolla sus actividades en tres edificios los cuales son rentados y están ubicados en diferentes zonas de la ciudad, el primero se encuentra en la Avenida Ignacio de la Llave No. 182 en la colonia Centro, el segundo está ubicado en la calle Vicente Guerrero No. 408 de la misma colonia, y el ultimo en la calle Miguel Hidalgo de la colonia Adolfo Ruiz Cortines.

Debido a que el instituto no contaba con un edificio propio, con ayuda del gobierno federal en el 2016 se invirtió la cantidad de \$14,500,000 para la Construcción y equipamiento de Unidad Académica Departamental tipo H y para el año 2017, se realizó otra inversión de \$13,000,000 para la construcción de otra Unidad Académica Departamental Tipo H (*SNE TecNM / Sistema Nacional de Estadística del Tecnológico Nacional de México*, s. f.-b), estas nuevas instalaciones se encuentran ubicadas en el Ejido Vega Redonda en la ciudad de Martínez de la Torre.

A continuación, se muestra el organigrama general del ITSMT, en la cual muestra la forma en la que se encuentra organizado hoy en día el instituto.

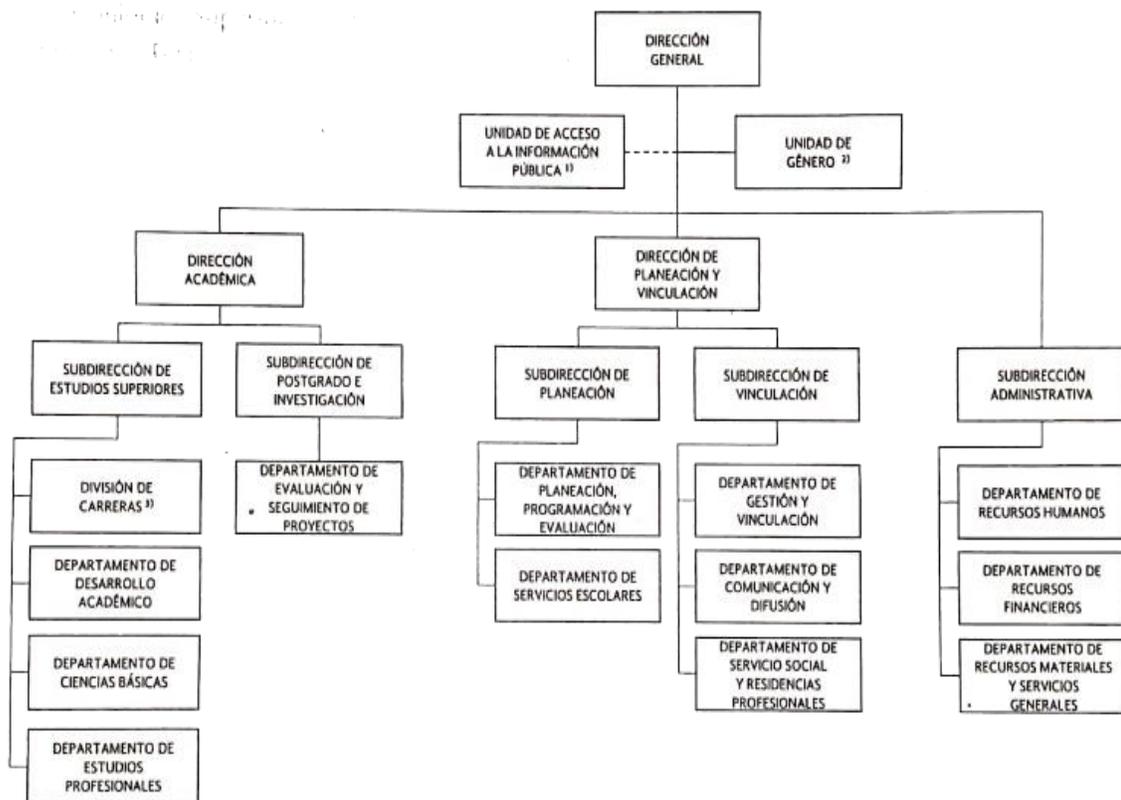


Figura 1. Organigrama del ITSMT
Fuente: (SEFIPLAN, 2016)

Misión

El Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre forma integralmente personas a través de la provisión de servicios de educación superior tecnológica, con énfasis en la calidad y en la pertinencia de su oferta educativa, dentro de un marco de respeto, plural e incluyente; colaborando así a lograr ciudadanos críticos y analíticos para alcanzar un cambio hacia una sociedad más justa, equitativa y sustentable. (Ordaz, 2019)

Visión

Para el año 2024 el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre será la mejor opción de educación superior del área de influencia, ello con base en la eficacia y transparencia de sus procesos, tanto administrativos como a los de gestión de sus programas educativos acreditados por su buena calidad; teniendo presentes los principios de equidad de género, respeto por el medio ambiente y el compromiso responsable de su personal y sus grupos de interés. (Ordaz, 2019)

Valores

- Equidad
- Honestidad
- Respeto
- Responsabilidad
- Liderazgo
- Creatividad
- Esfuerzo
- Trabajo en equipo

En la actualidad el acceso a internet se ha vuelto una herramienta necesaria en diferentes aspectos de nuestra vida, ya sea, en la escuela, trabajo, hogar, etc.

Hoy en día existen distintas formas de distribuir el servicio de internet por medio de una red LAN, la opción comúnmente más utilizada es el cableado estructurado, aunque cuenta con una desventaja la cual es que para su instalación se necesita de muchas herramientas y materiales, lo que genera que se eleve su costo de instalación. Como una alternativa que permita abatir los costos de instalación y esto gracias al desarrollo tecnológico, se pensó en aprovechar la infraestructura de la red de distribución eléctrica empleándola como medio de transmisión del servicio de internet, que hasta el momento solo se utilizaba para proveer energía eléctrica a hogares y edificios. La tecnología que permite lo anterior es llamada Power Line Communications (PLC).

PLC es una tecnología que consiste en utilizar las líneas de distribución eléctricas como medio para la transmisión de información. Esta tecnología pretenderá satisfacer las necesidades de tanto alumnos como docentes del ITSMT.

Este trabajo consiste en la realización de un análisis económico-legal sobre la factibilidad de implementar una red Powerline Communcation (PLC) en el laboratorio de cómputo de las nuevas instalaciones del ITSMT. Para llevar a cabo esta investigación se tuvo que buscar, analizar y resumir características técnicas, ventajas y desventajas de PLC y compararla con otras existentes con el fin de ofrecer datos interesantes que incentiven su uso.

2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se mencionan los problemas que se buscan resolver con la presente investigación:

- Falta de acceso a internet en el laboratorio de cómputo del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. Actualmente el ITSMT cuenta con un nuevo edificio tipo H, el cual aún no cuenta con el servicio de internet, lo que se busca con este trabajo es explorar la tecnología PLC para comprobar si es factible económica y legalmente su implementación en el laboratorio de cómputo del ITSMT.
- Poco conocimiento sobre la tecnología PLC. Al ser una tecnología no tan difundida en México se tiene poco conocimiento sobre sus características, funcionamiento, costos y los dispositivos necesarios para funcionar, por esta razón se requiere hacer una investigación profunda sobre el uso de esta tecnología.
- Comparar si la tecnología PLC es más factible económicamente que otras tecnologías de acceso a internet. Actualmente existen diferentes tecnologías de interconexión a internet, la más utilizada hoy en día es el cableado estructurado pero debido a que para implementarla se requiere de muchos materiales y herramientas, genera que su costo de instalación sea elevado. Por esta razón, se busca el uso de nuevas tecnologías como lo es el PLC, que se pretende que sea una tecnología que pueda reemplazar al cableado estructurado, cubriendo las necesidades de alumnos y docentes, y a un costo accesible.
- Diseñar el laboratorio de cómputo utilizando PLC. Realizar un diseño nos servirá para saber cuántos dispositivos y la cantidad de material (cable UTP, conectores RJ45) que se va a necesitar, además que nos ayudará a planear la distribución de los dispositivos.
- Desconocimiento de los requerimientos legales que se necesitan para implantar la tecnología PLC. Como se mencionó anteriormente, PLC es una tecnología no muy difundida en México, por lo que, se debe investigar si es posible su uso en el país o que

requisitos se deben cumplir para poder implementarla, todo esto para evitar futuros problemas legales.

3. JUSTIFICACIÓN

El proyecto de investigación se enfoca en una de las tecnologías de actualidad como es la tecnología PLC (Power Line Communications), considerando que esta es de gran importancia debido a sus altas velocidades de transmisión de datos, su instalación rápida y su coste competitivo con otras tecnologías.

Teniendo en cuenta las redes de conexión a internet existentes en nuestro país y considerando las dificultades que se presentan tanto al desplegar una infraestructura cableada (estética y en algunos casos complicada al tendido), o a través de forma inalámbrica Wi-fi (robo de la señal en redes vulnerables) nos lleva a considerar el uso de la tecnología Power Line Communication que además de anular de forma tajante los problemas mencionados anteriormente, sacará provecho de una red tendida ya existente que viene a ser la red eléctrica la cual aminorará los costos.

Con base en lo anterior, en este proyecto de investigación se busca realizar un estudio de factibilidad económico y legal, el cual nos permitirá conocer si es posible la implementación de la tecnología PLC en las instalaciones en el ITSMT.

El estudio de factibilidad económica va a determinar el costo de los dispositivos PLC, además de un análisis de costos para instalar una red PLC en comparación con redes de cableado estructurado e inalámbrica, en cuanto a la parte legal esta muestra los requisitos para establecer una nueva tecnología de comunicación en México y los términos a los que deben apegarse para no afectar otros medios de comunicación, de esta manera ayudará a conocer si es viable la implantación del acceso a internet a través de la red eléctrica por medio de la tecnología Power Line Communications (PLC), en el laboratorio de cómputo de las instalaciones del ITSMT.

El proyecto de investigación hace notar la importancia de aprovechar nuevas tecnologías de información, como la tecnología PLC que será una opción muy importante a considerar para el servicio de Internet, a través de la infraestructura eléctrica.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar estudio de factibilidad económica y legal para la implantación del acceso a internet a través de la red eléctrica por medio de la tecnología Power Line Communications (PLC), en el laboratorio de cómputo de las instalaciones del ITSMT.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los dispositivos de la tecnología PLC.
- Realizar un análisis costo-beneficio de la infraestructura de la red PLC.
- Comparar la tecnología PLC con otras tecnologías.
- Diseñar la red del laboratorio de cómputo utilizando PLC en un simulador CAD.
- Investigar los requerimientos legales necesarios para el uso de la tecnología PLC en México.
- Investigar los estándares y normas de la tecnología PLC.

5. HIPÓTESIS

Con el estudio de factibilidad económica y legal se comprobará que es viable la implantación del acceso a internet a través de la red eléctrica por medio de la tecnología Power Line Communications (PLC), en el laboratorio de cómputo del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Red de área local

Se denomina red de área local o red LAN (Local Área Network) a un conjunto de dispositivos informáticos (computadoras, impresoras, fax, teléfonos IP, etc.) que están conectados entre sí mediante dispositivos físicos que envían y reciben impulsos eléctricos u ondas electromagnéticas o cualquier medio para el transporte de datos con la finalidad de compartir información y recursos, donde su característica principal es que estos se encuentran en una misma área geográfica que puede ser una casa, oficina o un edificio. (Moscoso, 2015)

6.2 Red de acceso a internet

Una red de acceso nos permite acceder a servicios de telecomunicaciones mediante diferentes tecnologías que se clasifican según la infraestructura física que utilizan, de esta forma es el primer tramo entre los dispositivos del lado del cliente, como teléfonos, módems, routers, etc. hasta los nodos de las redes de datos y de voz. En la industria de telecomunicaciones las redes de acceso son una pieza fundamental por su estrecha relación con la oferta y calidad de los servicios, así como por su importancia en los mercados liberalizados. (Moscoso, 2015)

Entre los principales medios de acceso a la red comunicaciones se tiene:

- Mediante hilos de cobre
- Mediante fibra óptica y cable coaxial
- Acceso inalámbrico mediante radio
- Nuevas tecnologías, como el uso de la red eléctrica (PLC).

6.3 Tecnología Power Line Communication (PLC)

La tecnología Power Line Communication es una tecnología que permite la comunicación de voz, datos y video mediante las redes eléctricas. Una de las ventajas de usar las líneas eléctricas como medio de transmisión de datos es que cada casa y edificio se encuentran ya equipados con suministros eléctricos y conectados a la red eléctrica. Los sistemas de comunicación de línea eléctrica (PLC) utilizan el cableado eléctrico existente de corriente alterna, como medio de red para proporcionar puntos de acceso a la red de alta velocidad desde casi cualquier lugar donde exista una toma de corriente. (Suarez, 2015)

Las redes Power Line Communication se pueden dividir en 2 bloques, que son los siguientes:

- Aplicaciones internas (Indoor)
- Última milla (Outdoor)

6.3.1 Aplicaciones internas (Indoor)

Los sistemas PLC de banda ancha son atractivos como servicios de datos en edificios porque no requieren ninguna instalación adicional, simplemente este sistema utiliza como medio de transmisión el cableado eléctrico interno.(Chacha & Orbea, 2015)

El desarrollo de esta tecnología para conformar redes de computadora tipo LAN, está muy desarrollada ya que permite interoperabilidad de sistemas entre dispositivos de distintos fabricantes, a un costo relativamente bajo, y dada su forma de conexión es muy fácil de conectar y de utilizar.(Uribe & Villalobos, 2016)



Figura 2. Red PLC indoor
 Fuente: (Chacha & Orbea, 2015), pág. 5

6.3.2 Última milla (Outdoor)

Estas aplicaciones incluyen la distribución en oficinas, casas o edificios de internet y otros servicios por parte de los proveedores de servicio de banda ancha a través de la red de distribución eléctrica. Dentro de la tecnología PLC, es considerada como la red de acceso a aquella comprendida desde el transformador del centro de distribución hasta el enchufe de corriente del destinatario final.

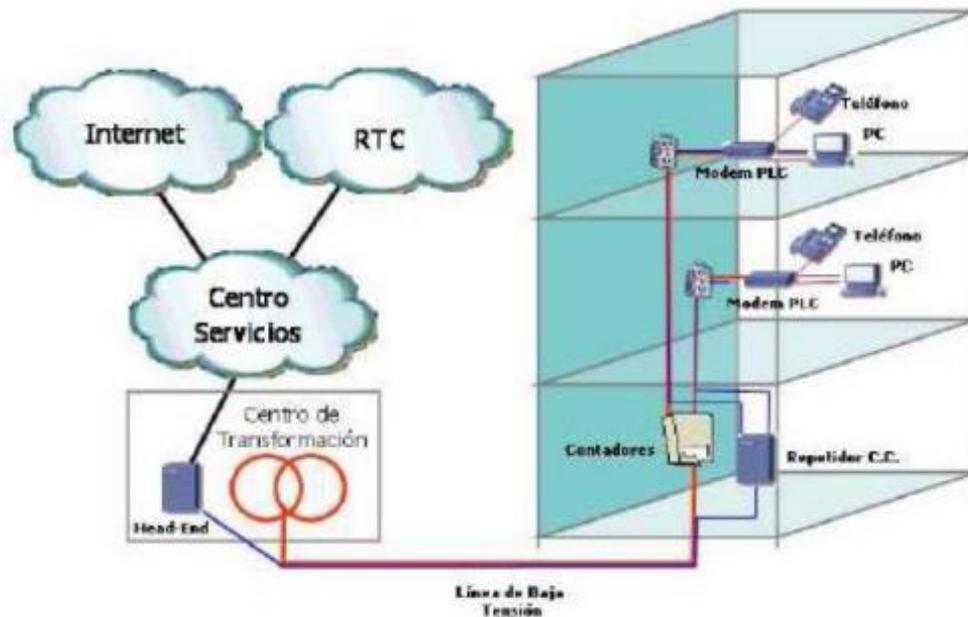


Figura 3.Red PLC Outdoor
Fuente: (Uribe & Villalobos, 2016), pág. 30

6.3.3 Ventajas de la tecnología Power Line Communications (PLC)

Las comunicaciones mediante cable eléctrico tienen algunas ventajas, las cuales se detalla a continuación (Chacha & Orbea, 2015):

- PLC, no requiere la instalación de cables adicionales, ni en la casa ni en las instalaciones de la compañía eléctrica, y el usuario no está limitado a un determinado enchufe.
- Permite a un ordenador o cualquier otro tipo de dispositivo, con modem externo, ser enchufado en cualquier habitación y recibir por el mismo cable la energía eléctrica y los datos.
- Su instalación es rápida, puesto que únicamente se trata de una adaptación.
- PLC trabaja a velocidades de transmisión altas (200Mbps), permitiendo la distribución de datos, voz y video de manera rápida y confiable.
- Esta tecnología representa una solución sencilla y asequible para la implantación de las estaciones base y punto de acceso para redes de última generación como 4G y

WLAN (entre otras), dado que donde se instalan, es preciso, forzosamente, el suministro eléctrico.

- Al estar ya implantada la red eléctrica permite llegar a cualquier punto geográfico, convirtiéndose con ello en la tecnología de telecomunicaciones más accesible.
- La tecnología PLC no es sustitutiva, sino que puede complementar a otras ya instaladas tanto en el tramo de acceso como en las viviendas.
- No se atenúa por obstáculos como por ejemplo las paredes, a diferencia de las tecnologías inalámbricas

6.3.4 Limitaciones de la tecnología Power Line Communications (PLC)

La tecnología PLC se enfrenta a varias dificultades que deterioran su desempeño y limitan su implementación. Entre los inconvenientes que hacen difícil el desarrollo de un sistema de comunicaciones PLC se destacan (Chacha & Orbea, 2015):

- La dificultad que debe superar es el propio estado de las líneas eléctricas. Si las redes están deterioradas, los cables se encuentran en mal estado o tienen empalmes mal hechos, por lo que la señal no llega de forma fiable a todos los conectores de la casa.
- Entre las limitaciones que se destacan, son los transformadores, pues estos imposibilitan el paso de las señales de datos, por lo que cada uno de dichos transformadores debe contar con su propio equipo PLC.
- Algunos elementos como taladros, 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 un filtro.
- 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 cable eléctrico genera a su alrededor ondas electromagnéticas que puede interferir con las frecuencias de ondas de radio por lo tanto existe un problema de radiación por ruido hacia otras señales en la misma banda de frecuencias.
- Los adaptadores deben estar conectados en la misma fase eléctrica.

6.4 Dispositivos de una Red Power Line Communications (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. (Chacha & Orbea, 2015)

- Acopladores.
- Equipo de Cabecera Gateway MV (Medio Voltaje).
- CPE o Modem de usuario PLC.

6.4.1 Acopladores

Los acopladores para líneas eléctricas son dispositivos los cuales permiten suministrar una señal de alta frecuencia dentro de la red de distribución eléctrica. Estos acopladores se pueden clasificar en dos grupos (Suarez, 2015):

- **Acopladores Capacitivos.** Son dispositivos que se conectan por directamente en las líneas eléctricas aéreas, tienen una mínima pérdida que los inductivos. La Figura 5, hace referencia a este tipo de acopladores, los cuales pueden trabajar en condiciones de intemperie.

Entre sus características principales se encuentran:

- Dimensiones reducidas.
- Instalación rápida, sencilla y segura.
- Aseguran calidad, fiabilidad, y seguridad en el trabajo.

- Bajas pérdidas de inserción < 2dB en todo el rango de frecuencias (2 a 40 MHz).



Figura 4. Acoplador capacitivo BPL OVERCAP

Fuente: (Arteche, 2019)

Recuperado de: <https://www.artech.com/es/productos/acoplador-capacitivo-bpl-overcap>

El proveedor de este dispositivo es Grupo Arteche el cual es una empresa global y un referente internacional con empresas en Europa, América, Asia y Oceanía, y con un servicio conformado por más de 80 oficinas técnico-comerciales. Arteche participa activamente en los principales órganos eléctricos internacionales: IEC, IEEE, CIGRE, o CIRED, entre otros. El costo del acoplador capacitivo es de 940 dólares (\$18106.52). (Arteche, 2019)

- **Acopladores Inductivos.** Este tipo de acopladores efectúan el acoplamiento mediante la generación de un campo magnético alrededor del cable con el cual inyectan la señal. La Figura 6, hace referencia a este tipo de acopladores que generalmente no requiere un contacto físico y su aplicación resulta adecuada cuando la red de distribución es de tipo subterráneo, esto debido a que siempre viene con un grueso aislamiento y blindaje metálico. Si bien tienen un nivel mayor de pérdida que los capacitivos, este hecho suele ser despreciable frente a la ventaja de poder manipular su instalación sin necesidad de interrumpir la corriente.



*Figura 5. Acoplador inductivo MICU 300A-S/LF
Fuente: (PREMO, 2019)
Recuperado de: <https://www.grupopremo.com/593-micu-300a-slf>*

Entre sus principales características se encuentran:

- Fácil y sencilla instalación.
- Bajas pérdidas de inserción < 3dB en todo el rango de frecuencias (2 a 40 MHz).
- Máxima calidad, fiabilidad y eficiencia garantizadas.
- Mayor seguridad eléctrica: aislamiento 5 KV.

Un proveedor de este dispositivo es Grupo Premo la cual es una empresa con sede en España dedicada al desarrollo, fabricación y venta de componentes electrónicos con un enfoque especial en las tecnologías habilitadoras clave de la 4ta revolución industrial. El costo del acoplador inductivo es de 300 euros (\$6401.26). (PREMO, 2019)

6.4.2 Equipo de Cabecera Gateway MV

Este equipo realiza su función de cabecera y es un Gateway que tiene tres modos de funcionamiento, de Máster, Esclavo y de repetidor. Se usa para extender el alcance de la señal de datos. Cada MV Gateway contiene tres módulos de banda ancha de Powerline de 200 Mbps (BPL), que permiten comunicaciones en líneas de media tensión y la inyección simultánea en las líneas de bajo voltaje (desviando el transformador).

Este equipo puede funcionar como equipo de cabecera de una red, con distancias de hasta 2 kilómetros entre los servicios. Dentro de los usos de redes inteligentes, la tecnología permite incluso que se salten los transformadores, usando así menos dispositivos y mejorando el retorno de la inversión.

La inyección de la red de retorno implica el uso de cualquier tipo de medios de comunicación: inalámbrica, DSL o cable coaxial para conectar con el primer nodo Gateway MV. Se puede extender desde la subestación o desde cualquier punto de presencia disponible para el primer nodo de media tensión. En el Gateway MV es un simple puente capa 2 por función y que necesita un servidor DHCP para proporcionar direcciones IP.



Figura 6. Equipo de Cabecera Gateway MV

Fuente: Corinex

Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/view/3624992/corinex-medium-voltage-access-gateways>

El filtro interno RF es opcional y nos sirve en casos de que el ruido causado en la línea sea mayor, que sería el mismo caso que el filtro de selección automática es opcional y este se lo ocuparía para dar prioridad a ciertos sectores en los que se ocuparía el servicio de banda ancha. También posee un filtro de frecuencia estándar que nos permite que el módulo funcione a la frecuencia empleada en nuestro sistema que en nuestro caso es el de 50 Hz.

Por último, nos dan la opción de añadirle entre las características del equipo filtros de frecuencias aeronáuticas optimizados y también una batería con una duración de dos horas, con su respectivo indicador de estado.

Cada MV Gateway se fabrica de manera estándar, con un puerto de Ethernet integrado para permitir conexiones a otros dispositivos. Los filtros de frecuencia internos automatizados son opcionales en las unidades y permiten que las redes de MV Gateway configuren automáticamente sus bandas de frecuencia, asegurando completa evolución de la red. Una batería de reserva de 2 horas es opcional para asegurar que la red de los BPL es operacional durante interrupciones. Cada dispositivo es también completamente compatible con los puntos finales. (Navarro, 2016)

El principal fabricante de este dispositivo es la empresa Corinex, el precio del dispositivo es de 1700 dólares (\$32745.83). (Corinex, 2018)

6.4.3 CPE o Modem de Usuario PLC

Son los dispositivos terminales que se enchufan en la Red de suministro eléctrico, para utilizar esta como medio del enlace de datos. Se ubica en los hogares de los usuarios, su función es convertir cada toma de corriente en un punto de conexión de terminal de usuario. Este adaptador eléctrico es un dispositivo pasivo, que se encarga de inyectar la señal de alta frecuencia de datos en la red eléctrica. Consta básicamente de unidades concentradoras que filtran las señales para hacer fluir la energía eléctrica a través de las tomas de corriente y a su vez dejar pasar los datos, liberándolos mediante un interfaz PCI, USB, Ethernet, Wireless LAN u otros, facilitando el tráfico bidireccional entre el cliente y la red.

Sus funciones principales son:

- Permitir la conexión al abonado final.
- Soporta contenidos como prioridad de tráfico y consiente la asignación de ancho de banda y QoS.
- Permite que cada toma eléctrica sea un punto de acceso a la red, al cual se puede conectar un equipo informático.

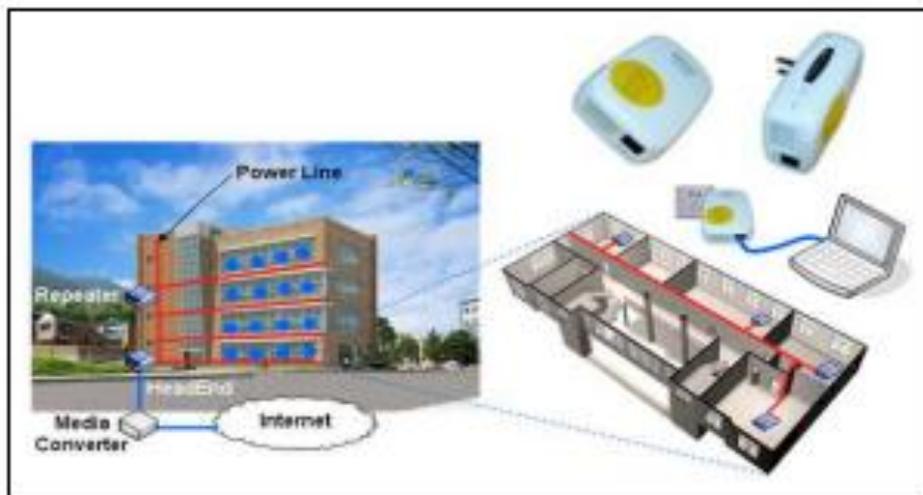


Figura 7. Módem de usuario PLC

Fuente: (Suarez, 2015), pág. 26

Recuperado de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/4120/1/T-UCSG-POS-MTEL-47.pdf>

Entre los principales proveedores de módems PLC se encuentran:

- TP-Link
- Linksys

La empresa TP-Link ofrece el módem de usuario PLC en dos diferentes modelos los cuales son:

- Kit Powerline Extensor Universal de Cobertura Wi-Fi AV500, 2 Puertos Ethernet a un costo de \$2500.00.



Figura 8. Kit Powerline Extensor Universal de Cobertura Wi-Fi AV500

Fuente: TP-Link

Recuperado de: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220t-kit/#overview>

Características Técnicas:

- Súper extensión de cobertura pulsando un botón – El botón de clonado Wi-Fi simplifica su configuración Wi-Fi y le ayuda a construir una red doméstica unificada y sin cortes
- El estándar HomePlug AV proporciona transmisiones de alta velocidad hasta 500Mbps a través de la red eléctrica existente, ideal para streaming de vídeo HD o 3D sin retardos y juegos en red
- Extiende las conexiones inalámbricas a 300Mbps a zonas previamente inaccesibles de su hogar y oficina
- Estándares y Protocolos: HomePlug AV, IEEE802.3, IEEE802.3u, IEEE802.11b/g/n

- KIT Extensor TP-Link WPA7510 Kit AC750 a un costo de \$1599.00



Figura 9. KIT Extensor TP-Link WPA7510 Kit AC750

Fuente: TP-Link

Recuperado de: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa7510-kit/>

Características Técnicas:

- Compatible con el estándar HomePlug AV2, transferencia de datos de alta velocidad con tasas de transferencia de hasta 1000Mbps, soporta todas tus necesidades online.
- Doble Banda Wi-Fi 802.11ac – Extiende 2.4GHz (300Mbps) + 5GHz (433Mbps) de velocidad Wi-Fi en doble banda para todas las habitaciones de tu casa
- Auto-Sincronización Wi-Fi – Configuración sencilla con Clonado Wifi y sincronización con Wi-Fi Move
- El puerto Gigabit proporciona una red cableada segura para ordenadores, Smart TV o videoconsolas
- Enchufar, Emparejar y Listo – Configura tu red Powerline y comienza a disfrutar de conexiones por cable o por Wi-Fi sin interrupciones y rápidas en cuestión de minutos.

La empresa Linksys ofrece los siguientes modelos:

- Linksys PLEK500 Powerline Wired Network Expansion Kit a un costo de 119.99 dólares (\$2333.20) sin incluir el costo de envío.



Figura 10. Linksys PLEK500 Powerline Wired Network Expansion Kit

Fuente: Linksys

Recuperado de: <https://www.linksys.com/eg/p/P-PLEK500/>

Características:

- Velocidad de cable de hasta 500 Mbps: Cobertura de Internet por cable de alta velocidad a través del cableado de su hogar.
- Conectividad universal: Se conecta a cualquier dispositivo habilitado para Ethernet con un puerto de red.
- 1 puerto ethernet gigabit: El puerto Gigabit Ethernet transfiere datos 10 veces más rápido que los puertos Fast Ethernet.
- Conecta y reproduce: Simplemente conecte cada adaptador a la toma de corriente y sincronícelo con el enrutador y el dispositivo con Ethernet.
- Modo ahorro de energía: Se activa si el puerto Ethernet no se usa.

- Linksys PLWK400 Powerline Wired and Wireless Network Expansion Kit a un costo de 89.99 dólares (\$1749.85) más costo de envío.



Figura 11. Linksys PLWK400 Powerline Wired and Wireless Network Expansion

Fuente: Linksys

Recuperado de: <https://www.linksys.com/za/p/P-PLWK400/>

Características:

- Velocidad inalámbrica de hasta 300 Mbps: Transmite la conexión de su enrutador alámbrico de forma inalámbrica en otra habitación.
- Velocidad de cable de hasta 200 Mbps: Cobertura de Internet por cable de alta velocidad a través del cableado de su hogar.
- Conectividad universal: Se conecta a cualquier dispositivo habilitado para Ethernet con un puerto de red.
- 1 puerto fast ethernet: Crea una conexión por cable para un dispositivo.
- Conecta y reproduce: Simplemente conecte cada adaptador a la toma de corriente y sincronícelo con el enrutador y el dispositivo habilitado para Ethernet.
- Seguridad de botón WPS: "Secure Connect permite el emparejamiento fácil y seguro de dispositivos con solo presionar un botón".
- Compatible con versiones anteriores: 802.11n funciona a la perfección con dispositivos Wi-Fi b / g / n.

6.5 Requerimientos legales para el uso de la tecnología PLC en México

En México se han realizado investigaciones y pruebas para evaluar la factibilidad y el funcionamiento de la tecnología PLC. México tiene una población de más de 127 millones de habitantes. Actualmente solo hay un 64 % de usuarios con acceso a Internet. (Escalona, 2018)

Una de las dificultades para extender esta tecnología en otros países es la existencia de múltiples compañías eléctricas; en México solo hay un proveedor: CFE; además le da relativa ventaja para influenciar sobre la regulación en caso de haber quejas respecto a interferencias sobre comunicación de radio de onda corta.

Aun dicho lo anterior la CFE no puede ofrecer el servicio de acceso a Internet a través de sus redes y mediante la tecnología PLC, en tanto no se modifique la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y hasta que la dependencia obtenga un título de concesión para fungir como operador de una red pública de telecomunicaciones.

Ante el dilema de conocer qué tipo de legislación regularía este nuevo servicio que intenta ofrecer la CFE, los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establecen que el sector eléctrico es de carácter público y su responsabilidad es exclusiva del Estado, pero además la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) establece como sus únicos objetivos generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer la energía eléctrica. En caso de que la CFE pudiera prestar servicios como acceso a Internet, telefonía IP o transmisión de video, no habría necesidad de modificar la Ley Federal de Telecomunicaciones, pues no es competencia de la COFETEL definir sobre la red eléctrica.

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

“Carrier de carriers”, es decir, puede rentar la fibra oscura a cualquier empresa, inclusive de telecomunicaciones, que quiera ampliar su red de larga distancia.

Con lo anterior se hace notar que por el momento no hay una regulación propia de la tecnología PLC, sin embargo, se puede destacar el artículo 28 de la Ley Federal de Telecomunicaciones la cual indica:

“Artículo 28. Las redes privadas de telecomunicaciones no requerirán de concesión, permiso o registro para operar, salvo que utilicen bandas de frecuencias del espectro, en cuyo caso se estará a lo dispuesto en el artículo 14.”

Tomando en cuenta el artículo anterior no habría problema legal para implementar la red PLC, ya que al utilizar PLC como una tecnología Indoor, como se tiene planeada, sería considerada una red privada.

6.6 Estándares y Normas de PLC

Un estándar se define como una especificación, que regula la realización de ciertos procesos o la fabricación de componentes para garantizar la interoperabilidad.

La estandarización encierra los deseos, las propuestas de todas las instituciones relevantes como son los fabricantes, asociaciones de consumidores, juristas, centros de investigación, entidades de certificación e inspección.

Una norma, en cambio, es un conjunto de reglas estandarizadas que contienen un catálogo de requisitos, los cuales se refieren tanto a productos como a procesos.

Los institutos de normalización en telecomunicación (como, por ejemplo, la ITU a nivel global), producen normas que están elaboradas por comités de especialistas, donde se juegan fuertes intereses industriales, en procesos generalmente lentos.

PLC es una tecnología que no se encuentra regida bajo estándares estrictos de normalización, debido a que es una tecnología relativamente nueva, sin embargo, actualmente y debido a la buena aceptación que ésta ha tenido en algunos países, y al ser una tecnología comercial, se ve obligada a cumplir ciertos estándares.

Entre las principales organizaciones que impulsan el desarrollo de PLC, en los aspectos de normatividad y estandarización, se encuentran:

- HomePlug Powerline Alliance
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- UPA (Universal Powerline Association)

A continuación, se dará una breve explicación de cada una de estas organizaciones, poniendo énfasis en los aspectos normativos y de estandarización que éstas manejan o influyen (Encalada, 2008):

6.6.1 Home Plug Powerline Alliance

Esta alianza definió una serie de estándares entre los que destacan:

- HomePlug 1.0. Especificación para la conexión de dispositivos vía líneas eléctricas dentro del hogar.
- HomePlug AV. Diseñado para la transmisión de Audio y Video dentro del hogar.
- HomePlug BPL. Define un grupo de trabajo para el desarrollo de especificaciones orientadas a la conexión dentro del hogar.
- HomePlug CC. Para comando y control a bajas velocidades y muy bajos costos. Esta especificación es capaz del control de luminarias en el hogar, control de climatización, seguridad y otros dispositivos.

El espectro de trabajo de las especificaciones HomePlug está comprendido entre los 4.3 y los 21 MHz, con técnicas de modulación OFDM, cuya capacidad de transmisión es de alrededor de los 14 Mbps.

El enfoque Home Plug, se centra básicamente en la tecnología de la red interior de PLC (Indoor) y no contempla la separación de bandas de frecuencia, lo que aleja a HomePlug de la tendencia normativa que actualmente se promueve en Europa.

6.6.2 ETSI – EP PLT

ETSI en 1999 aprobó la creación de un proyecto llamado EP PLT (European Project Powerline Telecommunications) con el objetivo de desarrollar estándares y especificaciones de alta calidad, para proporcionar servicios de voz y datos, a los usuarios finales a través de las redes eléctricas.

EP PLT, vela por una clara definición de cooperación y relación con otros organismos e iniciativas relacionadas.

Es importante señalar que la normalización en Europa contempla las dos secciones de la tecnología PLC: red de acceso exterior (outdoor), e interior o LAN (indoor).

Para la coexistencia de las tecnologías indoor y outdoor de PLC, el espectro utilizado se ha dividido en dos rangos de frecuencias:

- Acceso outdoor, que comprende desde los 3 MHz hasta los 12 MHz.
- Indoor, comprende desde los 13 hasta los 30 MHz.

6.6.3 IEEE

Entre los principales estándares, se pueden mencionar:

- IEEE P1675. Estándar para el desarrollo de hardware PLC de banda ancha (Standard for Broadband Over Power Line Hardware). Se trata de un grupo de trabajo especializado en instalaciones (hardware) y asuntos de seguridad para el uso de la tecnología PLC.
- IEEE P1775. (Powerline Communication Equipment – Electromagnetic Compatibility Requirements - Testing and Measurement Methods). 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 (IEEE P1901 Draft Standard for Broadband Over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications). 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. Muchas

compañías y organizaciones de estandarización, participan en el desarrollo de IEEE P1901, entre ellas: HomePlug Powerline Alliance, UPA y OPERA. Se espera que sea publicada en el 2008.

6.6.4 UPA

UPA es una organización internacional sin fines de lucro, que trabaja en la formulación de estándares globales y normativas regulatorias orientadas al mercado PLC.

Se encuentra constituida por compañías líderes en tecnología PLC, cuyo objetivo es desarrollar productos certificados, que sean compatibles con las especificaciones que se aprueben, para situarlos en el mercado en el menor tiempo posible, garantizando de este modo altas prestaciones y maximizando el uso del espectro.

6.7 Antecedentes

Entre los principales trabajos o proyectos con aportación al tema relacionado, se encuentran los siguientes:

- A. Ramos & Fernádo (2015). *“Fundamentación de la pertinencia y factibilidad de la aplicación domótica mediante la tecnología Power Line Communications PLC para redes domésticas en el Ecuador”*. Se centra en la utilización de la tecnología PLC, para la creación de redes de control y automatización de dispositivos eléctricos y electrónicos en el hogar y oficina mediante las líneas de energía existentes. La metodología utilizada en esta investigación es teórica, ya que se demostró la hipótesis desde el punto de vista de la modelación tecnológica. Se concluyó que el proceso de instalación para formar una red PLC que permita llevar a cabo aplicaciones domóticas, tiene como características su sencilla y rápida instalación para el usuario final, ya que cualquier tomacorriente del hogar se convierte en un puerto de comunicación, sin necesidad de obras ni cableados adicionales. También trajo como beneficios: Ahorro de costos mediante el uso de cableado e infraestructura existente, escalabilidad, ya que las redes se pueden ampliar fácilmente con dispositivos PLC, que son muy fáciles de programar y ahorro en el consumo eléctrico.

- B. Apaza Mamani (2017). “*Estudio del canal PLC (Power line Communications) para envío de datos a bajo costo en redes eléctricas domiciliarias*”. La problemática va enfocada al desconocimiento de características del comportamiento del canal PL, que permita estudiar efectos de la red eléctrica y posibilite el desarrollo de sistemas de bajo costo de comunicación. El objetivo general de este trabajo fue diseñar, implementar y validar un transceptor de bajo costo que utiliza la red eléctrica PL como canal de comunicación, utilizando una metodología basada en recopilación de información y pruebas experimentales. Se llegó a la conclusión de que un estudio adecuado de la red PLC permite elegir los componentes electrónicos adecuados para diseñar, implementar y validar un transceptor PLC a bajo costo y que la modulación FSK que se implementó permitió enviar audio de manera digital con una transferencia efectiva de 200 Kbps. Esto demostró que es posible enviar una cantidad de datos superior a las implementadas en Narrowband y sin hacer uso de OFDM. También esta tasa de transferencia efectiva puede mejorar con el uso de microcontroladores más veloces, pero con un incremento del costo.
- C. González Mahecha et al. (2017) “*Viabilidad socioeconómica y tecnológica para la implementación de una red de internet con tecnología PLC en un municipio sin interconexión a la red eléctrica del país*”. Se buscó determinar la viabilidad socioeconómica y tecnológica para la implementación de una red de internet con tecnología PLC, específicamente en el municipio de Yacopí, Colombia, con el fin de diseñar un modelo de negocio para la implementación en un municipio sin interconexión a la red eléctrica del país. Este trabajo logró probar el funcionamiento, desempeño, estabilidad y comportamiento de la tecnología PLC en una de las zonas rurales más lejanas de la capital colombiana, lo cual permitió, además de la transferencia de datos, la navegación en internet con velocidades de navegación comparables con las ofrecidas por los proveedores de servicio de internet del país (5Mbps). Con el resultado de las pruebas realizadas se corroboró que el tendido

eléctrico que posee cada una de las veredas que hacen parte del municipio soporta la transferencia de datos por medio de la red eléctrica; estos resultados permitieron establecer que cualquier municipio con sectores rurales que cuenten con una red eléctrica con las características de la red eléctrica del municipio de Yacopí o, que por su ubicación geográfica no cuentan con servicios de teléfono, fibra óptica, pueden pensar en PLC como una nueva tecnología de acceso a internet.

D. Uribe & Villalobos (2016). *“Transmisión de datos a través de redes eléctricas tecnología Power line Communications (PLC) en México”*. Su objetivo fue proponer una solución de conectividad In-Home mediante la tecnología Power Line Communication (PLC) analizando los requerimientos que debe cumplir la red eléctrica para brindar este servicio y estudiando los diferentes aspectos que influyen positiva y negativamente para posibilitar una solución para una eficiente transmisión de datos. Se llegó a la conclusión que el despliegue 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 pero debido a que esta tecnología no es muy reconocida en México por falta de información y por conceptos burocráticos de comercialización, no se permite el desarrollo de esta tecnología ya que ahora aparte de ser líder la Comisión Federal de Electricidad de toda la red eléctrica sería el servidor de comunicaciones.

E. Moscoso (2015). *“Diseño de una red de área local mediante tecnología Power line Communication indoor que permita la distribución de internet en un edificio habitacional ubicado en el distrito de Villa el Salvador”*. Da a conocer la tecnología PLC a través de las ventajas que presenta su instalación tanto física como económica con respecto a otras opciones tecnológicas del mercado. Se concluyó que la implementación de la red es sencilla, así como su administración, en la parte estética los dispositivos de PLC ofrecen una obvia ventaja con respecto a la tecnología Ethernet ya que sustituye todo el cableado Ethernet que es distribuido hacia los

departamentos o cuartos y esto incomoda muchas veces a los clientes, en cambio con los PLC usa el cable eléctrico que ya se encuentra tendido en el domicilio.

- F. Palacio (2014). *“Determinar la viabilidad para la implementación de la tecnología PLC en redes eléctricas en el sector residencial”*. El principal motivo de este trabajo fue determinar la aplicabilidad de esta tecnología en las zonas residenciales de Colombia. Dentro de sus conclusiones obtuvieron que si es posible la implementación de tecnología PLC sobre el tendido eléctrico de las zonas residenciales y que las comunicaciones a través de las líneas eléctricas constituyen una alternativa económica para sectores donde existen limitaciones de infraestructura telefónica, es por esto que la tecnología PLC es una importante alternativa para el acceso a servicios de comunicación identificando las redes eléctricas de media y baja tensión en Colombia como medio posible para transmitir datos con lo que se puede interconectar a gran parte del país y de esta manera se podría contar con un nuevo servicio de acceso a internet y otros tipos de telecomunicaciones basado en la tecnología PLC.
- G. Chacha & Orbea (2015). *“Diseño e implementación de un prototipo de red de datos con tecnología PLC (Power Line Communication) para la Universidad De Las Fuerzas Armadas”*. Se tuvo como propósito implementar una red de datos con tecnología PLC (Power Line Communications) en el Laboratorio de Comunicaciones de la ESPE Extensión Latacunga, con el fin de resolver el inconveniente que se tiene con la zona geográfica en la que se requiere el acceso a Internet, ya que está muy alejada de la ciudad y 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. Con el trabajo se concluyó 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, y que 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.

H. Delgado Carey & Moran Ordoñez (2015). *“Diseñar una red basada en tecnología PLC (Comunicación por Línea Eléctrica) para instituciones educativas, hogares y empresas de la ciudad de Guayaquil”*. La problemática está enfocada en la necesidad de estar conectados por medio de la tecnología existente, y los altos costos de mano de obra en la instalación del cableado estructurado en un edificio, pequeñas y medianas empresas (PYMES) y domicilios de gran tamaño han llevado a las personas a pensar muchas veces en implementar nuevas tecnologías y las redes PLC son una opción para ahorrar algunos de los costos en las instalaciones del cableado estructurado en cualquier fábrica o empresa. EL objetivo principal la investigación es realizar un estudio para el levantamiento de una red PLC para la transmisión de datos, voz y video utilizando las redes de distribución eléctrica de baja tensión de pymes, hogares o instituciones educativas en la ciudad de Guayaquil, siendo una solución para dar cobertura a grandes extensiones geográficas. Con el estudio llevado a cabo se concluyó que en la ciudad de Guayaquil las redes eléctricas son aptas para la implementación de la tecnología PLC en lugares donde el tendido eléctrico es aéreo ya que todavía para las zonas regeneradas o soterradas no existen equipos que puedan colocarse en pozos de datos.

I. Asencios et al. (2017). *“Diseño e implementación de una Red de área local con acceso a internet mediante la tecnología Power Line Communication (PLC)”*. Se tiene el objetivo de reducir el cableado para optimizar los espacios y resolver los fallos de red por desacoplo de los conectores RJ45. Este trabajo obtuvo como resultados:

- Instalación rápida y sencilla. Debido a que esta tecnología emplea la red de distribución eléctrica. es decir, una infraestructura existente, no requiere de obras de cableado adicionales lo cual satisface uno de los objetivos propuestos.

- Movilidad. El personal puede realizar la conexión desde cualquier punto de la oficina donde disponga de una toma eléctrica, lo cual permite la reubicación de las maquinas o sumar equipos.

Se obtuvo como conclusión que esta solución ofrece una ventaja a los usuarios que estén afectados por el tendido de Ethernet abundante por sobre las paredes o en el piso.

- J. Avecilla (2018). “*Estudio de factibilidad técnica e implementación demostrativa de la tecnología de comunicaciones por líneas eléctricas para el acceso a internet en el Ecuador.*” Este trabajo resalta que, en Ecuador, la mayor parte de la población no cuenta con servicio telefónico, siendo esta la vía de acceso a internet más comúnmente usada; en cambio el 97.24% de la población cuentan con acceso a la red eléctrica, por lo que PLC constituiría un medio para que la mayoría de los ecuatorianos puedan acceder a los servicios de comunicaciones con calidad. El problema de la presente investigación, radica en la insuficiencia de alternativas tecnológicas de conectividad a Internet en el Ecuador, donde una parte de su población no puede acceder a la misma. El objetivo de esta investigación es realizar un estudio de factibilidad técnica e implementación demostrativa de la tecnología PLC, con la finalidad de evidenciar la viabilidad del uso de esta tecnología para la masificación del acceso a internet en el Ecuador. Dentro del marco legal se menciona que aún no existe una normativa o regulación para la tecnología PLC, por lo que las empresas que comercializan equipos con esta tecnología, los ofertan bajo normativas del exterior.

Así mismo dentro del marco regulador del sector eléctrico no existen argumentos que impidan el uso de las redes eléctricas de distribución con otra finalidad que solo la de comercializar el servicio eléctrico.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se muestra el diagrama del proceso que se siguió para poder realizar el proyecto de investigación sobre la tecnología PLC y así conocer si es factible económica y legalmente su implementación en el ITSMT.



Figura 12: Proceso de investigación
Fuente: Elaboración propia LFMN

La metodología utilizada es de enfoque cuantitativo porque utiliza estrategias de obtención y procesamiento de información que emplean magnitudes numéricas y técnicas formales y/o estadísticas para llevar a cabo su análisis.

Fase 1. Fase conceptual.

En esta fase se determinó que es lo que se pretende investigar, en este caso se trata de la tecnología PLC. Una vez decidido el objeto de estudio, se formuló la problemática que se busca resolver y se establecieron los objetivos generales y específicos a los que se desea llegar con la investigación, también se inició la construcción del marco teórico con estudios relacionados con el tema.

Fase 2. Fase de planeación y diseño.

En la segunda fase se seleccionó el diseño de la investigación, la cual es no experimental, ya que los datos se recolectaron en forma pasiva sin introducir cambios.

Fase 3. Fase empírica.

En esta fase del estudio se comenzó la recolección de datos sobre la tecnología PLC, mediante observación directa se realizó un análisis en fuentes de información utilizadas como son materiales escritos, tesis, libros, artículos, revistas e internet, así como los planos eléctricos de las instalaciones que permitió un análisis profundo sobre el uso de la tecnología PLC en las instalaciones del ITSMT.

Fase 4. Fase analítica.

Una vez que se recolectó la información necesaria, se prepararon los datos para analizarlos. Posteriormente se seleccionó la información que nos permitiera cumplir con los objetivos de la investigación, con ayuda de los planos eléctricos del edificio se pudo realizar un diseño del laboratorio de cómputo utilizando el programa llamado “Visio”, además se hizo uso de “Excel” para realizar cálculos aproximados sobre el costo del cableado estructurado y de la tecnología PLC.

Fase 5. Fase de difusión.

Por último, en esta fase se publicarán los resultados que se obtuvieron a lo largo del proyecto de investigación mediante la presentación del informe técnico de residencias profesionales y posteriormente se presentará en una tesis para la obtener el título universitario de Ingeniero en Sistemas Computacionales.

7.1 Procedimientos y descripción de las actividades

7.1.1 Análisis costo-beneficio de la infraestructura de la red PLC

La instalación eléctrica de la Unidad Académica Departamental tipo H del Instituto Tecnológico Superior de Martínez De La Torre está basada en la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004, apartado 5.2 “Edificios para escuelas y demás centros docentes (Escuelas)”

El Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre se encuentra en una zona rural lejana al centro de la ciudad, por lo que se descarta la presencia de cualquier dispositivo que pueda significar una fuerte fuente de ruido que pueda afectar a el funcionamiento de la tecnología PLC. El plantel contará con un enlace dedicado y este se usará como acceso a internet y a partir de ese punto se inyectará la señal PLC hacia el laboratorio de cómputo.



*Figura 13. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre
Fuente: Elaboración propia LFMN*

Se propone utilizar el Kit Powerline Extensor Universal de Cobertura Wi-Fi AV500 de la marca TP-Link ([Figura 9](#)), estos dispositivos vienen en pares, uno es el que inyecta la señal de internet a la línea eléctrica ([Figura 14](#)), y el otro es el que recibe la señal de internet y la trasmite hacia los dispositivos que se desean conectar ([Figura 15](#)). Estos

dispositivos trabajan con los estándares HomePlug AV, IEEE802.3, IEEE802.3u, IEEE802.11b/g/n



Figura 14. TL-PA4010

Fuente: (TP-Link México – Equipos de Red Wi-Fi para el hogar y empresas, 2020)

Recuperado de: <https://www.tp-link.com/mx/home-networking/powerline/tl-pa4010-kit/#overview>



Figura 15. TL-WPA4220

Fuente: (TP-Link México – Equipos de Red Wi-Fi para el hogar y empresas, 2020)

Recuperado de: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa4220t-kit/#overview>

La instalación de la red PLC comenzará a partir de la subestación del edificio ([Figura 16](#)), en la cual se encontrará el dispositivo TP-Link TLPA8010 recibiendo la señal del proveedor de servicios de internet y filtrándola a través de las líneas eléctricas hasta el laboratorio de cómputo, donde cada dispositivo TP-Link TL-WPA8630 recibirá la señal y la transmitirá a los dispositivos conectados a él mediante cable utp.

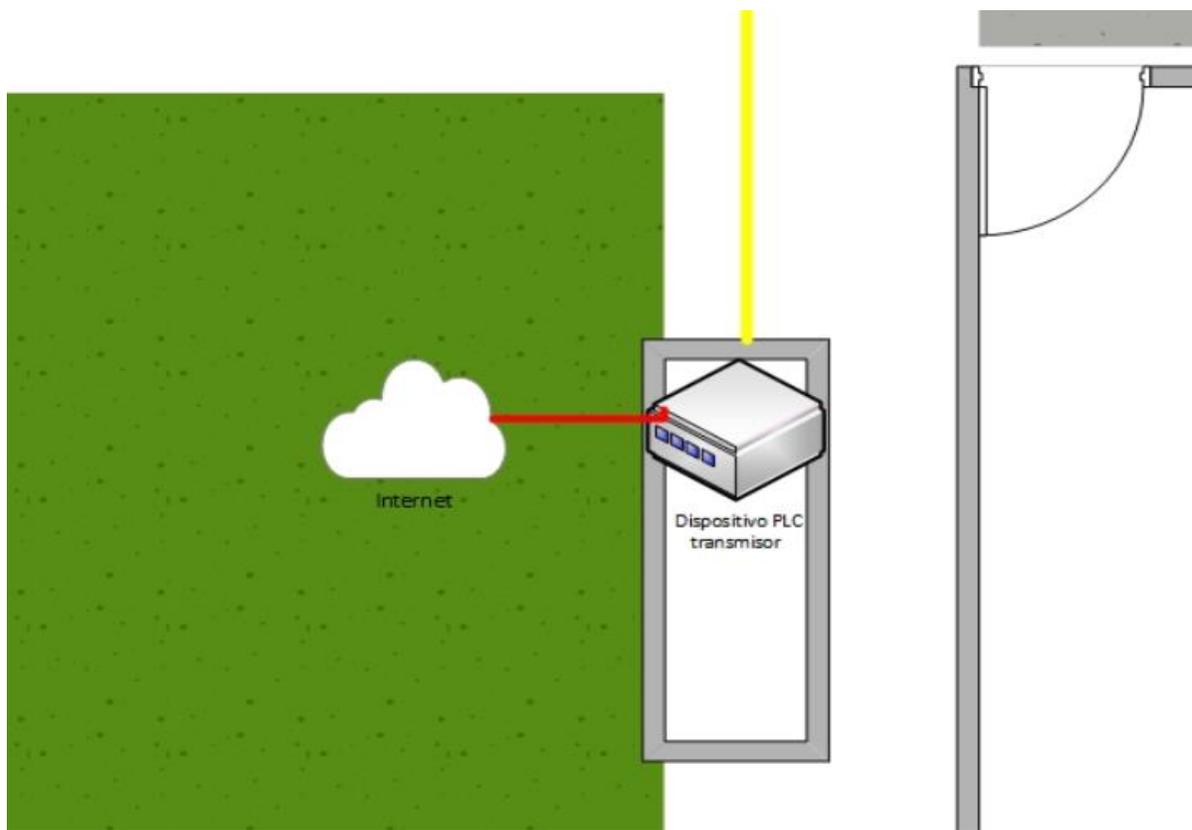


*Figura 16. Subestación del ITSMT
Fuente: Elaboración propia LFMN*

7.1.2 Diseño de la red del laboratorio de cómputo utilizando PLC

Se presenta la propuesta del diseño de la red PLC completa que va desde la subestación hasta el laboratorio de cómputo con la cantidad de dispositivos necesarios para su funcionamiento, tal como se describió en el análisis de la infraestructura de la red eléctrica del edificio. Las líneas amarillas representan el cableado eléctrico.

En la [Figura 17](#) se muestra la subestación del edificio, a través de ella llega el servicio de energía eléctrica y a su vez también recibe el servicio de internet que es suministrado por un proveedor de servicios de internet. Aquí se encuentra un módem proporcionado por el ISP, en el que se encuentra conectado un dispositivo PLC de tipo transmisor ([Figura 14](#)), el cual se encarga de filtrar la señal de internet a través de las líneas eléctricas.



*Figura 17. Diseño de la subestación
Fuente: Elaboración propia LFMN*

Como se puede observar en la [Figura 18](#) los dispositivos PLC se encuentran distribuidos a lo largo del laboratorio de cómputo, en este caso será necesario adquirir ocho dispositivos PLC receptores ([Figura 15](#)), ya que un solo dispositivo transmisor puede vincularse a diversos receptores y así poder extender la red.

Los dispositivos PLC se encontrarán distribuidos en el laboratorio de cómputo de la siguiente manera: un primer dispositivo PLC receptor se encontrará bajo el pizarrón, este dispositivo se encargará de enviar y recibir señal directamente al SiTe, de un lado del laboratorio se instalarán 3 receptores PLC, una en cada línea de computadores como se muestra en la imagen, cada uno de estos dispositivos cubrirá 2 computadoras. Del otro lado del laboratorio se contará con 4 receptores PLC, ubicando uno en cada línea de computadoras, de la misma manera cada dispositivo proveerá de los servicios de internet a 2 computadores.

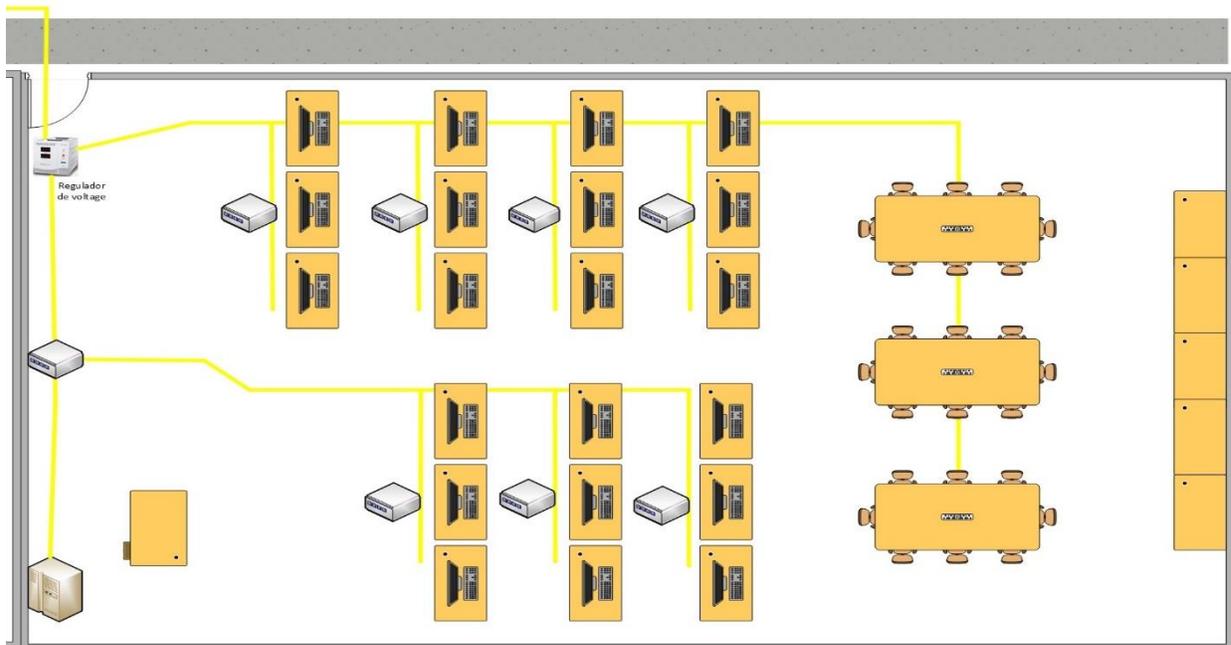


Figura 18. Diseño laboratorio de cómputo
Fuente: Elaboración propia LFMN

Dado que cada dispositivo PLC cuenta con 2 puertos ethernet no es posible que todos los computadores se conecten mediante este, pero una ventaja que nos ofrece el dispositivo PLC es que permite crear una red inalámbrica, la cual será la manera de conectar las computadoras restantes.

De esa manera es como se llevaría a cabo la distribución de los dispositivos PLC y el diseño de la red PLC a través de las líneas eléctricas de las instalaciones.

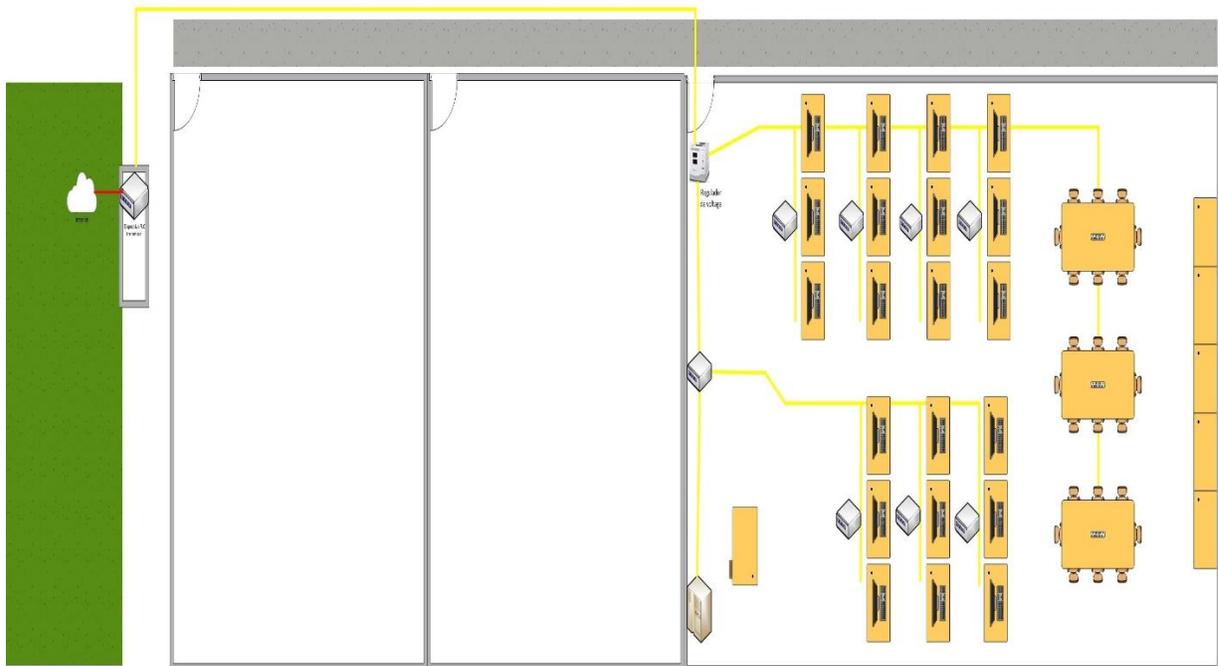


Figura 19. Diseño de la red PLC completa
Fuente: Elaboración propia LFMN

7.1.3 Diseño de la red del laboratorio de cómputo con cableado estructurado

Se realizó el diseño y estructura de la red con servicios de internet, pero con cableado estructurado, la cual se presenta a continuación.

Desde el SiTe se administra completamente la red.

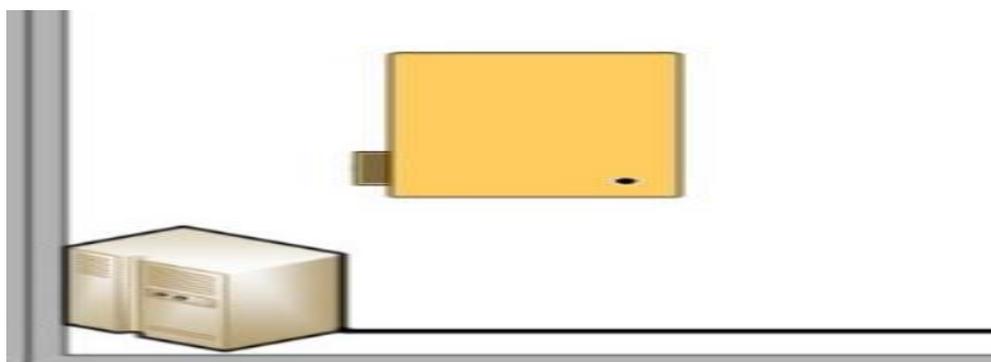


Figura 20. Ubicación SiTe
Fuente: Elaboración propia LFMN

El cableado estructurado comienza por el lateral más cercano al switch siguiendo hasta el final del laboratorio de cómputo por el borde y se pasa hacia el otro lateral a través del techo todo esto por medio de canaletas y permitiendo la conexión con los RJ45 hembra instaladas en los escritorios donde se encuentran de las computadoras los cuales permitirán la conexión a internet.

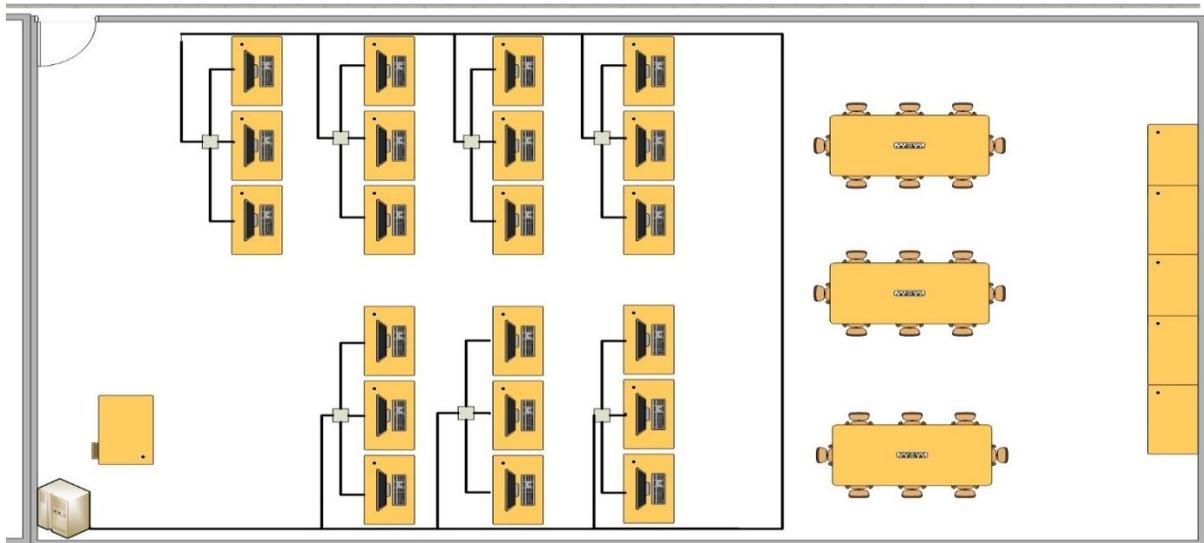


Figura 21. Diseño red cableado de estructurado
Fuente: Elaboración propia LFMN

7.1.4 Comparación de diferentes tecnologías

Dado que PLC tiene aplicación como tecnología de acceso y como tecnología para LAN, para compararla con otras tecnologías es conveniente hacerlo por separado.

7.1.4.1 Tecnologías de acceso

Las siguientes tecnologías de acceso a Internet pueden ser consideradas como principales competidores de PLC (Salgado & Cortés, 2014):

- Cable Módem
- ADSL
- Satélite

Cable Módem

Algunas empresas que ofrecen servicios de TV por Cable, han introducido al mercado un sistema para, a través de un dispositivo denominado Cable Módem, proveer de servicios TriplePlay (TV por cable, Teléfono e Internet) a hogares y oficinas, con una tasa de datos de entre 100 Mbps y 200 Mbps. Esta tecnología funciona mediante una red de fibra óptica y cable coaxial multicanal. La comunicación es asimétrica, lo que significa que las tasas de transferencia de datos (upstream y downstream) son diferentes.

Sin embargo, no tiene cobertura a nivel nacional, únicamente en las ciudades más pobladas o con mayor demanda.

ADSL

La tecnología ADSL ha permitido a las empresas de servicios telefónicos competir en el mercado de servicios de Internet de alta tasa de transferencia. El envío y la recepción de datos se establece desde la computadora a través de un módem digital. Esta comunicación pasa por un filtro, que permite dividir la conexión a Internet de la línea telefónica, de manera que el usuario puede estar conectado y hablar por teléfono al mismo tiempo. La comunicación es asimétrica.

Una desventaja que presenta esta tecnología, en cuanto a la capacidad de transmisión de datos se refiere, es que la máxima tasa de datos ADSL alcanzable disminuye conforme

aumenta la distancia entre la ubicación del usuario y la central telefónica. Además, la cobertura es limitada a ciertas áreas y aunque es un servicio idóneo para usuarios residenciales, en el sector empresarial suele ser un servicio limitado por sus características.

Satélite

La conexión de este servicio es principalmente asimétrica. La comunicación se realiza a través de ondas electromagnéticas de alta frecuencia que viajan en el espacio libre y llegan hasta un satélite geoestacionario, que al ser en esencia un transmisor y un receptor, retransmite los datos para ser enviados a una antena parabólica (normalmente colocada en el techo de la casa del usuario). Posteriormente, los datos pasan a través de un convertidor (módem especial) que los envía por medio de una red Ethernet hacia la computadora.

Aunque representa un costo muy elevado para usos domésticos, es una buena alternativa no sólo para acceder a Internet desde cualquier lugar sin importar su ubicación (inclusive desde una camioneta u otro vehículo), sino también para compartir información como en el caso de las escuelas rurales, proyectos de investigación que requieren contar con una conexión permanente para poder enviar y recibir información conectándose a un mismo servidor, sistemas móviles utilizados por dependencias públicas para llevar sus servicios a lugares apartados de las grandes ciudades conectándose vía satélite a su servidor, etc. Sin embargo, esta tecnología es sensible a interferencias ambientales, por lo que, en condiciones ambientales extremas, el servicio puede tener interrupciones o fallas y el costo del equipo satelital y su instalación es más alto que las otras alternativas de acceso a internet.

7.1.4.2 Tecnologías de área local

Entre las muchas tecnologías para LAN existentes actualmente, PLC principalmente enfrenta la competencia de las redes IEEE 802.3 (Ethernet) e IEEE 802.11 (Wireless LAN).

IEEE 802.11 (Wireless LAN)

La tecnología WIFI, también llamada WLAN, basada en las especificaciones IEEE

802.11, es una forma de transmisión de datos diseñada para acceso a Internet a través de ondas de radio en lugar de cables. El adaptador inalámbrico de un dispositivo (computadora, Laptop, celulares, cámaras, etc.) traduce datos a una señal de radio y la transmite usando una antena. El router inalámbrico recibe la señal de la computadora y la decodifica. Posteriormente envía la información a Internet usando una conexión física por cable, usualmente Ethernet. El proceso trabaja de igual forma en sentido contrario, el router recibe información de Internet, la traduce a una señal de radio y la envía al adaptador inalámbrico.

Las redes WIFI pueden transmitir en tres bandas de frecuencia, o pueden saltar entre las diferentes bandas cambiando dichas frecuencias. Este cambio de frecuencia permite que varios dispositivos inalámbricos usen la misma conexión simultáneamente. Sin embargo, si muchos usuarios se quieren conectar y consumir ancho de banda al mismo tiempo, puede haber lentitud y conexiones rotas.

Las redes WIFI tienen ventajas y desventajas con respecto a una red con cables. Las ventajas son que no hay que conectarse desde una ubicación fija para acceder a los servicios que ofrece y no hay necesidad de cables para conectarse. Una de las desventajas es que tiene una menor tasa de transferencia de datos en comparación a una conexión con cables, debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear. Además, tiene ciertas limitaciones para pasar señales por muros sólidos y está diseñado para conectar dispositivos a la red a distancias reducidas (máximo 150 m), cualquier uso de mayor alcance está expuesto a un excesivo riesgo de interferencias.

IEEE 802.3 (Ethernet)

Ethernet es la LAN más común hoy en día. Sus variantes más populares son las que utilizan cable UTP (unshielded twisted pair): la Ethernet 10Base-T (con transmisión a 10 Mbps) y la Fast Ethernet 100Base-TX (con transmisión a 100 Mbps, si el cable es de categoría 5), aunque la Gigabit Ethernet 1000Base-T (con transmisión a 1000 Mbps, también por cable UTP de categoría 5) va ganando cada vez más aceptación.

Las computadoras en una LAN de este tipo están equipadas con placas de red o NIC (network interface card), y los elementos necesarios para comunicarse pueden ser tan

simples como un único cable (cuando solamente deben conectarse dos computadoras), o tan complejos como múltiples hubs, switches y routers, con sus correspondientes cables y tomas de pared RJ-45 (como en la mayoría de las redes corporativas).

Como conclusión, PLC es una alternativa para redes de internet, ya sea como red de acceso o red LAN, cuenta con la ventaja de que es compatible con las otras tecnologías de acceso mencionadas, en nuestro caso el uso que le daremos a esta tecnología es implementando una red LAN en el laboratorio de cómputo del ITSMT, no hay necesidad de utilizarla también como tecnología de acceso, ya que, el proveedor de servicio de internet es él se encargará de llevar este servicio hasta las instalaciones del instituto.

En el caso de las redes LAN, aunque actualmente las redes de cableado estructurado son las más utilizadas, estas además de que presentan dificultades tanto al desplegar una infraestructura cableada, necesitan de muchos materiales y herramientas para su instalación, en cambio las redes WI-FI, aunque no necesitan de tantos materiales y su instalación es en sí sencilla son vulnerables al robo de la señal e interferencias.

Esto nos lleva a considerar el uso de la tecnología Power Line Communication que además de anular de forma tajante los problemas mencionados anteriormente, sacará provecho de una red tendida ya existente que viene a ser la red eléctrica la cual se prevé que aminore costos. Para comprobar esto a continuación, se muestra una comparativa de costos entre una red PLC y una red ethernet tomando como referencia el laboratorio de cómputo del ITSMT.

7.1.4.3 Análisis de costos del laboratorio de cómputo utilizando PLC vs laboratorio de cómputo utilizando cableado estructurado.

Como se mencionó anteriormente el proveedor de servicios de internet será el encargado de llevar el servicio hasta las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior De Martínez de la Torre, por lo que la tecnología PLC no tendrá aplicación como tecnología de acceso si no que se aplicará como red de área local. Retomando las tecnologías LAN el principal competidor de la tecnología PLC es la tecnología IEEE 802.3 (Ethernet o cableado estructurado).

A continuación, se hace un análisis de costos de la red del laboratorio de cómputo utilizando la tecnología PLC comparándola con los costos de la red del laboratorio de cómputo utilizando cableado estructurado.

Como se mencionó anteriormente una de las ventajas que presenta la tecnología PLC es su instalación rápida y sencilla, puesto que únicamente se trata de una adaptación, por lo que nos ahorraría el costo de instalación.

Tabla 1. Costo red PLC

Costo del laboratorio de cómputo utilizando PLC				
NOMBRE DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	CANTIDAD UNIDADES O MESES	COSTO TOTAL M\$
TP-Link TL -WPA4220T KIT Extensor Universal de Cobertura Wi-Fi AV600+AC300	TL-PA4220T KIT contiene dos TL-WPA4220 y un TL-PA4010	\$2,479.00	1	\$2,479.00
TP-Link TL -WPA4220 AV600 300Mbps - Extensor PLC	2 puertos Ethernet 10/100Mbps	\$1,149.00	6	\$6,894.00
TOTAL				\$9,373.00

Nota: La tabla muestra el costo aproximado de montar una red PLC en el laboratorio de cómputo del ITSMT, según los dispositivos que se necesitan.

Para estimar el costo de la red de cableado estructurado se realizó un análisis de las dimensiones del laboratorio de cómputo (teniendo en cuenta el recorrido físico del cable a través de la edificación), distancias entre el switch y las estaciones, para saber la longitud aproximada de cable a comprar. La distancia total del cable es la suma de las distancias tomadas a partir del Switch hasta cada una de las PC. Se comienza por el lateral más cercano al switch siguiendo hasta el final del laboratorio de cómputo por el borde y se pasa hacia el otro lateral a través del techo. Al realizar los cálculos se obtuvo un aproximado 513 metros necesarios para llevar a cabo la instalación de cableado estructurado en el laboratorio de cómputo, por lo cual, se determinó que es necesario comprar 2 cajas de cable UTP, ya que cada caja cuenta con 306 m. Se han tomado en cuenta los costos de instalación como una aproximación.

Tabla 2. Costo de red ethernet (cableado estructurado)

Costo del laboratorio de cómputo utilizando red ethernet				
NOMBRE DEL EQUIPO O MATERIAL	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	CANTIDAD UNIDADES O MESES	COSTO TOTAL M\$
Plugs Modulares Intellinet RJ45	Cat6 Paquete con 100	\$569.00	1	\$569.00
Switch Cisco Gigabit Ethernet SG350-28	24 puertos	\$14,379.00	1	\$14,379.00
Paquete “Xcase” con 5 pzs de tapas face plate con caja rectangular para Jack RJ45	Compatible con Cat7 Cat6 Cat5	\$200.00	5	\$1,000.00
Charola “Charofil” tipo malla 66/100 de 3 Metros	66/100 de 3 Metros	\$900.00	8	\$7,200.00
Intellinet Conector RJ-45 Hembra	Cat6	\$40.00	21	\$840.00
Canaleta 2440 PVC	2 metros 24x40mm 12 cables Redes	\$42.00	21	\$882.00
Pinzas Ponchadoras de RJ45 “Ele-Gate”	Para RJ45	\$175.00	2	\$350.00
Testador de Cables de Red UTP RJ45 “Ele-Gate”	Para RJ45	\$169.00	1	\$169.00
Pinza Ponchadora RJ45 Cat 6 “Xcase”	De Bajo Impacto	\$280.00	1	\$280.00
Caja de Cable UTP “Intellinet” de 306 Metros	Cat 6	\$1,969.00	2	\$3,938.00
Paquete de 50 Pzs de Cinchos Negro 3.5Mm x 200Mm “Voltech”	3.5Mm x 200Mm	\$34.00	1	\$34.00
Costo de Instalación aproximado	Costo por nodo	\$290.00	21	\$6,090.00
TOTAL				\$35,731.00

Nota: La tabla muestra el costo aproximado de montar una red de cableado estructurado en el laboratorio de cómputo del ITSMT, según los dispositivos y materiales necesarios para su instalación.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los resultados fundamentales y obtenidos posteriormente a esta investigación se encuentran los siguientes:

Dentro la investigación se obtuvo que la tecnología PLC puede ser utilizada como tecnología de acceso y como red de área local, en el caso del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre no es necesario aplicar PLC como tecnología de acceso, ya que el que se encargará de esa función será el proveedor de servicios de internet. La función de PLC será usarla como red de área local en el laboratorio de cómputo, dado que hay más tecnologías de red de área local se decidió compararlas económicamente para analizar cual resulta económicamente más factible.

La tecnología de red de área local con la que se decidió comparar PLC es la ethernet, que es considerada su principal competidor. Como resultados de la comparación de costos se demuestra que utilizar la tecnología PLC en el laboratorio de cómputo del ITSMT es más económico que utilizando la tecnología ethernet. Como se muestra en la [\(Figura 22\)](#) la diferencia de costos entre ambas es significativa.

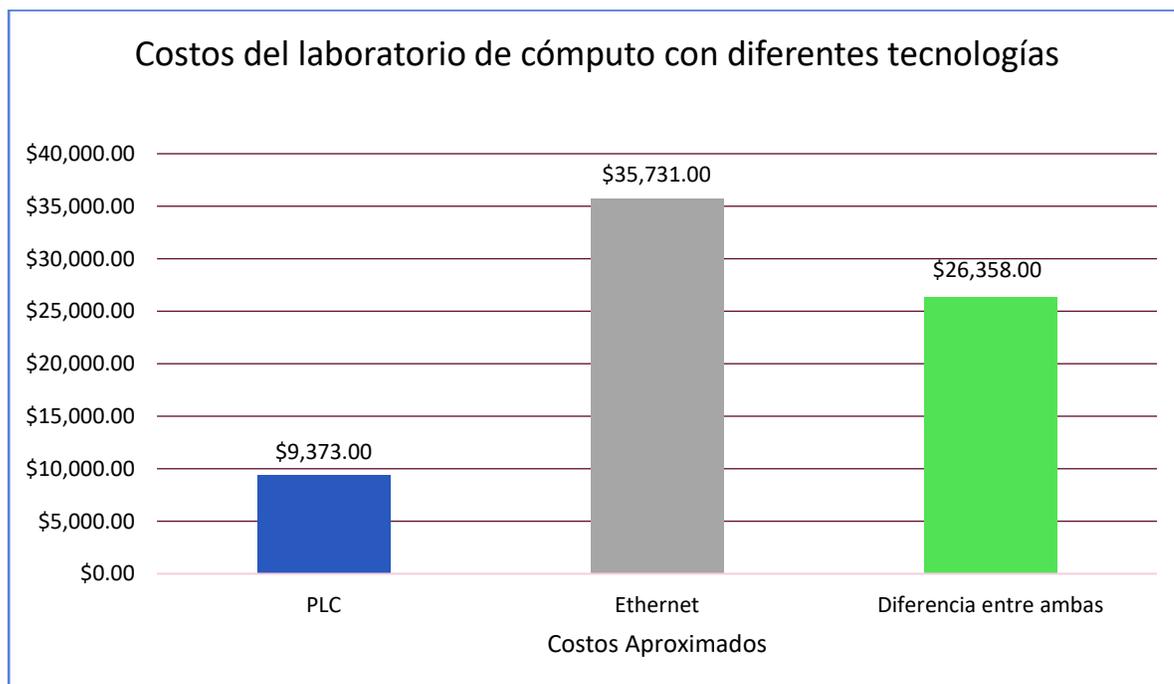


Figura 22. Gráfica de costos
Fuente: Elaboración propia LFMN

Como se mencionó en una parte de la investigación actualmente la tecnología PLC no se encuentra regida bajo estándares estrictos de normalización y, sin embargo, actualmente al ser una tecnología comercial, se ve obligada a cumplir ciertos estándares. En base a esto, el dispositivo que se seleccionó para conformar la red PLC en el laboratorio de cómputo del ITSMT se encuentra bajo el estándar HomePlug AV2 el cual ofrece transferencias ultra rápidas de velocidad Powerline de hasta 500Mbps, además que, este mismo dispositivo trabaja con la modulación OFDM.

En la parte regulatoria, la instalación eléctrica del Instituto Tecnológico Superior de Martínez De La Torre está basada en la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004, apartado 5.2 “Edificios para escuelas y demás centros docentes (Escuelas)”, y actualmente no existe una ley como tal que impida el uso de la tecnología PLC, sin embargo, el artículo 28 de la Ley Federal de Telecomunicaciones indica que: *“Las redes privadas de telecomunicaciones no requerirán de concesión, permiso o registro para operar”*, esto nos favorece ya que la red PLC que se quiere implementar en el laboratorio de cómputo es de tipo indoor, es decir será solo dentro del edificio por lo que estaría considerada como una red privada y no de uso público. Dicho lo anterior no habría ningún impedimento para la implementación de la tecnología PLC en el ITSMT siempre y cuando no se interfieran los sistemas de telecomunicaciones públicos.

9. CONCLUSIÓN

Con el desarrollo de este proyecto se puede dar cuenta que con el paso del tiempo hay nuevos avances tecnológicos en ámbito de las telecomunicaciones como es el caso del PLC que, aunque es una tecnología no muy difundida es muy versátil, ofreciendo velocidades muy superiores. La simplicidad para el usuario final de la tecnología PLC se ve reflejado en la acción de enchufar un pequeño módem al toma corriente y tener acceso a Internet, posibilitando de esta forma que cualquier enchufe de electricidad sea un punto de conexión.

El presente proyecto de investigación se realizó con el objetivo de conocer los aspectos más importantes sobre la tecnología PLC para así poder determinar si es factible económica y legalmente la implantación de tecnología PLC en el laboratorio de cómputo del Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre.

El análisis económico nos permite ver de implementación de la tecnología PLC en el laboratorio de cómputo es más factible económicamente que la ethernet y que necesita de menos equipos y accesorios para su instalación.

Además, se concluyó que debido a que México es un país en desarrollo, se tienen problemas con el impulso de nuevas tecnologías, además de que se cuenta con pocos organismos regulatorios que se encarguen de crear las normas que regulen las diferentes tecnologías. Debido a ello, la mayor parte de las normas se toman de Organismos Internacionales. Actualmente no hay ninguna ley, legislación, normatividad o información oficial con respecto al PLC que impida su utilización por lo que, es legalmente factible su implementación en el ITSMT.

10. RECOMENDACIONES

Mantener en observación el desarrollo de nuevas normas y protocolos relacionados con la tecnología PLC, fundamentalmente aquellas emitidas por organismos e instituciones de alcance internacional como IEEE y CENELEC.

Incluir en los programas de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales contenidos relacionados con la tecnología Powerline Communication.

11.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apaza Mamani, V. A. (2017). Estudio del canal PLC (Power line Communications) para envío de datos a bajo costo en redes eléctricas domiciliarias. <http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/UCSP/15513>

Arteche. (2019). Acoplador capacitivo BPL UNDERCAP. Arteche. <https://www.arteche.com/es/productos/acoplador-capacitivo-bpl-undercap>

Asencios, H. A., Melendez, J. P., & Yucra, H. (2017). Diseño e implementación de una Red de área local con acceso a internet mediante la tecnología Power Line Communication (PLC). Repositorio institucional – UNAC. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/2503>

Avecilla, M. V. (2018). Estudio de factibilidad técnica e implementación demostrativa de la tecnología de comunicaciones por líneas eléctricas para el acceso a internet en el Ecuador. [Tesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/27228>

Chacha, M. L., & Orbea, M. del C. (2015). Artículo Científico—Diseño e implementación de un prototipo de red de datos con tecnología PLC (Power Line Communication), para el laboratorio de comunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas—ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/10110>

Delgado Carey, B. E., & Moran Ordoñez, J. L. (2015). DISEÑAR UNA RED BASADA EN TECNOLOGIA PLC (COMUNICACIÓN POR LINEA ELECTRICA) PARA INSTITUCIONES EDUCATIVAS, HOGARES Y EMPRESAS EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL [Tesis, Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/11969>

Encalada, M. E. P. (2008). ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED LAN PARA VOZ Y DATOS, UTILIZANDO TECNOLOGÍA POWER LINE COMMUNICATIONS (PLC) COMO ALTERNATIVA AL CABLEADO ESTRUCTURADO PARA UN EDIFICIO DE OFICINAS. 141. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1013>

Escalona, C. J. (2018). Uso de Internet llega a 64% de la población. El Economista. <https://www.economista.com.mx/empresas/Uso-de-Internet-llega-a-64-de-la-poblacion-20180221-0023.html>

Gobierno del estado. (2008). PUBLICADO EN LA GACETA OFICIAL DEL ESTADO. 12.

González Mahecha, J. L., Lozada Peñaranda, M., & Valencia Acevedo, R. (2017). Viabilidad socioeconómica y tecnológica para la implementación de una red de internet con tecnología PLC en un municipio sin interconexión a la red eléctrica del país. [Universidad de La Sabana]. <http://hdl.handle.net/10818/31247>

Moscoso, M. R. (2015). Diseño de una red de área local mediante tecnología Power Line Communication Indoor que permita la distribución de internet en un edificio habitacional ubicado en el distrito de Villa el Salvador. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. <http://repositorio.untels.edu.pe/handle/UNTELS/111>

Navarro, Y. (2016). DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACION BROADBAND OVER POWER LINE PARA DAR SERVICIOS TRIPLE PLAY AL SISTEMA AISLADO VALLES CRUCEÑOS – CASO DE ESTUDIO: MAIRANA. Universidad de Aquino. <https://www.slideshare.net/YerkoFlores1/diseo-sistema-telecomunicacion-bpl-sistema-aislado-valles-cruceos>

Ordaz, J. D. (2019). ÓRGANO DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE. 412.

Palacio, D. C. (2014). Determinar la viabilidad para la implementación de la tecnología PLC en redes eléctricas en el sector residencial. <https://pdfs.semanticscholar.org/3f27/a3332a30d706bbf7398cd51238cd6d81870e.pdf>

PREMO, G. (2019). Acoplador inductivo MICU 300A-S/LF. PREMO Innovating in Magnetigs. <https://www.grupopremo.com/593-micu-300a-slf>

Ramos, S., & Fernando, D. (2015). Fundamentación de la pertinencia y factibilidad de la aplicación domótica mediante la tecnología Power Line Communications PLC para redes domésticas en el Ecuador. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/4120>

Salgado, M., & Cortés, M. (2014). Redes de PLC en México. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5504>

SEFIPLAN. (2016). Organigrama del ITSMT.

SNE TecNM | Sistema Nacional de Estadística del Tecnológico Nacional de México. (s. f.-a). Recuperado 5 de agosto de 2020, de <https://sne.tecnm.mx/public/hismatricula2/30>

SNE TecNM | Sistema Nacional de Estadística del Tecnológico Nacional de México. (s. f.-b). Recuperado 5 de agosto de 2020, de <https://sne.tecnm.mx/public/alcién>

Suarez, D. (2015). Fundamentación de la pertinencia y factibilidad de la aplicación domótica mediante la tecnología Power Line Communications PLC para redes domésticas en el Ecuador. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/4120>

TP-Link México – Equipos de Red Wi-Fi para el hogar y empresas. (2020). TP-Link. <https://www.tp-link.com/mx/>

Uribe, M. del C., & Villalobos, U. (2016). Transmisión de datos a través de redes eléctricas tecnología Powerline Communications PLC en México. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/18559>