



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“Diseño de un Sistema de Medición y Monitoreo del
Consumo de Energía por Circuitos en el Hogar,
Mediante Tecnología de Comunicación por Línea de
Potencia”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

EDWIN ALEXANDER PELÁEZ AUCAY

PABLO FELIPE JIMÉNEZ GUAMÁN

Director:

DANIEL ESTEBAN ITURRALDE PIEDRA Ph.D

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Carmita Aucay:

Para ti mamá, porque eres la persona más sensible y dulce de la familia, eres la mujer más importante y el motivo de mi vida.

Me diste la motivación y la fuerza para terminar mi carrera de ingeniería.

Daniel Peláez:

Para ti papá, por estar siempre conmigo, por el aliento incesante para recobrar y seguir este reto fijo.

Mamá Lola:

Para ti abuelita, porque eres mi todo y mi alegría, me siento contento por compartir con Ud. esta etapa de mi vida.

Hermanos:

Para mis hermanos, Darío, Sonia, Danilo, Esthela; no hay mejor emoción que dedicarles y decirles que lo he conseguido.

Sobrinos:

Para mis sobrinos, por ser la alegría de la familia, por sus ocurrencias e inocencia que sacan sonrisas.

Edwin Peláez

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico de todo corazón a mis padres José Jiménez y María Guamán, gracias a mi madre amada por ser mi ángel de la guarda por todo el amor brindado. También quiero dedicarlo a mis hermanos, Fanny, Miriam, Cecilia (+), José E, Xavier, Priscila y Angélica, a mi esposa amada Viviana Durán a mis sobrinos, amigos, por ser el pilar fundamental en mi vida y por brindarme su apoyo y cariño incondicional en mi vida universitaria.

Pablo Jiménez.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios, por las bendiciones brindadas día tras día y darme la fuerza y sabiduría para seguir y superar ante las dificultades que se presentaron en el transcurso de mi carrera, permitiéndome cumplir la meta anhelada.

A mis padres en especial, quienes con sus consejos, cariño y apoyo incondicional; y por su incalculable e incesante esfuerzo que hicieron posible lograr mi objetivo.

A nuestro director de tesis Ph.D Daniel Iturralde por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y su motivación ha logrado guiarnos para que pudiéramos culminar la tesis con éxito.

A mi compañero de tesis y amigo Pablo Jiménez por la entrega y desempeño que demostró en la elaboración del proyecto de tesis.

A mi amigo Santiago Zeas por su ayuda, aporte y colaboración de conocimientos relacionados con el diseño de circuitos impresos PCB.

A todos ustedes muchas gracias.

Edwin Peláez

AGRADECIMIENTO

A mi padre celestial, que gracias a su bendición me ha mantenido de pie siempre.

A mis padres por ser un gran apoyo incondicional durante toda mi vida universitaria.

A mis hermanos por sus consejos y aliento en los momentos más duros de mi vida.

A nuestro director de tesis Ph.D Daniel Iturralde, quien con su don de gente y paciencia supo guiarnos, por enseñarnos humildad y perseverancia, merece todo mi respeto y admiración.

A mi gran amigo y compañero Edwin Peláez por su lealtad, y por todo su esfuerzo brindado en la elaboración del proyecto de tesis.

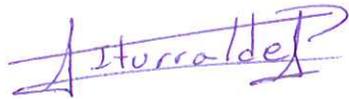
Pablo Jiménez.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y MONITOREO DEL
CONSUMO DE ENERGÍA POR CIRCUITOS EN EL HOGAR, MEDIANTE
TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN POR LÍNEA DE POTENCIA.**

RESUMEN

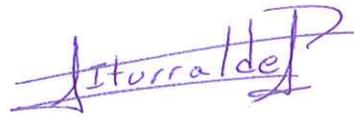
En este trabajo se presenta un enfoque práctico de medición y monitoreo del consumo de energía eléctrica, para un conjunto de circuitos existentes dentro de la caja de distribución residencial. Se plantea la creación de una red local basada en la combinación de protocolos de comunicación PLC (comunicación por línea de potencia) y TCP/IP, en el cual se efectúan aplicaciones tales como la supervisión y adquisición de los parámetros característicos de energía, también permite el almacenamiento automático de información obtenida por el dispositivo de medición, la cual es transmitida y mostrada en tiempo real mediante una interfaz web.

Palabras clave: Comunicación por línea de potencia, medidor inteligente.



.....
Ing. Daniel Iturralde Ph.D
Coordinador de Ingeniería

Electrónica

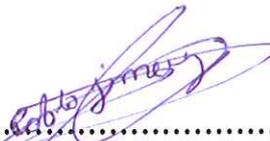


.....
Ing. Daniel Iturralde Ph.D
Director del trabajo de titulación



.....
Edwin Alexander Peláez Aucay

Autor



.....
Pablo Felipe Jiménez Guamán

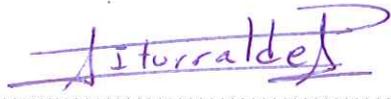
Autor

DESIGN OF A SYSTEM TO MEASURE AND MONITOR THE ENERGY CONSUMPTION THROUGH CIRCUITS AT HOME USING POWER LINE COMMUNICATION TECHNOLOGY.

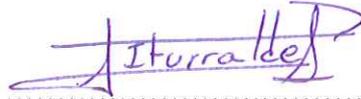
ABSTRACT

This document presented a practical approach to measuring and monitoring the electricity consumption for a set of existing circuits within the residential distribution box. A local network was created based on the combination of PLC communication protocols (power line communication) and TCP/IP, where applications such as monitoring and the acquisition of the characteristic parameters of energy were implemented. The automatic storage of information obtained by the measuring device was also allowed. This information was transmitted and displayed in real time through a web interface.

Keywords: Power line communication, smart meter.



.....
Ing. Daniel Iturralde Ph.D
FACULTY DIRECTOR



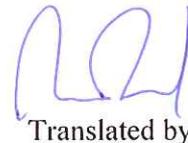
.....
Ing. Daniel Iturralde Ph.D
THESIS DIRECTOR



.....
Edwin Alexander Peláez Aucay
AUTHOR



.....
Pablo Felipe Jiménez Guamán
AUTHOR



Translated by

Ing. Paul Arpi

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Motivación de la investigación.....	2
1.3. Problemática	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Metodología.....	3
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE	5
2.1. Estado del arte	5
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	8
3.1. Tecnología PLC (Power Line Communications)	8
3.1.1. Definición de PLC.....	8
3.1.2. Historia del PLC.....	8
3.1.3. Antecedentes históricos.....	10
3.1.4. Estructura de redes eléctricas	11
3.1.5. Tipos de PLC	12

3.1.5.1. PLOC (Power Line Outdoors Communication) o de acceso	12
3.1.5.2. PLIC (Power Line Indoors Communication) o de interior.....	13
3.1.5.3. Red PLC de media tensión	14
3.1.6. Principio de Funcionamiento	14
3.1.7. Modulaciones PLC.....	15
3.1.8. Clasificación de los sistemas PLC	18
3.1.8.1. Ultra-banda estrecha (UNB PLC)	18
3.1.8.2. Banda estrecha (NB PLC)	18
3.1.8.3. Banda ancha (BB PLC)	18
3.1.9. Regulación PLC	18
3.1.9.1. Regulación NB PLC	19
3.1.9.2. Regulación BB PLC	20
3.1.10. Estándares	21
3.1.10.1. Estándares BPL	21
3.1.10.2. ITU-T G.9960/61.....	22
3.1.10.3. IEEE P1901	23
3.1.10.4. OPERA.....	23
3.1.10.5. POWERNET	24
3.1.10.6. Universal Powerline Association (UPA).....	24
3.1.10.7. CEPCA	24
3.1.10.8. ETSI PLT	24
3.1.10.9. HomePlug Powerline Alliance Standards	25
3.1.11. Estándares NB PLC	25
3.1.11.1. La alianza PRIME	26
3.1.11.2. G3-PLC (Open Standard for Smart Grid Implementation)	26
3.1.12. Protocolo de Comunicación.....	26
3.1.13. Ventajas y desventajas	29
3.1.13.1. Ventajas de una conexión PLC.....	29
3.1.13.2. Desventajas de una conexión PLC	29
3.1.14. Seguridad de PLC	30
3.2. Concepto de sensores	30
3.2.1. Sensores de corriente y voltaje.....	31
3.2.1.1. Sensores de tensión	31
3.2.1.2. Sensores de corriente.....	32

3.3.	Caracterización del consumo energético domiciliario.	36
3.3.1.	Eficiencia energética	36
3.3.2.	Ahorro energético.....	37
3.3.2.1.	Ahorro energético en electrodomésticos	37
3.3.2.2.	Ahorro energético en iluminación y lámparas.....	39
3.3.3.	Consumo eléctrico en Ecuador	42
3.3.3.1.	Demanda nacional	42

CAPÍTULO IV: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

PROPUESTO 44

4.1.	Introducción.....	44
4.2.	Diseño de hardware	45
4.2.1.	Arduino Mega 2560	45
4.2.2.	Sensores de corriente y voltaje.....	47
4.2.2.1.	Circuito de acondicionamiento para la señal del sensor.....	48
4.2.3.	Módulo sensor de tensión	49
4.2.4.	Medición del factor de potencia.....	50
4.2.5.	Cálculo de potencia activa	51
4.2.6.	Módulo Ethernet shield para Arduino.....	51
4.2.7.	Raspberry Pi 2	52
4.2.8.	Dispositivos PLC	54
4.2.9.	Pantalla HMI	55
4.2.10.	Shield de acondicionamiento y adquisición de señales.....	56
4.3.	Diseño de Software	57
4.3.1.	Programa de Arduino	57
4.3.2.	Base de Datos.....	59
4.3.3.	Servidor web LAMP	61
4.3.4.	Visualización de información en la pantalla HMI	62

CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS..... 64

5.1.	Introducción.....	64
5.2.	Funcionamiento de dispositivo final	64
5.3.	Contrastación del equipo de medición	65
5.4.	Pruebas de transmisión.....	67

5.5. Interfaz de monitoreo	68
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
REFERENCIAS	74
ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS

Figura 3.1: Estructura de la red eléctrica.	12
Figura 3.2: Estructura de una red PLC de acceso	12
Figura 3.3: Estructura de una red PLC doméstica.....	13
Figura 3.4: Estructura de una red PLC de media tensión.....	14
Figura 3.5: Esquema de bloques para una comunicación de PLC	15
Figura 3.6: Esquema de modulación ASK.....	16
Figura 3.7: Esquema de modulación FSK.	16
Figura 3.8: Esquema de modulación PSK.	17
Figura 3.9: Modulación MSK.	17
Figura 3.10: Esquemas de modulación GMSK.....	17
Figura 3.11: Encapsulado de información.	28
Figura 3.12: Comunicación de igual a igual.	28
Figura 3.13: Esquema del modelo OSI.	28
Figura 3.14: Diagrama de bloque de un sistema de medición.	31
Figura 3.15: Transformador.	31
Figura 3.16: Divisor de tensión.....	32
Figura 3.17: Transformador de corriente.	32
Figura 3.18: Resistencia Shunt.....	33
Figura 3.19: Bobina de Rogowski.....	33
Figura 3.20: Descripción del efecto Hall.	34
Figura 3.21: Esquema típico de los sensores Hall convencionales.....	35
Figura 3.22: Curvas típicas de los sensores Hall analógico convencional.....	35
Figura 3.23: Curvas típicas del sensor Hall analógico.....	36

Figura 3.24: Capsulas de sensores Hall.....	36
Figura 3.25: Eficiencia Energética.	37
Figura 3.26: Etiqueta de Eficiencia Energética.....	38
Figura 3.27: Lámpara Incandescente.	40
Figura 3.28: Lámpara FLUORECENTE.....	41
Figura 3.29: Partes de una lámpara led.	42
Figura 3.30: Evolución del consumo de energía eléctrica del sistema nacional.	42
Figura 3.31: Evolución histórica y proyección de la facturación por grupo de consumo.	43
Figura 4.1: Interconexión de la red PLC con los dispositivos.	45
Figura 4.2: Arduino Mega 2560.....	47
Figura 4.3: Estructura interna del sensor de la familia SCT-013.....	47
Figura 4.4: Sensor SCT013-030.....	48
Figura 4.5: Rectificador de onda con amplificador operacional en modo seguidor de tensión.	49
Figura 4.6: Sensor de voltaje AC.	49
Figura 4.7: Triángulo de potencias.	50
Figura 4.8: Ángulo de desfase entre las ondas de corriente y voltaje.....	50
Figura 4.9: Circuito para determinar el tiempo de desfase entre la onda de corriente y voltaje.....	51
Figura 4.10: Shield Ethernet w5100.....	52
Figura 4.11: Raspberry Pi 2	53
Figura 4.12: PLC AV500.	54
Figura 4.13: Pantalla Táctil Nextion-3.2”	55
Figura 4.14: Vista previa del diseño PCB.....	56
Figura 4.15: Tarjeta de expansión para Arduino.....	57
Figura 4.16: Diagrama de flujo de la programación en Arduino.	59
Figura 4.17: Logo de My SQL Community Server.	60
Figura 4.18: Conexión con la base de datos.....	60
Figura 4.19: Base de datos con sus respectivas tablas.	60
Figura 4.20: Flujograma para la conexión y envío de información.	61
Figura 4.21: Entorno de programación de Nextion Editor.....	62
Figura 4.22: Interfaz de presentación.....	63
Figura 4.23: Interfaz de monitoreo.....	63

Figura 5.1: Corriente obtenida por los sensores y por el multímetro.....	64
Figura 5.2: Calibración del sensor de voltaje.....	65
Figura 5.3: Instalación del equipo para la contrastación de medición en el laboratorio de medidores de la empresa CENTROSUR.....	65
Figura 5.4: Parámetros eléctricos programados en el medidor WECO 2350 de la empresa.	67
Figura 5.5: Parámetros eléctricos obtenidos por el equipo de medición.....	67
Figura 5.6: Distancia entre los módulos PLC transmisor y receptor.	68
Figura 5.7: Visualización de datos en la pantalla HMI.....	68
Figura 5.8: Página web principal.	69
Figura 5.9: Monitoreo de consumo eléctrico.	69
Figura 5.10: Interfaz de inicio de sesión.	70
Figura 5.11: Interfaz de consulta de base de datos.....	70
Figura 5.12: Reporte del consumo eléctrico.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Normas y reglamentos respecto NB PLC (<500 kHz) y BB PLC en diferentes regiones del mundo.	21
Tabla 3.2: Función de cada capa del modelo OSI.....	27
Tabla 3.3: Reglamentos y normas de eficiencia energética.	39
Tabla 3.4: Tipo de lámpara y su vida promedio en horas.	40
Tabla 5.1: Error de medición de corriente para diferentes muestras.....	66
Tabla 5.2: Error de medición de voltaje para diferentes muestras.	66

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Circuito de adquisición y acondicionamiento de la señal.	77
ANEXO 2: Dispositivo final instalado en la caja de breakers.	78
ANEXO 3: Equipos del sistema de medición y monitoreo.....	78
ANEXO 4: Interfaz de presentación de cada dispositivo del sistema de medición. ..	79
ANEXO 5: Interfaz de visualización de datos simultáneos en los equipos del sistema.	79

Edwin Alexander Peláez Aucay

Pablo Felipe Jiménez Guamán

Trabajo de Graduación

Daniel Esteban Iturralde Piedra Ph. D

Mayo, 2018

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y MONITOREO DEL
CONSUMO DE ENERGÍA POR CIRCUITOS EN EL HOGAR, MEDIANTE
TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN POR LÍNEA DE POTENCIA.**

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El siguiente proyecto de grado tiene como objetivo principal la creación de una red doméstica con tecnología PLC (Comunicación por Línea de Potencia). Se pretende medir los parámetros característicos de energía tales como voltaje, corriente, potencia activa y por ende calcular el consumo energético, todo esto para un conjunto de circuitos eléctricos de corriente alterna. El prototipo será colocado en la caja de distribución también conocido como caja de breakers, es decir, se plantea transmitir información desde el interior del hogar, hacia el contador eléctrico de la empresa eléctrica, ubicado por lo general en las fachadas exteriores de una vivienda. Esta información será transmitida a través de la red eléctrica mediante el uso de dispositivos PLCs que serán acoplados a dicho sistema.

Actualmente en el sector residencial de la ciudad de Cuenca se presenta un consumo elevado de energía eléctrica, lo antes mencionado se debe al desperdicio de energía eléctrica por falta de conocimiento en cuanto a eficiencia energética. Es por ello que se busca determinar los consumos por circuitos eléctricos de una vivienda en tiempo real, para detectar circuitos de mayor consumo y analizar sus posibles causas.

1.2. Motivación de la investigación

La implementación de dispositivos en una red local, depende del tipo de tecnología de comunicación, de la garantía en la transmisión de datos y del cumplimiento de los requisitos necesarios, por la aplicación de red para su óptimo funcionamiento y fiabilidad. En la actualidad existe diferentes equipos informáticos interconectados mediante redes domésticas (HAN) que se expanden dentro del hogar, conectadas mediante cable de red o WI-FI. Existe una alternativa muy tentativa conocida como PLC por sus siglas en inglés (Power Line Communication), es una de las tecnologías de transmisión de datos más apropiadas y utilizadas comúnmente en las redes inteligentes, la ventaja es proporcionar conectividad con redes locales a través de la instalación eléctrica ya existente en el hogar. PLC utiliza el cableado eléctrico para transmitir datos, permitiendo armar una red local PLC sin tener que desplegar cables extras. Esta tecnología alcanza velocidades de transmisión muy elevadas que están sobre los 200Mbps, como también dispone una cobertura de varios centenares de metros, además que por su seguridad se utiliza en la mayoría de adaptadores un sistema de cifrado que protege y evita posibles ataques en la red.

1.3. Problemática

En el Ecuador aproximadamente en el ámbito urbano, el 93.2% de viviendas cuentan con el servicio eléctrico, cada vez son más los proyectos que se implementan para brindar mayor comodidad en el monitoreo y toma de datos del consumo residencial. Actualmente en el sector residencial de Cuenca no existe un sistema de monitoreo individual para cada circuito eléctrico en el hogar, el mismo que ayude a identificar los principales circuitos eléctricos causales de mayor consumo de energía eléctrica. Además, las personas no toman en cuenta el ahorro energético por eso es de suma importancia analizar este consumo y concientizar sobre el uso excesivo de los equipos que se encuentren conectados a los diferentes circuitos eléctricos. (INEC, 2011).

Uno de los grandes problemas en nuestro país es la demanda eléctrica, una solución planteada por el Gobierno Nacional es la creación de nuevas centrales Hidroeléctricas, gracias a la inversión mencionada el Ecuador dispondrá de energía eléctrica producida por las centrales hidroeléctricas, de ahí nace un gran proyecto Nacional denominado Cocción Eficiente, el principal objetivo del proyecto es migrar el uso doméstico de GLP (Gas Licuado del Petróleo) al uso de la electricidad para la cocción de alimentos dentro del hogar, también se pretende sustituir los calefones que funcionan por lo

general a GLP por diferentes sistemas o equipos eléctricos eficientes en el calentamiento de agua. De ahí nace la importancia de la empresa proveedora de electricidad el saber el consumo exacto de cada circuito eléctrico distribuido dentro del hogar y tener una idea del consumo y potencia real de ciertos electrodomésticos o equipos que se encuentran en la residencia.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de medición y monitoreo por uso de la energía eléctrica de cada circuito eléctrico en el hogar, mediante una comunicación PLC.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar sobre el protocolo de comunicación PLC, y los equipos existentes en el mercado para elegir el más conveniente a nuestro proyecto.
- Analizar los diferentes componentes de medición, de corriente y voltaje existentes en el mercado.
- Diseñar y construir el circuito de medición para el consumo eléctrico detallado dentro del hogar.
- Implementar la red con la tecnología PLC al circuito de medición, y transmitir la información del consumo eléctrico por circuitos hacia el medidor mediante un protocolo de comunicación.
- Desarrollar una base de datos para visualizar el consumo por circuitos eléctricos en el hogar.
- Evaluar el funcionamiento de todo el sistema.

1.5. Metodología

Para la recopilación de información sobre el protocolo de comunicación PLC se utilizará el método de investigación bibliográfica, con esto se obtendrá una visión más extensa sobre los proyectos ya realizados, y la consideración a tener para realizar nuestro proyecto. Esto con el fin de llegar a entender completamente todas las características y funcionamiento que posee el protocolo PLC.

La construcción y simulación se realizarán mediante metodología experimental ya que se necesita diseñar y comprobar el circuito de medición propuesto, para lograr una sincronía y la autenticidad de los datos con el medidor de energía Eléctrica.

La implementación de la comunicación mediante la tecnología PLC se ejecutará configurando los dispositivos PLC en modo Receptor-Transmisor para lograr comunicación con el equipo servidor.

Para la recolección de información se hará uso de una base de datos, que permitirá manejar y gestionar de forma dinámica, así mismo esta información estará disponible para el usuario de forma que puede revisar el consumo eléctrico por circuitos en tiempo real.

Para evaluar el sistema implementado se realizarán diferentes pruebas en las instalaciones de una vivienda, de tal manera que se pueda comprobar el correcto funcionamiento y comunicación del sistema. Con estas pruebas garantizar la eficiencia y funcionalidad del equipo para mayor facilidad y comodidad del usuario en el uso del equipo, y con ello lograr determinar los resultados para los objetivos planteados.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1. Estado del arte

En (Möller, Dietmar P.F. ; Vakilzadian, Hamid, 2014), se describen algunas aplicaciones con la tecnología PLC. El autor sugiere que estos equipos PLCs pueden ser utilizados para construir redes en entornos domésticos, expandiendo la conectividad a objetos electrónicos con el fin de acceder a internet, permitiendo monitorear y transferir datos de forma simultánea. Además, menciona el uso de dispositivos inteligentes con la IoT (Internet de las cosas por sus siglas en inglés) y el PLC. Comenta también la importancia y lo beneficioso del uso de esta tecnología en redes domésticas, ya que proporciona diversos servicios de comunicación para la automatización del hogar, tanto que estos dispositivos inteligentes puede recoger datos de sensores y actuadores a través de la red, como también recomienda implementar un sistema de gestión de energía en el hogar.

En (Alessandro, et al., 2014) propone un sistema de HEMS (Home Energy Management System) que permite monitorear y gestionar el consumo eléctrico de los aparatos electrónicos en el hogar, permitiendo que los usuarios conozcan sus consumos e impulsar la concientización en la utilización de la energía, asimismo en este diseño se plantea el desarrollo de la red de comunicación mediante la integración de dos tecnologías PLC e inalámbrica para facilitar la gestión de la energía en el hogar.

En (Xun Lai, et al., 2012) se presenta un diseño de una plataforma de gestión de energía en el hogar, mediante un protocolo de transmisión PLC combinado con el reconocimiento de la línea blanca como los electrodomésticos, el cual consiste de un medidor inteligente que lee la información y características de energía de cada electrodoméstico, permitiendo al usuario tener el control de servicio de la red del hogar. Es decir, el medidor inteligente capta los parámetros característicos de energía de cada artefacto y transfiere la información a través de la interfaz PLC al módulo de control, el cual permite la interconexión y automatización de los aparatos.

En (Garrab, et al., 2012) se presenta una solución AMR (Automatic Meter Reading), se basa en un medidor inteligente de energía con un estándar de comunicación PLC. El medidor presenta información de potencia, consumo, alertas de fallo, tarifas, etc. Que facilita la gestión de energía en el hogar, el usuario puede ver el consumo en una

pantalla instalada en la casa, para la facturación el dispositivo representa la información de consumo en dólares con el fin de que el usuario se percate del consumo de energía.

En (Ray, et al., April 2011) habla sobre Power line Communication (PLC) como una solución competitiva para la conectividad en la transmisión de información, que usa la tecnología BPL (Broadband Over Power Lines), se está convirtiendo en una alternativa viable, en donde cabe recalcar su gran ventaja es la poca inversión en infraestructura. En los años 90 Power line Communication (PLC), no demostró ser una posibilidad para la transmisión de señal o información por líneas de baja tensión pero es muy importante recalcar que en los últimos años la calidad de la tecnología ha mejorado, y sus equipos y soluciones se han vuelto más robustos y seguros.

En (Baba, 2012) se trata de resolver el frecuente problema de corte y apagones en épocas de escases de energía eléctrica como por lo general se da en el verano. La idea del autor se basa en el desarrollo de una red inteligente que utiliza el internet como medio de comunicación, una tarjeta de control que monitorea y recolecta la información del consumo energético del usuario, también habla sobre el control de cargas. Su investigación habla de convertir medidores de energía eléctrica análogos en inteligentes, con capacidad de gestionar la demanda para cada usuario que requiere el servicio eléctrico.

En (E. F. Livgard , 2012) se realiza un estudio para la ampliación de sistemas AMR (Automatic Meter Reading) en Noruega, se basan en la experiencia de los clientes en cuanto al uso de la aplicación AMR. Para las empresas proveedoras de energía en Noruega, la implementación de la nueva tecnología necesita un análisis de la opinión de los consumidores. Las encuestas arrojan resultados positivos para la transición de la nueva tecnología AMR, ya que ofrece nuevos servicios que se ponen a disposición del usuario tales como: monitoreo continuo del consumo de energía, facturación más simple, proporciona a la empresa distribuidora la facilidad gestionar y controlar la demanda de sus clientes, brindando beneficio y confianza tanto al cliente como a la empresa de energía.

En (Rafiei & Eftekhari, 2013), se presenta un enfoque práctico para la utilización de medidores inteligentes AMR y AMI , la red se establece mediante la combinación de dos protocolos de comunicación tanto PLC y WI-FI permitiendo una comunicación

bidireccional, la tecnología PLC se implementa en las líneas de baja y alta tensión llevando los datos desde el medidor hasta un nodo concentrador de información que se localiza en una subestación de distribución y los transceptores de WI-FI son encargados de pasar la información entre los nodos colocados a cada lado de la subestación.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Tecnología PLC (Power Line Communications)

3.1.1. Definición de PLC

PLC por sus siglas del inglés (Power Line Communications), que se puede traducir por comunicaciones a través de líneas de potencia, esta tecnología se refiere a diferentes protocolos que utilizan la red eléctrica convencional como soporte para proporcionar servicio de comunicación, tiene el potencial de manejar tráfico de información tanto en banda ancha o estrecha de cualquier servicio de telecomunicaciones, como por ejemplo: telefonía IP, videoconferencias, Internet alta velocidad, televisión interactiva, audio y video, domótica, lectura remota del medidor eléctrico, la creación de redes privadas etc. (Mojada & Eftekhari, 2012).

La tecnología PLC en otros países se le conoce bajo la agrupación de diferentes palabras clave: en Europa como PLT (Power Line Transmisión) término que precisa la capacidad tecnológica con respecto a los servicios de telecomunicaciones, y en los Estados Unidos se denomina DPL/BPL (Digital Power Line/Broadband over Powerline) que envuelve el avance tecnológico para atender los servicios de banda ancha (Serna, 2011).

3.1.2. Historia del PLC

PLC ha sido una tecnología usada desde hace tiempo por las compañías eléctricas, ya que en el siglo XX se inventó un método de transmitir datos a través de las redes eléctricas existentes. Alrededor del año 1922 el primer sistema de frecuencia portadora (CFS) empezó a operar en las líneas de alta tensión con el objetivo principal de mantener la operatividad de las redes de suministro de potencia, con un alcance de transmisión que superaba los 500Km, más tarde en 1930 los sistemas CFS empezaron a operar en líneas de media y baja tensión en rangos de frecuencia de 125Hz a 3KHz, mediante la señalización de ondas portadoras (RCS) y aplicando la técnica modulación de amplitud por desplazamiento (ASK), obteniendo velocidades en el orden de pocos bits por segundo, las principales tareas eran la gestión de carga y la reconfiguración automática de las redes de distribución de energía. Al presentarse esta tecnología de baja velocidad de transmisión, poca funcionalidad y un elevado costo no se consideraba como medio de comunicación viable para ese entonces (Dostert, 1997) (Khalil, 2015).

Posteriormente en 1950, PLC empezó con su antecesor denominado OPLAT (Onda Portadora por Línea de Alta Tensión), la cual manejó la primera técnica llamada Ripple, utilizada para transmitir la señal de control a través de la red eléctrica con una frecuencia en el orden de (100 - 900 Hz), la transmisión requería de altos niveles de potencia de aproximadamente 10 kW, el canal de comunicaciones era de un solo sentido, usado para aplicaciones de control de baja tasa de bits; el sistema fue aplicado para el control de líneas eléctricas, como por ejemplo la automatización del alumbrado público, mandos a distancia de señales de tráfico, para control remoto de relés, para sistemas de transmisión de voz etc. En 1960 aparece la primera etapa de PLC, denominada PLC de banda angosta (Tiru, 2010).

Seguidamente, a mediados de 1980 se iniciaron investigaciones, apoyando la transmisión de datos con frecuencias más elevadas sobre la línea eléctrica y analizar el comportamiento de la red eléctrica, tal experimento se llevó a cabo con bandas entre 5-500 KHz siempre en una sola dirección, teniendo como inconveniente que existía un alto nivel de ruido y alta atenuación de la señal, pero a finales de los años 80 se consiguió transmisión bidireccional (Serna, 2011).

En los años 90's se consiguen avances en los campos de modulación, detección, codificación, permitiendo velocidades de transmisión de información en el orden de megabits, en consecuencia aparece la segunda etapa del PLC denominada PLC de banda ancha, aparecen equipos de acceso de primera generación y lo que posibilitó tener aplicaciones de telecomunicaciones, como acceso a internet a través de la red eléctrica, dando una alternativa a la tecnología ADSL de cable, modem o el acceso inalámbrico. En el 2003 inicia la tercera etapa del PLC, desarrollo del Home Networking (red doméstica o red para el hogar) e inicia la segunda generación de equipos de alta velocidad (Latchman & Yonge, 2003). En el 2005, la Alianza entre Homeplug y PowerLine lanza el Homeplug AV para fines de audio-video con velocidades de datos aproximadamente de 200 Mbit/s, en 2010, HomePlug Powerline Alliance se convierte en un organismo de certificación de productos IEEE 1901.

Las nuevas versiones de HomePlug permitirán usar Ethernet en topología de bus con OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) de modulación con las normativas necesarias permitiendo la coexistencia de diferentes soportes de datos en un mismo cable.

En la actualidad existen numerosas compañías eléctricas dedicadas a la investigación y experimentación de sucesivas mejoras para el desarrollo de la tecnología PLC, mediante los estándares que se han implementado como son: IEEE 1901 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010), HomePlug AV2 (HomePlug: Powerline Alliance, 2012) e ITU G.hn/G.9960 (International Telecommunication Union, 2010). (Serna, 2011) (Khalil, 2015).

3.1.3. Antecedentes históricos

PLC, surgió en el siglo XX gracias a la idealización de las compañías para poder transmitir datos a través la línea eléctrica, para las compañías eléctricas le fue bastante atrayente desarrollar comunicación a través de la red eléctrica ya que poseían un amplia expansión y cobertura de sus redes eléctricas en los cuales podrían ofertar el servicio de telecomunicaciones. En 1990 las compañías eléctricas fundaron Power Line Communication, estuvo precedida por la compañía Israelí Nisko junto a otras compañías alemanas tales como Rwe y Polytrax, Hibachi de Japón, experimentaron serie de sistemas de bajas velocidades de transmisión de datos denominados PLC de segunda generación, en el transcurso de varios años la tecnología fue evolucionando tras varios intentos por mejorar lograron desarrollar sistemas basados en multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) con velocidades de datos mucho más altas, dominados por PLC de tercera generación y que hoy en día aún se sigue perfeccionando PLC y desarrollando para redes inteligentes (Deshpande & Raviprakash, 2015).

Para adoptar la tecnología PLC a las redes y equipos periféricos se necesitaba compartir información a través de una interfaz de comunicación dentro de una red residencial u oficinas, en los 80 usando los cableados eléctricos existentes como medio de transporte de información, los dispositivos disponían de un conector serial para la conexión con la computadora y un enchufe que se conectaba al tomacorriente, los datos digitales que envía la computadora por el puerto serial es modulado (digital a radio frecuencia) y transmitido sobre la línea de energía eléctrica a otro dispositivo en la misma red eléctrica. Naciendo UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) consiguiendo tasas de transferencias de 115000 bps.

Por la implantación de adaptadores BPL y el desarrollo de puerto USB. Por la evolución de la tecnología se formó HomePlug Powerline Alliance. El objetivo de esta

asociación fue crear un estándar que utilice las líneas eléctricas domésticas para comunicación entre productos y acceso a internet, esto habilitó que se ligara la interfaz Ethernet al sistema PLC, sin embargo se crean normas para la interoperabilidad de productos de distintos fabricantes y que puedan coexistir en una misma red, para ello aparecieron nuevas versiones equipadas con Ethernet (RJ45), con conexión análoga para teléfono (RJ11) o una interfaz USB de CPE (Customer Premises Equipment) del inglés que se traduce Equipos Locales del Cliente, y adaptadores híbridos que fusionan la tecnología WI-FI con el PLC conocida como HyFi ofreciendo mayor versatilidad y variedad y así acceder a su ISP (proveedor de servicios de Internet) (García Palancar, 2005).

3.1.4. Estructura de redes eléctricas

En primera instancia, el sistema PLC está basado en la utilización de las líneas eléctricas para la transmisión de información, por tanto conviene mencionar la clasificación de las redes de distribución eléctrica, las cuales son: redes de alta, media y baja tensión.

- Redes de Alta Tensión: cubre el tramo desde el primer transformador elevador hasta la primera subestación de transporte, forman una red de transporte de energía eléctrica de larga distancia soportan tensiones entre $40kV < NT \leq 138kV$.
- Redes de media tensión: es el tramo que se extiende entre la subestación de transporte y la subestación de distribución, para esta red, la tensión es transformada a valores menores que están en el rango de $0,6kV \leq NT \leq 40kV$.
- Redes de baja tensión: comprende el tramo que se despliega desde los centros de distribución hasta cada abonado, en esta sección se produce una reducción de tensión menores a 600V que se manejan habitualmente en las zonas urbanas, residenciales e industriales.

Los diferentes niveles de tensión están interconectados entre sí mediante transformadores que limitan los extremos de cada red eléctrica. Las compañías generalmente distribuyen la corriente alterna en sistemas trifásicos a (50-60Hz), las aplicación de la tecnología PLC sobre la red de alta tensión comprenden sistemas analógicos (tele-protección) y sistemas digitales (transmisión de voz y datos). Para las comunicaciones de alta velocidad PLC utiliza generalmente las líneas de distribución

de potencia de media tensión y baja tensión, para la ilustración veamos la siguiente Figura 3.1. (Martínez Ramos, 2009) (Peralta S, 2010) (Arconel, 2018).



Figura 3.1: Estructura de la red eléctrica.

Fuente: (Peralta S, 2010).

3.1.5. Tipos de PLC

Existen varios tipos de sistemas PLC dependiendo del tramo de despliegue de la red eléctrica se tiene:

3.1.5.1. PLOC (Power Line Outdoors Communication) o de acceso

Utilizan un tramo de la red de línea eléctrica de baja tensión, que va desde la subestación hasta la red doméstica, usando las líneas de distribución eléctricas aéreas o subterráneas, este sistema propone una solución de conectividad de “última milla” que beneficie tanto a proveedores de servicio de comunicaciones (ISP) como también a los usuarios finales, por esta razón puede ser considerada como una alternativa a la tecnología xDLS (x Digital Subscriber Line).

La red de acceso es un sistema full duplex punto a multipunto y los equipos diseñados para esta red adoptan el principio de comunicación de maestro/esclavo (García Palancar, 2005) (Tiru, 2010). En la figura 3.2 se muestra la estructura y los diferentes elementos que forman la red PLC de acceso.

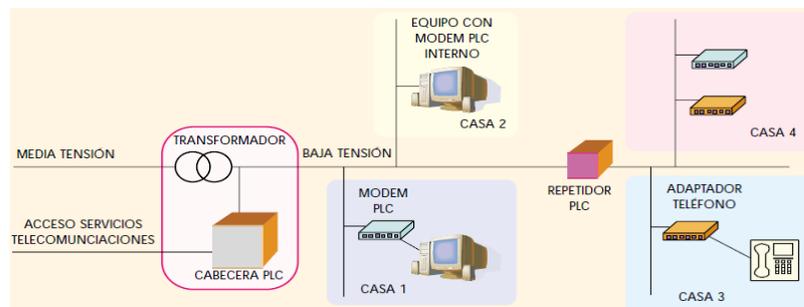


Figura 3.2: Estructura de una red PLC de acceso

Fuente: (García Palancar, 2005).

Para establecer comunicación a través de la red PLC de acceso se requiere de los siguientes elementos:

- **Equipo de cabecera:** Se ubica junto al transformador en el lado de baja tensión, es el encargado de inyectar la señal de información a la red eléctrica, por otra parte, su función es similar a un router que básicamente se centra en administrar y asignar canales de comunicación a los diversos usuarios conectados a la red (hasta 256), también actúa como maestro en el sistema PLC (García Palancar, 2005).
- **Modem PLC:** Esta unidad se ubica en interior de la casa, toma la señal directamente de los toma corrientes, los equipos son compatibles con múltiples periféricos y disponen de diferentes puertos como (USB y Ethernet), Funciona en modo esclavo en el sistema PLC (García Palancar, 2005).
- **Repetidor PLC:** Son equipos que regeneran la señal para extender la cobertura de servicio, se utiliza cuando la distancia es muy grande entre el equipo de cabecera y el modem o cuando la señal es demasiado débil. La máxima distancia de enlace sin repetidor es de unos 350 metros (García Palancar, 2005).

3.1.5.2. PLIC (Power Line Indoors Communication) o de interior

Utilizan el cableado interior de la casa, que se despliega entre el medidor de energía y los enchufes, con esta tecnología, cada tomacorriente puede ser un punto de acceso a datos de telecomunicaciones, de manera que puede usarse como una red LAN de tal forma que permite una fácil integración entre los dispositivos dentro del hogar tales como computadoras, teléfonos, impresoras, juegos de consola, etc. (García Palancar, 2005) (Tiru, 2010). Cabe mencionar que este tipo de tecnología es utilizada para aplicaciones que proporcionan servicios de domótica (Tiru, 2010). En la figura 3.3 se muestra la estructura típica red PLC doméstica.

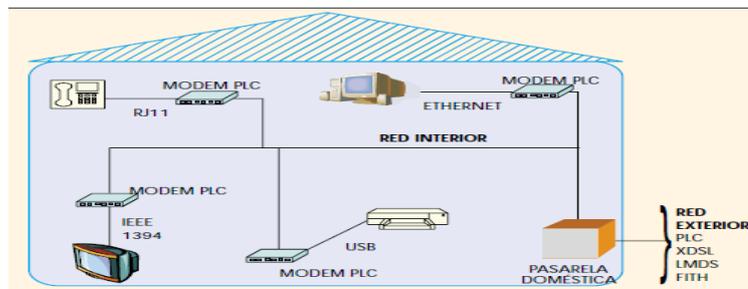


Figura 3.3: Estructura de una red PLC doméstica

Fuente: (García Palancar, 2005).

La red PLC doméstica consta de los siguientes elementos:

- Pasarela Doméstica: Dispositivo que sirve como interface para conectar la red exterior ya sea de diferentes protocolos (PLC, xDSL, LMDS, fibra, etc.) con la red interior (PLC) (García Palancar, 2005).
- Modem PLC: Dispositivos que sirve como interface para la comunicación entre los equipos domésticos (PC, impresora, teléfono, TV, etc.) y la red eléctrica interior, posee puertos como (USB y Ethernet) para conexiones de los diferentes equipos existentes (García Palancar, 2005).

3.1.5.3. Red PLC de media tensión

Se utiliza para el transporte y distribución de la señal de datos y es una alternativa a los sistemas de fibra óptica. La red está formada entre los transformadores de alta/media tensión y el transformador de media/baja tensión (García Palancar, 2005).

En la figura 4 se muestra la estructura sistemática de la red PLC de media tensión.

Constan de los siguientes elementos:

- Unidad de Transmisión.
- Unidad Acopladora.

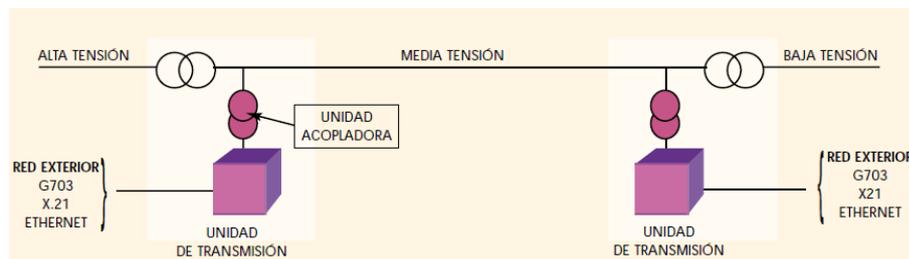


Figura 3.4: Estructura de una red PLC de media tensión.

Fuente: (García Palancar, 2005).

Estos dispositivos permiten la interconexión entre los servicios de telecomunicaciones externos y la unidad acopladora (García Palancar, 2005).

Componente que permite unir la unidad de transmisión con línea eléctrica de media tensión, con el objetivo de garantizar una sencilla y segura instalación a la red eléctrica (García Palancar, 2005).

3.1.6. Principio de Funcionamiento

La tecnología PLC usa las redes eléctricas para convertirlas como medio de transmisión de datos, mediante la superposición de una señal de información de baja energía a la onda de servicio eléctrico. Para evitar que la onda de potencia interfiera

con la señal de datos y garantizar la coexistencia y la separación de las señales, utilizan frecuencias de trabajo muy separadas entre sí, con (50-60) Hz para la onda de servicio eléctrico y para la comunicación PLC se tiene una gama de frecuencias usadas en los sistemas de banda estrecha y banda ancha, que operan en el orden de los (3-500) KHz y sobre los 1.6 MHz, respectivamente (Serna, 2011).

Una interfaz de línea de red eléctrica (PLI – Power Line Interface) transmite la señal modulada con características predefinidas (frecuencia, amplitud, fase) que dependen del sistema y el estándar utilizado, dicha señal va a través de la red eléctrica y se puede recibir y decodificar de forma remota por cualquier receptor que se encuentre dentro de la red. Se filtra la señal de manera que elimina los componentes de baja frecuencia, mediante un acoplador que sirve de interface entre el servicio eléctrico y el receptor. Un modem de red de potencia (PLM) convierte las señales analógicas de información a datos digitales y viceversa, haciendo el proceso de modulación/demodulación.

En este tipo de comunicación son inevitables las pérdidas y la presencia de ruido (Serna, 2011). En la figura 3.5 se ilustran los distintos procesos que se requieren para una comunicación fiable a través de la línea eléctrica.

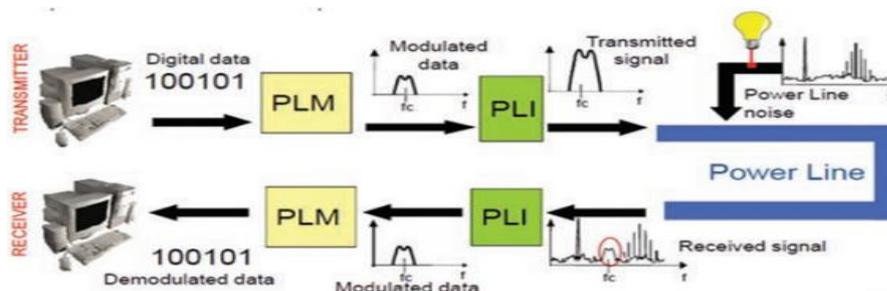


Figura 3.5: Esquema de Bloques para una comunicación de PLC

Fuente: (Serna, 2011).

3.1.7. Modulaciones PLC

Las redes eléctricas no fueron diseñadas o pensadas como medio de transmisión de datos, es por ello que ocasionan diferentes problemas entre los más notables se tiene:

- Atenuación que se incrementa con la distancia y con la frecuencia.
- Impedancia que varía con el tiempo en un rango muy grande, según estén o no conectados ciertos aparatos eléctricos.
- Multicamino y condiciones desfavorables debido al ruido.

También es importante conocer otras posibles causas de la alteración de los parámetros de transmisión, provocados quizá al cambio de configuración como también por cambios instantáneos de la carga, y por supuesto por la impredecible presencia de ruido (Serna, 2011).

Por esta razón, El mecanismo de solución que utiliza la tecnología PLC para estos problemas, es el uso de técnicas de modulación.

Algunos de los métodos de modulación más utilizados en sistemas de banda estrecha son ASK, FSK, PSK, GMSK, etc., mientras que para el sistema de banda ancha se centra en la utilización de los últimos modelos como: (OFDM) (Serna, 2011), y usan técnicas de espectro expandido como DM, DSSS, CDMA etc. (Serna, 2011).

- **ASK (Amplitude Shift Keying):** es una técnica de modulación en la cual se representan la señal de información binaria como variaciones de la amplitud de una señal portadora analógica, es decir la amplitud de la señal portadora cambia para representar el 1 y el 0 binario (Serna, 2011).

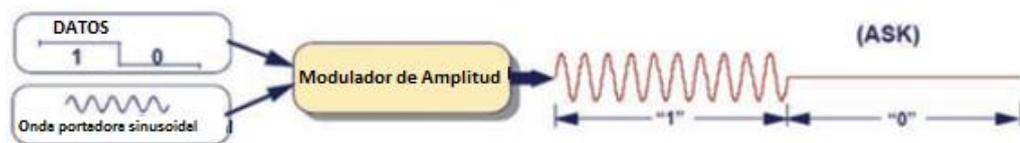


Figura 3.6: Esquema de modulación ASK.

- **FSK (Frequency Shift Keying):** Es una técnica de modulación digital, en la que una señal de información binaria se representa mediante la variación de la frecuencia de la señal portadora, es decir la frecuencia de la señal portadora cambia para representar el 1 y el 0 binario (Serna, 2011).

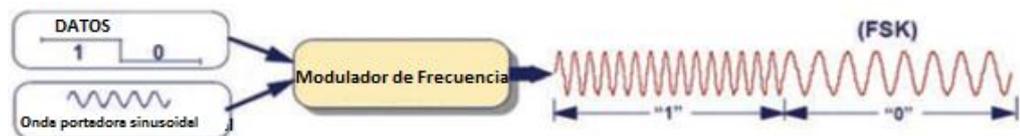


Figura 3.7: Esquema de modulación FSK.

- **PSK (Phase Shift Keying):** es una técnica de modulación que consiste en provocar un cambio de fase de 180 grados de la señal portadora para representar los datos binarios 0 y 1 (Serna, 2011).

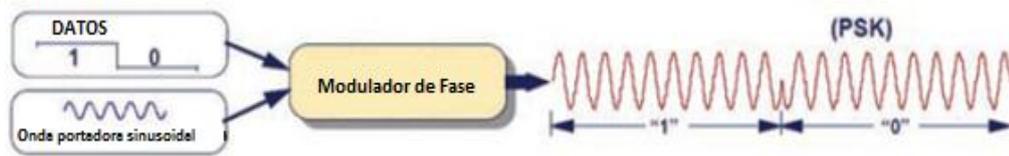


Figura 3.8: Esquema de modulación PSK.

- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying):** Modulación por desplazamiento mínimo gaussiano es una forma especial de modulación en banda estrecha similar (MSK, Minimum Shift Keying), esta técnica se basa en el desplazamiento de frecuencia de fase continua, es decir sin discontinuidades de fase ya que los cambios de frecuencia ocurren durante el paso por el nivel cero de la señal. La representación de un “0” o ”1” toma exactamente la mitad de un periodo de la señal portadora. El flujo de datos digitales pasa a través de un filtro gaussiano antes de la etapa de modulación con MSK (Murota & Hirade, 1981).

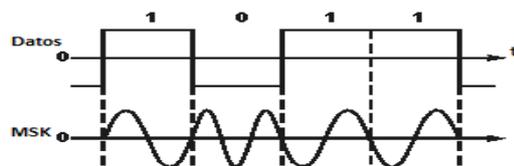


Figura 3.9: Modulación MSK.

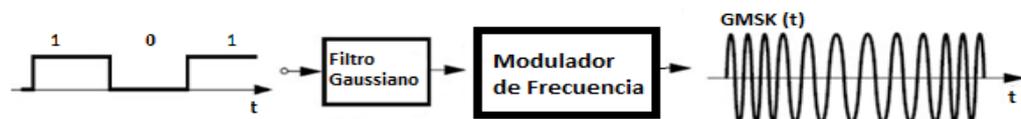


Figura 3.10: Esquemas de modulación GMSK.

- DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation):** puede operar con baja densidad de potencia espectral (PSD).
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex):** La modulación por división de frecuencia ortogonal, también conocida como ‘Modulación por multitono discreto’ (DMT), trabaja dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras con anchos de banda muy estrechos, a esta técnica puede ser fusionada con algoritmos de corrección de errores como Viterbi y Reed-Solomon que mejora y consiguen 6dB adicionales de relación señal ruido (S/R). Reed-Solomon puede corregir errores causados por ruidos generados por los picos típicos de la línea AC (Serna, 2011).

3.1.8. Clasificación de los sistemas PLC

La clasificación de los sistemas PLC se centra en función del ancho de banda, velocidad de datos y la distancia de comunicación alcanzable.

Por lo tanto la tecnología PLC se clasifica en: Ultra-banda estrecha, banda estrecha, banda ancha (Tiru, 2010).

3.1.8.1. Ultra-banda estrecha (UNB PLC)

Estos sistemas son unidireccionales y trabajan en frecuencias de (0.3-3 KHz) o (30-300 Hz). Con tasas de transmisión de datos (aproximadamente 100bps), puede lograr una transmisión a decenas a unos cientos de kilómetros. Se aplican en sistemas de “control de ondulación” (Tiru, 2010).

3.1.8.2. Banda estrecha (NB PLC)

Estos sistemas funcionan en las bandas 3 kHz a 500 kHz, tienen un rango de transmisión que puede ser de cientos de metros a varios kilómetros, proporciona velocidad de datos de entre unos kbps a cientos de kbps, se adaptan a aplicaciones de control de bajas frecuencias como el control de los aparatos domésticos, power grid, AMR, desarrollo de redes inteligentes, etc (Tiru, 2010).

3.1.8.3. Banda ancha (BB PLC)

Estos sistemas funcionan en las bandas de 1,8 MHz a 250 MHz, cubriendo distancias de cientos de metros a kilómetros, y que proporciona velocidades de datos de varios Mbps a cientos de Mbps.

Se utilizan en redes domésticas (conexión en red de ordenadores, impresoras y otros servicios de telecomunicación), y en aplicaciones de última milla (Prestando conectividad de Internet, telefonía IP, etc.) (Tiru, 2010).

3.1.9. Regulación PLC

Las actividades de regulación se refieren esencialmente a la coexistencia con otros sistemas que también utilizan la red de energía (es decir, máquinas y aparatos que extraen electricidad) y los sistemas inalámbricos que funcionan en las mismas bandas de frecuencia de PLCs. Los sistemas PLC están sujetos a regulaciones que limitan la intensidad de las señales acopladas a las líneas de energía. Estas normas se aplican a los sistemas de NB y BB PLC.

3.1.9.1. Regulación NB PLC

La norma europea (EN) 50065, se distingue cuatro bandas de frecuencia: CENELEC-A (3-95 kHz), CENELEC-B (95-125 kHz), CENELEC-C (125-140 kHz) y CENELEC-D (140-148,5 kHz).

CENELEC-A está reservada a las empresas eléctricas.

CENELEC B-D sólo pueden ser utilizados por las instalaciones de los consumidores.

CENELEC-C se especifica un mecanismo obligatorio CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) que facilita la coexistencia de diferentes sistemas incompatibles en la misma banda de frecuencia.

EN 50065 ha sido decisivo para la proliferación de los sistemas de NB PLC para el hogar y la industria de la automatización y para su uso como herramienta de medición inteligente (Cano, et al., 2016).

Todavía no existe una norma armonizada para frecuencias entre 150 kHz y 500 kHz. Sin embargo, los IEEE 1901.2 previsto por la norma realizaron límites de perturbación en términos de potencia máxima, densidad espectral y los métodos de medición en un apéndice informativo (Cano, et al., 2016).

En los EE.UU., las emisiones de PLC se regulan a través del Código de Regulaciones Federales, por la FCC (Federal Communications Commission) de EE.UU. Aquí, las regulaciones para los sistemas llamados "línea eléctrica aérea" son relevantes. Usa PLC en la banda de 9-490 kHz. No se aplican a "líneas eléctricas que conectan la subestación de distribución al cableado del cliente o de la casa (Cano, et al., 2016).

Otro documento normativo que ha sido considerado en las especificaciones del sistema, es el estándar T84 por la ARIB (Association of Radio Industries and Bussines) definida en la banda de frecuencia de 10 a 450kHz para el uso de PLC en Asia y Japón.

Bandas de frecuencias PLC en China está definida por el EPRI (Electric Power Reserch Institute) de 3 a 90kHz y ancho de bandas simples de 3 a 500kHz (Cano, et al., 2016).

3.1.9.2. Regulación BB PLC

Para BB PLC, las emisiones radiadas se convierten en una preocupación más grande debido a las altas frecuencias de la señal y las asimetrías en las redes de líneas de alimentación. Por lo tanto se ha argumentado que los métodos de medición y los límites de emisión necesitan ser ajustados para los dispositivos PLC.

En Europa, la norma EN 50561-1 se aplica a los sistemas PLC en el hogar que funcionan en la banda de 1,6 a 30 MHz y en ésta se especifica niveles de tensión máxima para las señales PLC y los límites y métodos de medición de interferencias de radio. Otras normas, a saber, EN 50561-2 para redes de acceso y EN 50561-3 para frecuencias superiores a 30 MHz, están en desarrollo (Cano, et al., 2016).

El 47 CFR x15 por la FCC de los Estados Unidos, define los sistemas internos y de acceso "banda ancha sobre línea eléctrica" (BPL). En la sub-parte G para la banda 1.705-80 MHz establece los límites de emisión radiada, diferenciando entre las instalaciones de media tensión (MV) y baja tensión (BT), además incluyen el registro de despliegues en una base de datos, y las bandas de frecuencia excluidos para despliegues aéreos y zonas de exclusión geográficas (Cano, et al., 2016).

Como en la norma EN 50561-1, la adaptación de potencia y el encaje están diseñados para evitar interferencias perjudiciales a los servicios de radio.

Tabla 3.1: Normas y reglamentos respecto NB PLC (<500 kHz) y BB PLC en diferentes regiones del mundo.

Región	Standard/Regulación	Observaciones
Banda estrecha PLC		
Europa	EN 50065 3–148.5 kHz	CENELEC A banda para uso general. CENELEC B-D bandas para el uso público. Uso de CSMA/CA en la banda CENELEC C.
	IEEE 1901.2 148.5–500 kHz	No es una norma europea armonizada.
EE.UU	47 CFR x15 9–490/500 kHz	Reglas para línea eléctrica aérea o para aplicaciones actuales de transporte.
Japón	ARIB STD T-84 10–450 kHz	Requiere CSMA/CA.
Banda ancha PLC		
Europa	EN 50561-1 1.6065–30 MHz	Control dinámico de potencia Encaje estático y dinámico
EE.UU	47 CFR x15 1.705–80 MHz	Sub-parte G para acceso BB PLC Mitigación y evitación de interferencias. Bandas y zonas excluidas.

Fuente: (Cano, et al., 2016).

3.1.10. Estándares

3.1.10.1. Estándares BPL

Existen Varias organizaciones involucradas en la normalización de la tecnología BPL a nivel mundial, dichos estándares disponibles están en una constante competencia de evolución, ejemplo de ello son HPA (HomePlug Powerline Alliance) de Intellon Corporation (EE.UU.), UPA (Universal Powerline Association), OPERA (Open PLC European Research Alliance) financiado por la Comisión Europea, ETSI (European Telecommunications Standard Institute), CISPR, en Japon es CEPCA (Consumer Electronics Powerline Communication Alliance), IEEE (estándar de la capa física (PHY) y capa MAC) para alta velocidad (> 100Mbps en la capa PHY), ITU-T y el HD-PLC (High-Definition Power Line Communication Alliance).

La consolidación de los sistemas de BB-PLC en las normas internacionales fue recientemente ratificado por la Organizaciones de desarrollo de normas (SDO) por sus siglas del inglés (standards-developing organizations) en dos estándares, a saber, IEEE 1901 e ITU-T G.9960/61 también conocido como ITU-T G.hn, otro estándar internacional para BB PLC es TIA-1113 aprobada por la Asociación de la Industria de

Telecomunicaciones (TIA), que se basa En las especificaciones Homeplug 1.0 (Cano, et al., 2016).

No está claro qué estándar saldrá adelante, se detalla en breve algunos estándares más sobresalientes, cabe mencionar que el estándar HomePlug se ha convertido en la base de los sistemas de PLC más ampliamente implementados en el mundo.

3.1.10.2. ITU-T G.9960/61

ITU-T G.hn fue lanzado en 2006 con el fin de desarrollar un estándar unificado de alta velocidad (tasas de hasta 1 Gbps) para la red de área doméstica que puede operar sobre todos los tipos de cableado heredados en casa incluyendo líneas telefónicas, líneas eléctricas y cable Coaxial (Cano, et al., 2016).

En las publicaciones g.9960 (ratificadas en octubre de 2009) y g.9961 (ratificadas en junio de 2010) se especifican la capa física y la capa de enlace de datos respectivamente, así como los mecanismos de coexistencia y máscaras PSD (power spectral density) (Cano, et al., 2016).

ITU-T G.9960/61 incluyen tres perfiles para el PLC: 50MHz (2-50MHz), 100MHz (2-100MHz) y un perfil de baja complejidad (LCP) (low-complexity profile) de (2 a 25 MHz) y es interoperable con los otros perfiles g.9960 (50 MHz, 100 MHz), maneja una tasa de (5-20 Mbps), es usado para aplicaciones típicas de redes inteligentes, tales como AMI, dispositivos inteligentes, dispositivos de gestión de energía en el hogar, y carga de vehículos eléctricos enchufables (PEV) / vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEVs) (Cano, et al., 2016).

El estándar se basa en OFDM de manera de dirigir características de canal de diferentes medios.

En el g.9960 puede incluir hasta 16 dominios separados, en cada dominio, se encuentra un dispositivo maestro que coordina las comunicaciones (hasta 250 nodos). Los dispositivos ubicados en diferentes dominios pueden comunicarse a través de un puente entre dominios (IDB). Un maestro global (GM) gestiona recursos, prioridades y características operativas entre los dominios de una red. Estos también pueden conectarse a dominios ajenas (con cable o inalámbricos) (Hossain, et al., 2012).

3.1.10.3. IEEE P1901

"Proyecto de Estandarización para la banda ancha sobre redes de línea de energía: Control de Medio Acceso y Especificaciones de Capa Física".

El estándar IEEE 1901 fue ratificado en septiembre de 2010 como estándar para el BB PLC con velocidades de transmisión superiores a 100 Mbps. La norma abarca tanto para las redes de comunicación en el hogar (100m entre dispositivos) como las conexiones de acceso de última milla (1500m a la premisa).

El estándar IEEE utiliza la banda de frecuencias de 2-30 MHz con una banda extendida opcional de hasta 50 MHz. Incluye dos capas físicas multiportadora (PHY), que se denominan comúnmente como OFDM a través de la transformada rápida de Fourier (FFT-OFDM), y la otra que se basa en la modulación (Wavelet-OFDM) . El primero es clásico OFDM se deriva y es compatible con la tecnología homeplug av powerline Alliance, se aplica un código turbo para la corrección de errores hacia adelante (FEC), mientras que el último es un multitono discreto wavelet (DWT), la modulación se basa en y es compatible con la especificación HD-PLC de la HD-PLC Alliance liderada por Panasonic. (Hossain, et al., 2012).

El estándar IEEE 1901 también define una capa MAC común que puede administrar las dos capas PHY diferentes conocidas como protocolos de convergencia de capas físicas. El acceso a medios se realiza mediante TDMA y acceso múltiple con detección de portadora con evitación de colisión (CSMA / CA). La coexistencia entre las capas PHY no interoperables se gestiona a través del protocolo inter-sistema obligatorio (ISP). La ISP también maneja la coexistencia de los sistemas Access e in-home compatibles con IEEE1901 y los sistemas itu-tG.hn. Los estándares IEEE 1901 y UIT-T G.hn son no interoperable. Mientras IEEE 1901 tiene disposiciones para las redes en el hogar y de acceso, ITU-T G.hn se aplica específicamente a las redes domésticas (Hossain, et al., 2012).

3.1.10.4. OPERA

OPERA (Open PLC European Research Alliance) es un proyecto de I&D (investigación y desarrollo) con financiación de la Comisión Europea. Su objetivo es mejorar los sistemas existentes, desarrollar servicios de PLC y estandarizar los sistemas (Hossain, et al., 2012).

3.1.10.5. POWERNET

POWERNET es un proyecto de I&D con financiación de la Comisión Europea. Su objetivo es desarrollar y validar un equipo de comunicaciones Cognitive Broadband over Power Lines (CBPL) "plug and play" que cumpla con los requisitos regulatorios relativos a las radiaciones electromagnéticas y pueda ofrecer altas velocidades de datos mientras se utiliza con baja densidad espectral de potencia de transmisión y trabajando a baja relación Señal/Ruido (Hossain, et al., 2012).

3.1.10.6. Universal Powerline Association (UPA)

La Universal Powerline Association (UPA) alinea a los líderes de la industria en el mercado global de Power Line Communications (PLC) y cubre todos los mercados y el acceso a una tecnología de PLC en el hogar para garantizar un campo de juego uniforme para el despliegue de productos PLC interoperables y coexistentes. Beneficiando a los consumidores en todo el mundo. UPA promueve productos basados en el estándar doméstico UPA para aplicaciones de redes domésticas y en el estándar Opera para aplicaciones de acceso a líneas eléctricas BPL. El estándar UPA es un estándar fuerte y está contribuyendo al próximo estándar IEEE P1901 (Hossain, et al., 2012).

3.1.10.7. CEPCA

Electrónica de Consumo Powerline Communications Alliance (CEPCA) (Sony, Mitsubishi y Panasonic) está desarrollando tecnologías de línea eléctrica que pueden ofrecer velocidades de hasta 170 Mbps (Hossain, et al., 2012).

3.1.10.8. ETSI PLT

Este proyecto mejora los estándares y especificaciones necesarios para cubrir la provisión de servicios de voz y datos a través de la red de transmisión y distribución de energía de la red y / o el cableado de electricidad dentro del edificio. Las normas se desarrollarán con suficiente detalle como para permitir la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes y la coexistencia de múltiples sistemas de líneas de energía eléctrica dentro del mismo entorno.

Se elaborarán normas armonizadas para permitir la presunción de conformidad con las Directivas UE/CE pertinentes (Hossain, et al., 2012).

3.1.10.9. HomePlug Powerline Alliance Standards

HomePlug Powerline Alliance es un grupo comercial formado por más de 65 empresas. Fue fundada en marzo de 2000 por las principales empresas de tecnología para proporcionar un foro para la creación de especificaciones para los productos y servicios de red de línea de alimentación eléctrica. La misión de la Alianza es habilitar y promover la rápida disponibilidad, adopción e implementación de redes y productos de líneas eléctricas residenciales rentables, interoperables y basadas en estándares. Los patrocinadores y miembros de la Junta Directiva de la Alianza son: Comcast, Earthlink, GE, Intel, Linksys, Motorola, Radio Shack, Samsung, Sharp y Sony. Debido a que la tecnología HomePlug se basa en las contribuciones de múltiples empresas de todo el mundo, las normas resultantes ofrecen el mejor rendimiento de la clase. La HomePlug Powerline Alliance ha definido una serie de estándares (Hossain, et al., 2012):

- **HomePlug 1.0**

Es la especificación para conectar dispositivos a través de líneas eléctricas en el hogar.

- **HomePlug AV**

Está diseñado para transmitir HDTV y VoIP en la casa.

- **HomePlug BPL**

Es un grupo de trabajo para desarrollar especificaciones para la conexión de banda ancha doméstica.

- **Homeplug CC**

El Command and Control es una tecnología de baja velocidad y de bajo costo, destinadas a complementar las tecnologías de comunicaciones eléctricas de alta velocidad de la alianza Homeplug.

3.1.11. Estándares NB PLC

Hay numerosas especificaciones para sistemas NB PLC y que operen en aplicaciones del hogar y la industria de la automatización y para aplicaciones de utilidad.

El desarrollo de las principales especificaciones para los sistemas NB-PLC se ha creado con el interés de crear una infraestructura de comunicaciones de redes inteligentes efectiva, mediante sistemas HDR NB PLC. "HDR" significa que los tipos

de datos de decenas a cientos de kbps se logran utilizando la banda de frecuencia de 3-500 kHz. En particular, de acuerdo con las bandas de frecuencia disponibles en diferentes regiones del mundo. El PRIME (Powerline Related Intelligent Metering Evolution) y G3-PLC ha sido desarrollado por la Alianza PRIME y la Alianza G3-PLC, respectivamente (Cano, et al., 2016) (Hossain, et al., 2012).

3.1.11.1. La alianza PRIME

Está focalizada en el desarrollo del estándar de forma abierta y pública en busca de interoperabilidad de los equipos de distintos proveedores, apunta a aplicaciones de “smart metering” como también que pueda soportar conexión completa de todos los de aparatos de medida de energía, agua, gas, a través de toda la red eléctrica dentro y fuera de la casa. Se basa en la modulación multiportadora OFDM que se ha adoptado para las capas PHY/MAC en la banda CENELEC A, con el fin de garantizar y beneficiar con este estándar a servicios públicos, industria, clientes, etc. (Cano, et al., 2016).

3.1.11.2. G3-PLC (Open Standard for Smart Grid Implementation)

Es un estándar desarrollado por Sagem, ERDF y Maxim que promueve la interoperabilidad en la comunicación entre los 10kHz y los 490kHz con FCC, CENELEC y ARIB, tecnológicamente tiene la capacidad de coexistir con otros estándares de tecnología PLC en la misma red, como puede ser de tipo IEC61334, IEEE® P1901 e ITU G.hn. pueden coexistir debido a un protocolo de convivencia que permite a los dispositivos que utilizan estas normas para convivir, el cual permite hacer un filtro de rechazo de banda (Notch), también es útil para poder bloquear o atenuar ciertas frecuencias conocidas de ruido o jam (Cano, et al., 2016).

G3-PLC apunta a “Smart Grid” o que soporte interconexión de todas las comunicaciones a través de la red eléctrica, tanto como baja/media/alta tensión.

La especificación G3-PLC incluye las capas PHY/MAC donde apoya el OFDM, y una capa de adaptación 6LoWPAN para transmitir paquetes IPv6 por la red. Está por tanto pensada para infraestructuras de multitud de nodos a gran escala (Cano, et al., 2016).

3.1.12. Protocolo de Comunicación

Para comunicar nodos PLC se debe usar un lenguaje específico y un proceso ordenado de operación durante la comunicación entre sistemas, por lo general se utiliza el prototipo de referencia de comunicación el modelo ISO/OSI (International

Organization for Standardization/Open System Interface), que explica la acción que se produce durante el proceso de comunicación, en éste los protocolos de comunicación están clasificados en 7 capas (Serna, 2011).

Pero, a menudo las comunicaciones PLC necesitan menos de 7 capas.

Tabla 3.2: Función de cada capa del modelo OSI.

Capa		Descripción
7	Aplicación	Protocolos que sirven como interfaz entre el usuario y la aplicación que usan la red.
6	Presentación	Convierte el paquete de datos en un formato genérico para transmisión por la red, y permita la traducción de datos por otros dispositivos.
5	Sesión	Establece la conexión entre host para intercambio de datos entre (emisora-receptora).
4	Transporte	Controla el flujo de datos y evalúa el tamaño de los paquetes para que sean permitidos por la arquitectura de una red determinada, además proporciona servicio de detección y corrección de errores.
3	Red	Convierte las direcciones lógicas en direcciones físicas para el encaminamiento de los paquetes de datos en la red.
2	Enlace de Datos	Es la encargada de tener acceso a los medios, mediante servicio de envío de datos a través de las distintas redes físicas para conectar dos nodos de la red.
1	Física	Es la responsable de la transmisión binaria, adopta funciones y procedimientos para la conexión al medio físico de la red mediante un protocolo apto según el tipo de red física.

Fuente: (Tanenbaum, 2003).

En el dispositivo emisor, el proceso de enviar un mensaje empieza por la capa superior, en donde se agregan encabezados e información final adicionales para después transmitir a la capa inmediatamente inferior y recorren todas las demás capas en sentido descendente hasta la capa más baja, la misma que transmite el mensaje a través de la red al nodo receptor, el mensaje recibido enlaza con la capa más baja del receptor, partiendo de esta capa pasa a la capa inmediatamente superior y por último, a la capa

más alta del receptor, durante este proceso cada protocolo de capa llega a intercambiar información, que se conoce como unidades de datos de protocolo (UDP), entre capas iguales. Es decir cada capa de comunicación del dispositivo origen, se comunica con un UDP específico en la capa igual en el destino (Tanenbaum, 2003), como se muestra en la siguiente Figura 3.11.

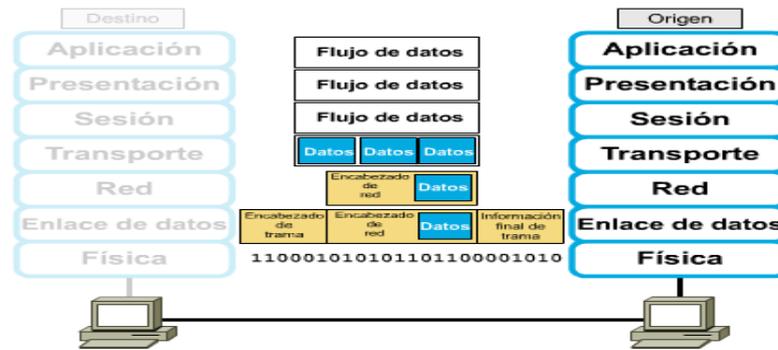


Figura 3.11: Encapsulamiento de información.

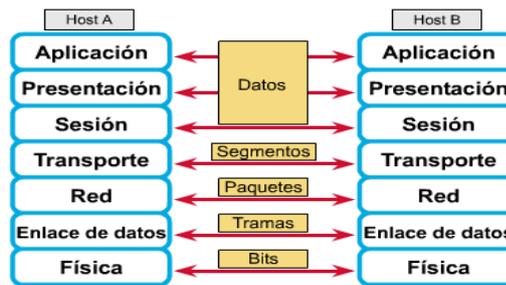


Figura 3.12: Comunicación de igual a igual.

En la Figura 3.13 se muestra el esquema del modelo OSI con sus distintas capas.

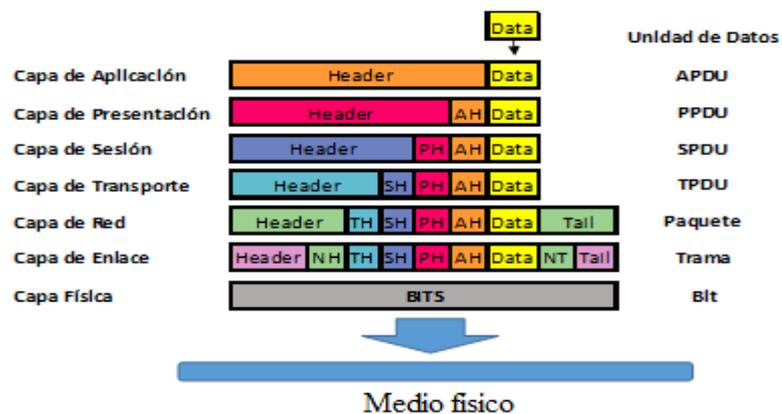


Figura 3.13: Esquema del modelo OSI.

3.1.13. Ventajas y desventajas

3.1.13.1. Ventajas de una conexión PLC

- La ventaja principal es proporcionar conectividad con redes locales a través de la instalación eléctrica ya existente en construcciones como: casas, edificios, fábricas etc., PLC aprovecha el cableado eléctrico para transmitir datos, permitiendo armar una red local PLC sin tener que desplegar cables extras, esto quiere decir que cada enchufe doméstico se convertiría como puntos de acceso a los servicios de red.
- Es un sistema mucho menos costoso de instalar, ya que no requiere obra civil, y facilita la instalación de red.
- Otra ventaja es su alcance; extiende su red a los tomacorrientes más alejados del hogar allí donde un router ordinario sería incapaz de llegar con su señal inalámbrica debido a obstáculos (paredes) que atenúan la señal.
- Puede ser una alternativa válida a las conexiones ADSL debido a que dispositivos BB PLC manejan altas velocidades de comunicación, que están en los cientos Mbps y evoluciona hacia una transmisión de Gbps.
- Los dispositivos de diferentes estándares de PLC no son interoperables, pero pueden coexistir en un mismo medio permitiendo a si múltiples servicios con la misma plataforma.
- PLC dispone dispositivos que maneja múltiples servicios como, internet, telefonía, domótica, televisión interactiva, seguridad, etc.

3.1.13.2. Desventajas de una conexión PLC

- La red de distribución eléctrica no fue diseñado con el fin de transportar datos, es por eso que la transmisión de flujo de datos se puede ver afectado al combinarse con la señal eléctrica, tal es el caso ciertos electrodomésticos como: taladros, motores, etc., provocan 'ruido' e interferencia en las líneas e impide mantener la calidad de la comunicación.
- Al utilizar el cableado eléctrico implica transportar datos a altas velocidades entre los 9KHz y 100MHz, en estas frecuencias los cables pueden comportarse como antenas y generar radiación electromagnética que pueden interferir en las frecuencias de otras ondas de radio.
- Si el cableado eléctrico es antiguo, al implementar la tecnología PLC, se puede ver afectada el rendimiento de la red, si las redes eléctricas están deterioradas, los

cables se encuentran en mal estado o tienen empalmes mal hechos no es posible utilizar la tecnología PLC.

- Requiere que los datos sean encriptados para impedir la interceptación de tráfico y hacer segura la comunicación.
- La interoperabilidad de equipos de los distintos estándares tecnológicos aún está en desarrollo.

3.1.14. Seguridad de PLC

Una red bajo la tecnología PLC es prácticamente no apta para compartir información con los vecinos, es invulnerable e imposible de ser interceptada el tráfico de datos por hackers fuera de la red interior-PLC, ya que existen barreras que limitan el paso de la señal de datos, como son los medidores de consumo eléctrico que atenúa la señal e impide tener una buena comunicación a través de ellos. Otra barrera, consiste en la caja de distribución, este nodo central entre diferentes instalaciones muestra una extremadamente baja impedancia y acaba con la mayoría de señales transmitidas.

Con esas barreras físicas no está demás reforzar la seguridad de la tecnología PLC, otro caso de vulnerabilidad de la seguridad puede presentarse en los cables de las líneas eléctricas que al comportarse como antenas por falta de blindaje, existe el riesgo de que puedan transmitir señales que pueden ser interceptadas por otra red ajena muy cercana a ella.

Es por ello que la tecnología PLC dispone de una seguridad avanzada como es la encriptación de datos que impide la interceptación del tráfico de datos.

El cifrado del método DES y TripleDES se usa para cifrar los paquetes. Data Encryption Standard (DES) es un algoritmo de cifrado por bloques con criptoanálisis, Triple DES también conocido como TDES o 3DES es el algoritmo que hace triple cifrado del DES. Un sistema de encriptación de 56-Bits normalmente viene en los equipos PLC. Pero si se desea mejorar la seguridad se recomienda implantar conexiones SSI y VPN en los equipos PLC.

3.2. Concepto de sensores

Es un dispositivo que detecta las variaciones de magnitudes físicas como (luz, magnetismo, presión, humedad, etc.) y las convierte casi siempre en señales eléctricas útiles para un sistema de medida o control, es decir, un sensor contiene un elemento sensible a la magnitud física y debe ser capaz de proporcionar una respuesta objetiva a

través de la generación de señales eléctricas, es por ello, que existen dispositivos con diferentes características, diseñados para percibir diferentes magnitudes físicas. Como son los sensores de temperatura, luz, humedad, presión, magnetismo, etc.

3.2.1. Sensores de corriente y voltaje

Estos sensores son dispositivos utilizados en los sistemas de distribución y comercialización de energía eléctrica, para el control de consumos y pérdidas, y también para contrastar y verificar el suministro de energía eléctrica.

Un sistema de medición está formado por sensores de corriente y de voltaje, y un módulo de procesamiento (medición y cálculo) como podemos observar en la siguiente Figura 3.14. (Sablza, et al., 2014)

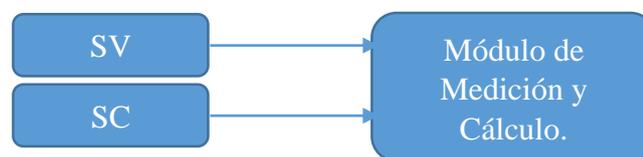


Figura 3.14: Diagrama de bloque de un sistema de medición.

3.2.1.1. Sensores de tensión

Los sensores de tensión ayudan de manera que podemos colocar una señal de tensión directamente en el circuito que realiza el procesamiento de datos, debido a la incompatibilidad de los niveles de tensión, así los sensores de tensión con la tecnología más utilizada son: el transformador con núcleo de hierro y los divisores resistivos, los mismos que nos permiten adaptar el nivel de voltaje requerido al convertidor analógico-digital de un micro controlador. (Sablza, et al., 2014).

- **Transformador de tensión.**

Convierte la energía eléctrica alterna de un determinado nivel de tensión en energía alterna de otro nivel de tensión, constituida por dos bobinas. En la práctica es considerado un reductor de tensión, pues la tensión en su circuito secundario es normalmente menor que la tensión en su bobinado primario. (Sablza, et al., 2014)

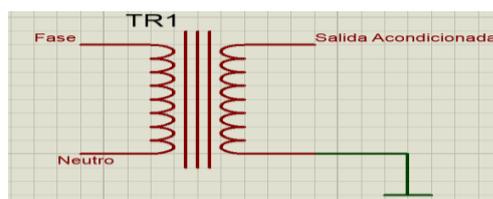


Figura 3.15: Transformador.

- **Divisor de tensión**

Otra manera simple y eficaz para adecuar una señal de tensión es el acoplamiento de un circuito que tiene por finalidad dividir la tensión. (Sablza, et al., 2014)

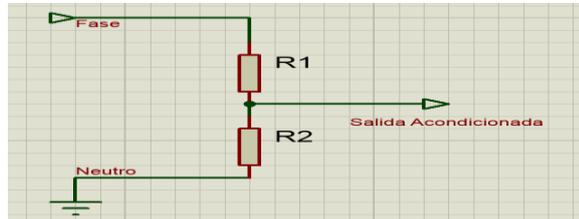


Figura 3.16: Divisor de tensión.

3.2.1.2. Sensores de corriente

Existen varios tipos de sensores de corriente, que se usan para una determinada aplicación, entre los más utilizados se tiene:

- **El transformador de corriente (TC)**

Su función es transformar la corrientes que circula en el devanado primario, a través de un acoplo magnético, a una corriente inducida en el devanado secundario. Con el fin de acondicionar una corriente proporcional, pero suficientemente menor, que permita el acoplo a un dispositivo de medición. Las desventajas del uso de este componente son las dimensiones y su precio elevado.

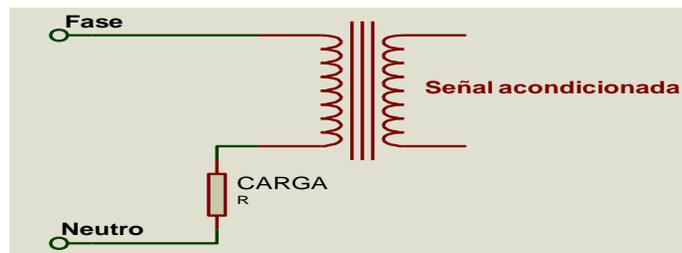


Figura 3.17: Transformador de corriente.

- **Resistencia Shunt**

La medición de la corriente eléctrica con este método, se consigue al introducir al circuito una resistencia Shunt en serie, seguidamente se obtiene la intensidad de corriente mediante el cálculo de la ley de Ohm. No obstante esta configuración presenta problemas de aislamiento entre tensión eléctrica y el sistema de medición, además, puede causar un efecto peculiar (Skin) en el sistema eléctrico.

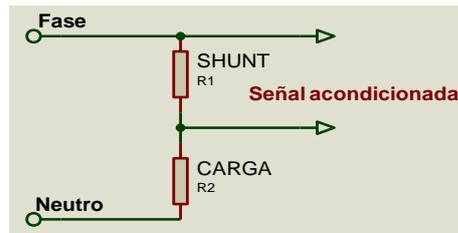


Figura 3.18: Resistencia Shunt.

Ley de Ohm

$$v(t) = R * i(t)$$

Donde:

$v(t)$ Tensión medida en voltios [V].

R Resistencia dado en Ohm [Ω].

$i(t)$ Corriente eléctrica dada en amperios [A].

- **Bobina de Rogowski**

Este componente consiste en un núcleo toroidal, no magnético, forma un circuito cerrado en torno al conductor, el campo magnético producido por la corriente alterna induce una tensión en la bobina, de esta manera separa el potencial entre circuitos de potencia y el circuito de medición y acondiciona la señal de corriente para su procesamiento.

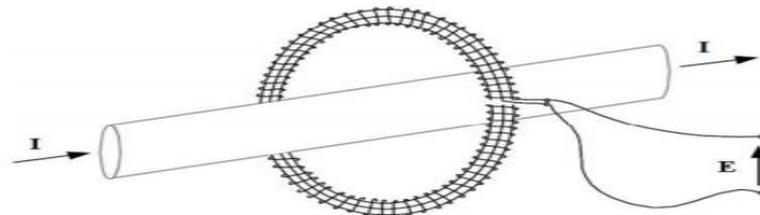


Figura 3.19: Bobina de Rogowski.

- **Sensores de efecto Hall**

Estos sensores basan su funcionamiento en el denominado efecto Hall descubierto por el científico Edwin Herbert Hall, este fenómeno presenta una alteración en el movimiento de las cargas eléctricas presentes en el interior del conductor. Causado por la interacción entre el flujo de corriente eléctrica y el campo magnético. En otras palabras, cuando por una placa metálica circula una corriente eléctrica, la misma se somete a un campo magnético perpendicular a la dirección de la corriente, se desarrolla en la placa una fuerza (fuerza de Lorentz) perpendicular tanto en la dirección del

campo magnético como en la dirección del flujo de la corriente eléctrica, hace que las partículas de carga de la corriente eléctrica se separen y se acumulen en los extremos de la placa, produciendo un campo eléctrico y en consecuencia aparece una diferencia de potencial entre los extremos de la placa, llamado voltaje Hall.

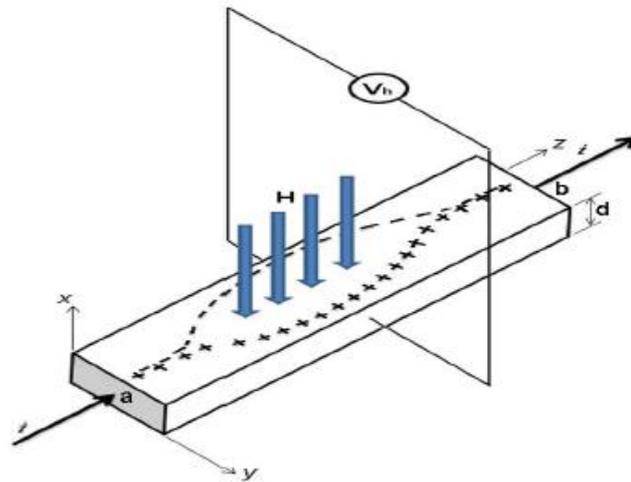


Figura 3.20: Descripción del efecto Hall.

En la Figura 3.20 se presenta una placa metálica sometida a una tensión V_{ab} , por tal efecto se origina un flujo de corriente que circula a lo largo de la barra en la dirección z . A esta placa se le aplica un campo magnético (H) perpendicular a la dirección de la corriente, la fuerza de Lorentz hará que los electrones se repelen y se concentren en los lados laterales de la placa, formando la acumulación de cargas negativas en un extremo y las positivas al otro. El fenómeno ocurre al presentarse una diferencia de voltaje entre los lados laterales de la placa (V_h).

La magnitud de V_h será proporcional a la corriente (i) y a la inducción magnética (H). La magnitud de esta tensión dada por:

$$V_h = \frac{(R_h * i * H)}{d}$$

Donde

V_h = Tensión Hall;

R_h = Constante Hall del material;

i = Corriente eléctrica;

H = Campo magnético;

d = Espesor de la placa.

En efecto, el fenómeno Hall ocurre en cualquier material que conduce una corriente eléctrica y ésta en presencia de un campo magnético transversal.

En la Figura 3.21 es posible visualizar una configuración típica del sensor Hall.

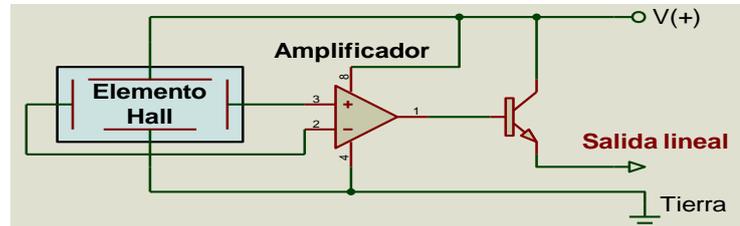


Figura 3.21: Esquema típico de los sensores Hall convencionales.

En la Figura 3.21 se muestra una configuración típica del circuito interno del sensor Hall. El cual está formado por el elemento Hall, un filtro y un amplificador. La señal de salida varía linealmente con el aumento de la corriente (i) o con el campo magnético (H) aplicado, como se muestra en la Figura 3.22.

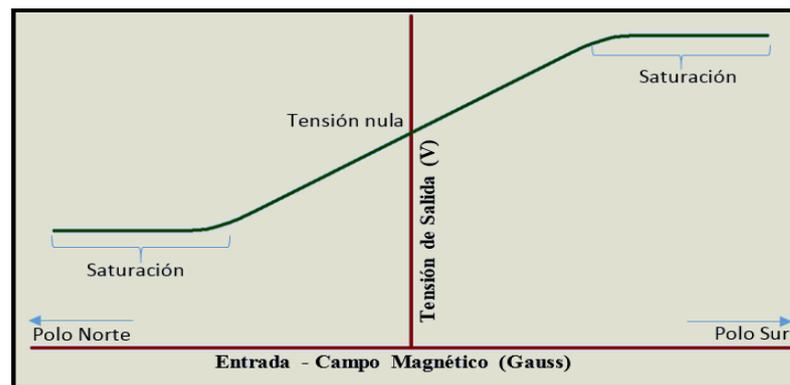


Figura 3.22: Curvas típicas de los sensores Hall analógico convencional.

El sensor Hall es lineal entre los valores límites de saturación, está controlado por el amplificador que hace que el voltaje de salida se establezca en el nivel de saturación cuando alcanza la tensión de alimentación, por otro lado si se eleva la intensidad de campo magnético se llega a saturar y evita dañar el sensor Hall.

Para los sensores de efecto Hall, la función de transferencia expresa la relación entre una entrada de campo magnético (gauss) y una salida de tensión. La sensibilidad se define como el cambio transitorio, ilustrada en la Figura 2.23 corresponde a la sensibilidad del sensor.

con un mayor éxito, con la creación de equipos o electrodomésticos que brindan comodidades, que en el ámbito residencial representan un papel primordial, ya que son indispensables y necesarios para facilitar las labores en el hogar. Podemos decir que la eficiencia energética es un conjunto de acciones que nos ayuda a optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los servicios finales sin afectar su desempeño o calidad. (Peña Paredes & Trujillo Gavilanes, 2013)

En la siguiente Figura 3.25 se representa la estructura un modelo de estructura energética.

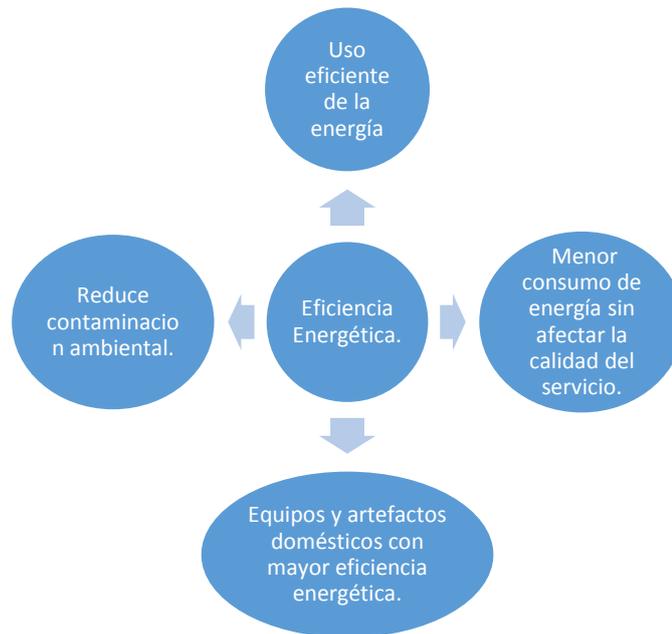


Figura 3.25: Eficiencia Energética.

3.3.2. Ahorro energético.

Es la disminución en el consumo innecesario de energía. El ahorro energético no representa el significado de “Apagar las luces o Desconectar todo”, sacrificando procesos o actividades sin importar su necesidad, un claro ejemplo es el racionamiento o corte de energía. (Medina, 2011)

3.3.2.1. Ahorro energético en electrodomésticos

Es muy importante tener en cuenta el ahorro energético desde que se va adquirir o comprar un electrodoméstico, la gran mayoría de artefactos cuentan con un etiquetado que ayudara a ver su rendimiento y eficiencia como se podrá observar a continuación.

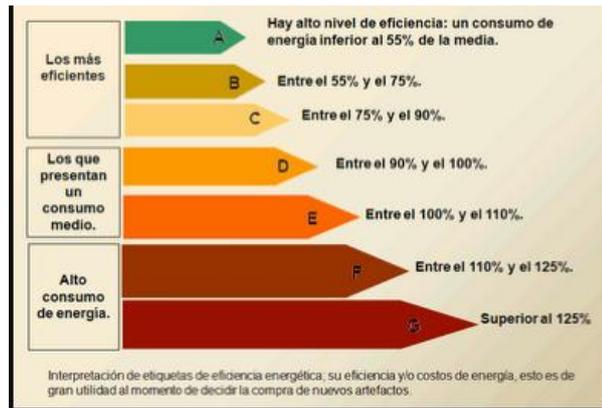


Figura 3.26: Etiqueta de Eficiencia Energética

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, s.f.).

A continuación la Figura 3.26 nos muestra los niveles de eficiencia que se representan por las letras mayúsculas que van desde la letra A hasta la G, todas con sus respectivos colores cada letra representa una eficiencia energética, por lo general estas etiquetas contienen los siguientes parámetros.

- Voltaje
- Índice de eficiencia energética
- Potencia consumida
- Vida útil
- Flujo luminoso
- Nivel de eficiencia
- Marca del fabricante

La letra A es considerada la más eficiente, mientras que la letra G es considerada la menos eficiente (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, s.f.). El Ministerio de Electricidad y Energía, trabaja en conjunto con diferentes instituciones con la creación de reglamentos y normas de eficiencia energética con el fin de promover el uso de equipos eficientes, obteniendo las siguientes normativas.

Tabla 3.3: Reglamentos y normas de eficiencia energética.

Reglamento.	Eficiencia Energética.	Ejemplos
RTE INEN 036	Lámparas fluorescentes compactas.	
RTE INEN 035	Artefactos de refrigeración de uso doméstico.	
RTE INEN 072	Acondicionadores de aire sin ducto	
RTE INEN 094	Bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia	
RTE INEN 101	Electrodomésticos para cocción (cocinas a inducción)	
RTE INEN 110	Calentadores de agua eléctricos de acumulación	
RTE INEN 111	Máquinas secadoras de ropa	
RTE INEN 117	Televisiones	
RTE INEN 122	Hornos eléctricos	
RTE INEN 123	Hornos microondas	
RTE INEN 124	Máquinas lavadora-secadora de ropa	
RTE INEN 133	Lavavajillas	

Fuente: (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, s.f.).

3.3.2.2. Ahorro energético en iluminación y lámparas

Se habla de ahorro energético en iluminación al aprovechar al máximo la luz natural. Al referirnos a ahorro energético en lámparas, se trata de optimizar la reducción del consumo eléctrico sin que se vea afectado los niveles de iluminación en el hogar. (Peña Paredes & Trujillo Gavilanes, 2013).

- **Tipos y características de lámparas más comunes en el hogar**

Una lámpara es un dispositivo que emite luz de forma artificial que para funcionar requieren de energía eléctrica, a continuación se observara la Tabla 3.4, con el tipo de lámpara y su vida promedio en horas.

Tabla 3.4: Tipo de lámpara y su vida promedio en horas.

Tipo de Lámpara	Vida Promedio (horas)
Incandescentes	1000
Halógenas	2000-4000
Fluorescentes	7500-12000
LED's	>50000

Fuente: (Benjumea Mesa, 2009).

- **Lámpara Incandescente**

Su principal característica es transformar la energía eléctrica en energía térmica, es decir permite el paso de una corriente eléctrica que se produce por un filamento de tungsteno mediante el calentamiento, este fenómeno produce una radiación visible en forma de luz. Para evitar que el filamento se quemara en contacto con el aire, se creó una envoltura de vidrio, cabe recalcar que posee un rendimiento muy bajo y esto es porque la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor (Braga, et al., 2014 Diciembre).

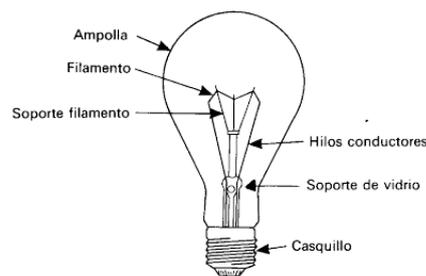


Figura 3.27: Lámpara Incandescente.

Fuente: (Castro Guaman & Posligua Murillo, 2015 Marzo).

- **Lámparas Halógenas**

Las lámparas halógenas funcionan con el mismo principio o de similar forma que la lámpara incandescente, con la gran diferencia, que ésta utiliza un gas halógeno para aumentar la eficacia luminosa y su vida útil, contiene en su interior un filamento de tungsteno que se vuelve incandescente cuando recorre una corriente eléctrica suficientemente alta. La estructura de recubrimiento utiliza un material especial de cuarzo que impide manipular con los dedos para así poder evitar su deterioro. (Braga, et al., 2014 Diciembre).

- **Lámparas fluorescentes.**

Esta lámpara se caracteriza por precalentamiento, es decir posee dos electrodos cubiertos por un tubo de vidrio con una mezcla gaseosa. Para el correcto

funcionamiento del dispositivo CFL (Compact Fluorescent Lamps), normalmente necesita conectarse a un balastro electrónico, que proporciona un encendido correcto, además de una forma de onda apropiada de su voltaje y corriente (Braga, et al., 2014 Diciembre).

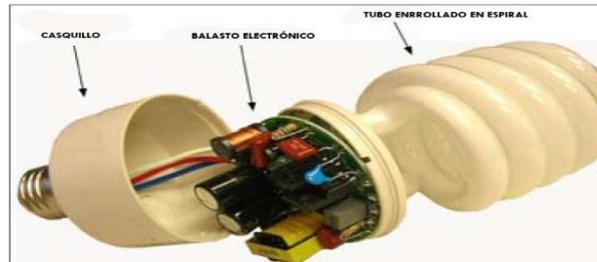


Figura 3.28: Lámpara FLUORECENTE.

Fuente: (Braga, et al., 2014 Diciembre).

- **Lámpara Led**

Led proviene de las siglas en inglés Light Emission Diode, (diodo emisor de luz), en su inicio se utilizaron como indicadores, unos ejemplos claros de esto son los aparatos eléctricos y electrónicos, como televisores, controles remotos, alarma de coche, indicadores de encendido y apagado, indicadores de emergencia, etc. Investigaciones sobre esta tecnología ha generado un gran avance, con respecto a su anterior objetivo el de ser un simple indicador a ocupar un enorme lugar en el mercado de la iluminación.

Son dispositivos electrónicos de estado sólido capaces de convertir la energía eléctrica en energía luminosa cuando se encuentran polarizados por medio de un campo eléctrico, estos dispositivos son capaces de generar grandes ahorros en el consumo energético. (Braga, et al., 2014 Diciembre).



Figura 3.29: Partes de una lámpara led.

Fuente: (Verbatim, s.f.).

3.3.3. Consumo eléctrico en Ecuador

3.3.3.1. Demanda nacional

La demanda de energía eléctrica en Ecuador registra un gran aumento en los últimos 10 años. El consumo eléctrico crece por algunos aspectos: crecimiento de la población, crecimiento económico, por satisfacer las necesidades del servicio eléctrico a áreas rurales.

En el año 2010 el consumo de energía eléctrica creció 835 GWh respecto a los años anteriores, siendo el mayor crecimiento en esta década, en la siguiente figura se observa el crecimiento de energía eléctrica en el Ecuador desde el año 1998 hasta el 2010. (CONELEC, s.f.)

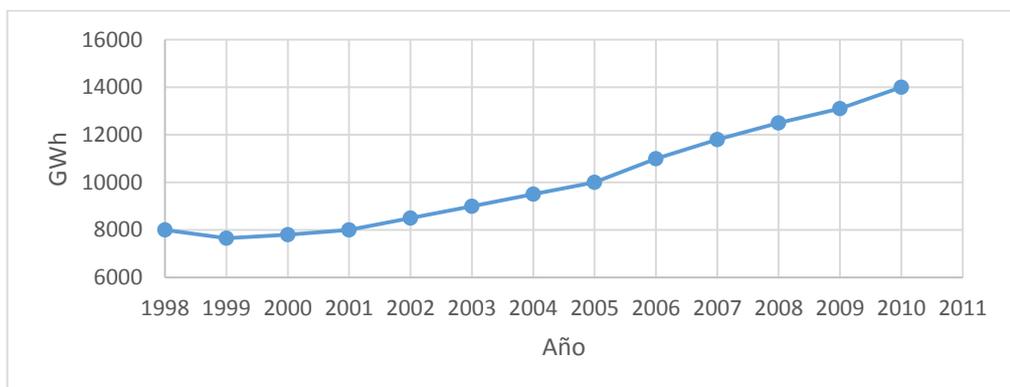


Figura 3.30: Evolución del consumo de energía eléctrica del sistema nacional.

Fuente: (CONELEC, s.f.)

Cabe destacar que se han generado proyección de demanda global a nivel nacional como se observará en la siguiente figura, donde se describe la evolución de la venta total de energía en el mercado de distribución de electricidad del Ecuador por los diferentes tipos de consumo, como alumbrado público, residencial, comercial, industrial, dando como resultado un estudio con una proyección que estima un crecimiento promedio anual durante el periodo 2013-2022 del 5%.

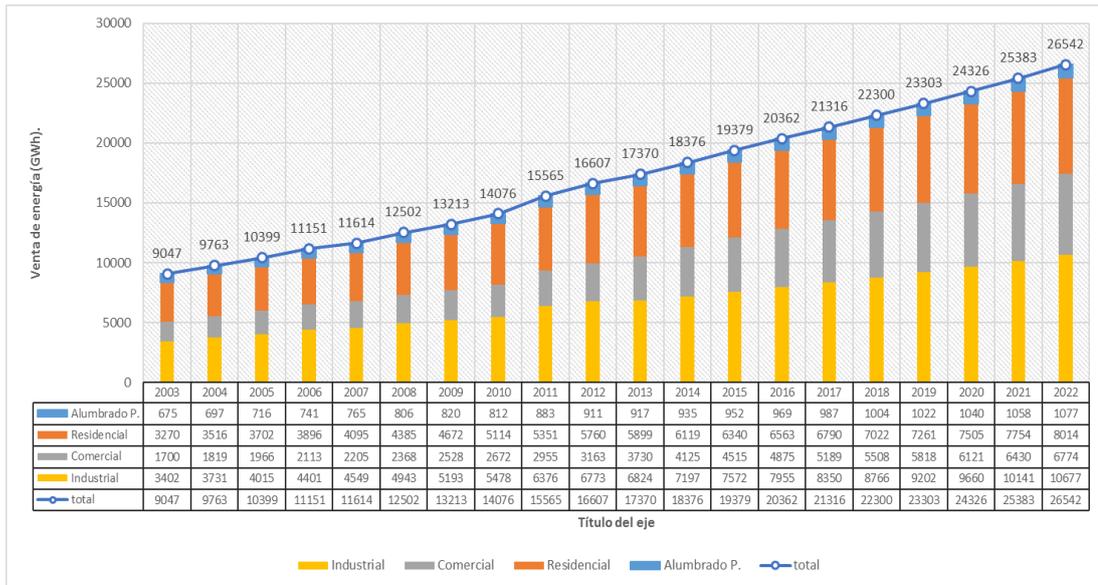


Figura 3.31: Evolución histórica y proyección de la facturación por grupo de consumo.

Fuente: (CONELEC, s.f.).

CAPÍTULO IV: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO

4.1. Introducción

En este capítulo, se describen las propiedades y funcionamiento de los elementos que componen el sistema de monitoreo eléctrico, Del mismo modo, se establece la organización e interconexión de dichos dispositivos. También, se menciona la funcionalidad de los procesos de interacción entre los elementos de hardware y software.

En la Figura 4.1 se describe el funcionamiento del proyecto basado en una comunicación con tecnología PLC, trata de un dispositivo capaz de medir y monitorear en tiempo real el consumo de energía eléctrica de cada uno de los circuitos eléctricos existentes en el hogar, además dispone de una pantalla HMI que facilitará al usuario ver en tiempo real el detalle de su consumo eléctrico. La información captada por los sensores se obtiene con Arduino y a su vez transmitida a la red mediante el módulo Ethernet, la cual está formada por dos módulos PLCs que utilizan el cableado eléctrico como un canal de comunicación. el PLC transmisor, utiliza este medio para transportar información del consumo de cada circuito antes mencionado, hacia el PLC receptor, el mismo que interconecta a un servidor web para respaldar los datos receptados, el cual contará con una base de datos, su propia página web que permitirá monitorear y descargar información del consumo eléctrico.

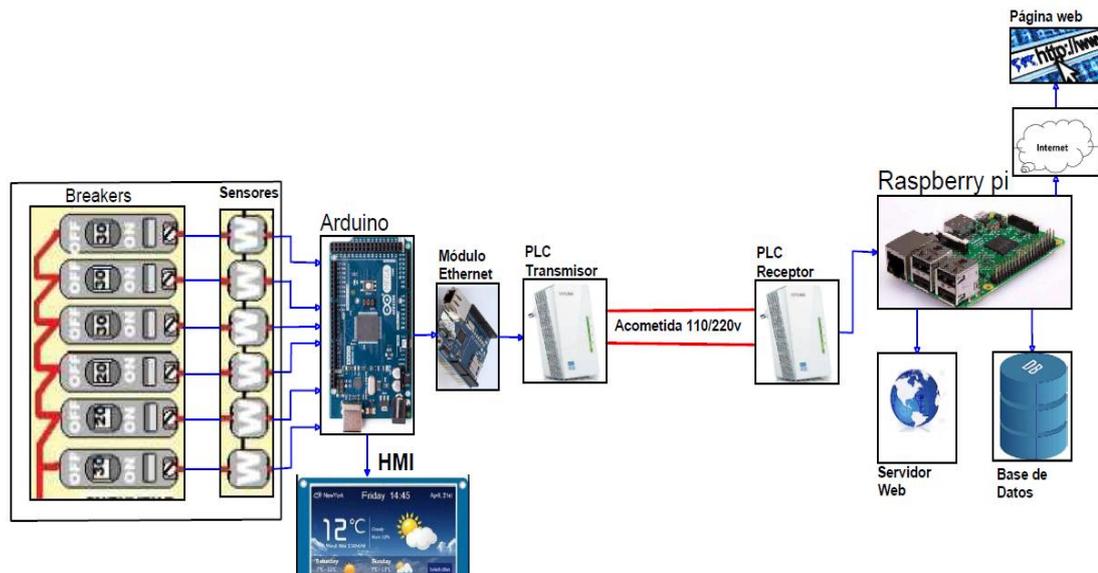


Figura 4.1: Interconexión de la red PLC con los dispositivos.

4.2. Diseño de hardware

El sistema de monitoreo de energía eléctrica, está compuesto por distintos componentes electrónicos, entre los más destacados se tiene: Arduino Mega, módulos PLC, módulo Ethernet, Raspberry Pi, sensores de corriente, sensor de tensión y pantalla HMI.

4.2.1. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 es una tarjeta de desarrollo que está basado en el microcontrolador ATmega2560 de 8 bits, cuenta con puertos de E/S digitales y analógicos, posee pines designados para funciones especializadas. Esta tarjeta es programable en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Además, posee un microcontrolador adicional que canaliza y convierte un puerto serial UART a USB, con el fin de obtener una comunicación con la PC, de esta manera evita módulos extras de grabación de firmware, y permite una interacción directa entre la tarjeta arduino y el ordenador.

En seguida, se mencionan las principales características de la placa Arduino Mega 2560.

- Voltaje de funcionamiento 5V.
- Voltaje de entrada aceptable 7-12V.
- Funciona con una velocidad de reloj de 16MHz.
- Tiene 54 pines digitales de E/S, de los cuales 14 proporcionan salida PWM.

- Cuenta con 16 pines de entrada analógica.
- Cada pin puede proporcionar o recibir una corriente de 40 mA.
- Dispone de Memoria Flash de 256 KB de los cuales 8 KB utilizados por el gestor de arranque.
- SRAM de 8 KB.
- EEPROM de 4 KB.

A continuación se detalla características de los pines designados para funciones especializadas.

Cuenta con 4 puertos seriales UARTs:

- Serial: 0 (RX) y 1 (TX); Los pines 0 y 1 también están conectados a los pines correspondientes del chip convertidor USB a TTL.
- Serial 1: 19 (RX) y 18 (TX).
- Serial 2: 17 (RX) y 16 (TX).
- Serial 3: 15 (RX) y 14 (TX).

Pines de comunicación SPI:

- 50 (MISO).
- 51 (MOSI).
- 52 (SCK).
- 53 (SS).

Puerto de comunicación I2C en los pines

- 20 (SDA) y 21 (SCL).

El Mega2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto, miden entre 0 y 5 voltios.

Interrupciones externas en los pines:

- (interrupción 0)
- (interrupción 1)
- 18 (interrupción 5)
- 19 (interrupción 4)
- 20 (interrupción 3)

- 21 (interrupción 2)

14 pines de PWM: del 0 a 13. Proporcionan salidas PWM de 8 bits.



Figura 4.2: Arduino Mega 2560.

Fuente: (Anon., s.f.).

4.2.2. Sensores de corriente y voltaje

Los sensores utilizados pertenecen a la familia SCT-013 no invasivos, estos permiten medir la corriente de un conductor sin necesidad de cortar o abrir el circuito, ya que estos sensores al igual que una pinza amperométrica usan el mismo mecanismo de medición. Dichos sensores son transformadores de corriente, que funcionan por inducción electromagnética. En este caso, un cable en el que circula corriente pasa por la abertura formada por el núcleo, actuará como devanado primario e internamente tiene un devanado secundario como se puede apreciar en la Figura 4.3. De esta manera la relación del número de espiras entre el devanado primario y secundario, representa la medida de corriente que circula por el cable. Es decir la señal de salida que arroja el sensor es proporcional a la intensidad medida.

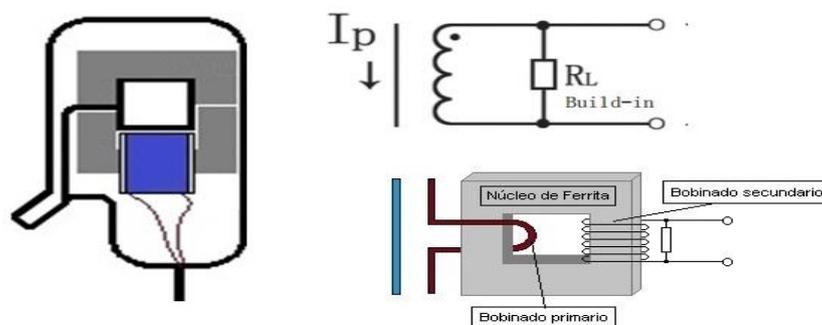


Figura 4.3: Estructura interna del sensor de la familia SCT-013.

Existen diferentes modelos de sensores SCT-013, la diferencia depende de la señal de salida, que puede ser de corriente o de voltaje. Para el proyecto se consideró el uso del

modelo SCT-013-030 que entrega una salida de voltaje de entre +/-1V. A continuación se describe las características y el acondicionamiento de la señal para trabajar con Arduino.

Características:

- Corriente de entrada 0-30A.
- Voltaje de salida +/- 1V.
- Temperatura de trabajo -25 °C ~ + 70 °C.
- Resistencia de muestreo incorporada (RL) 62Ω.
- No linealidad ± 1%.
- Núcleo ferromagnético.
- Plug de 3.5mm.

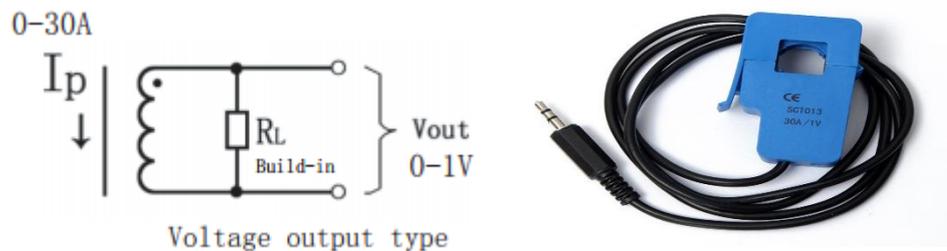


Figura 4.4: Sensor SCT013-030.

4.2.2.1. Circuito de acondicionamiento para la señal del sensor

Como se mencionaba anteriormente el sensor arroja una tensión de +/- 1V. Por lo tanto, no es una señal óptima para Arduino, ya que soporta tensiones que van desde 0 a 5 voltios en sus entradas analógicas. Es por ello, que se utiliza un amplificador operacional LM358 con la finalidad de rectificar la onda, permitiendo el paso de valores de tensión siempre positivos. Para ello el modo de configuración del LM358 será un seguidor de tensión como se observa en la Figura 4.5.

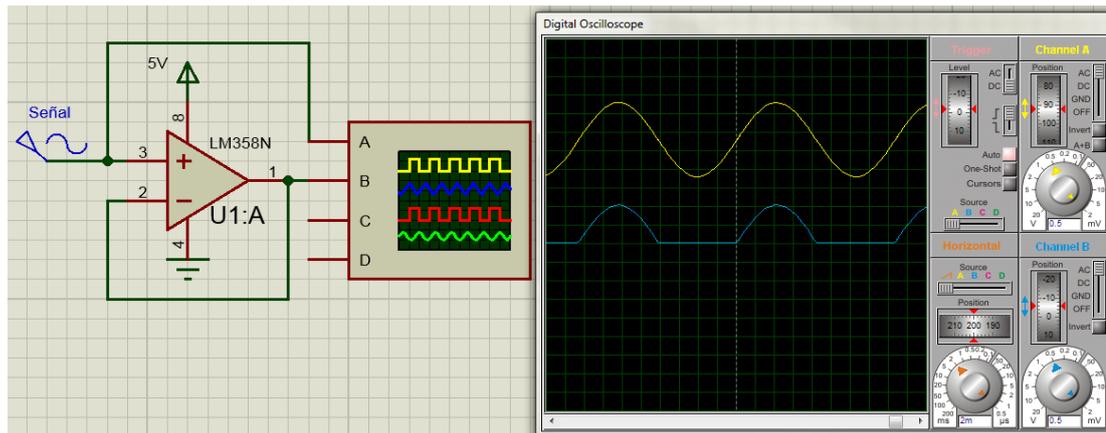


Figura 4.5: Rectificador de onda con amplificador operacional en modo seguidor de tensión.

Efectivamente se logra rectificar la onda, pero como se aprecia en la Figura 4.5, se pierde el semiciclo negativo. Este problema se puede resolver por software, considerando que la onda es simétrica.

4.2.3. Módulo sensor de tensión

Para calcular la potencia de un circuito es necesario disponer la lectura de voltaje, para ello se utiliza el módulo sensor de tensión ZMPT101B. A continuación se enumera algunas de sus características.

- Puede medir tensión alterna dentro de los 250 VAC, el correspondiente valor de salida analógica se puede graduar mediante su potenciómetro.
- Incorpora un transformador de voltaje y un amplificador operacional de alta precisión.

En la Figura 4.6 se observa la configuración de pines.

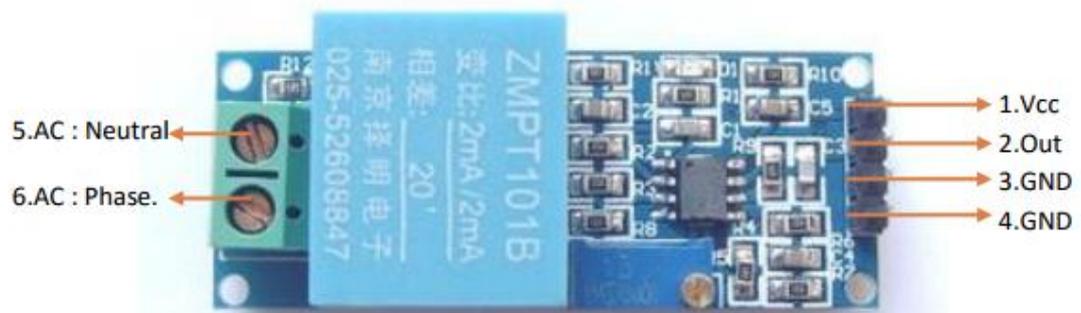


Figura 4.6: Sensor de voltaje AC.

Fuente: (Anon., 2014).

4.2.4. Medición del factor de potencia

Se sabe que el factor de potencia (FP) es la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S). Si en un sistema eléctrico de corriente alterna, las ondas sinusoidales son perfectas, es decir no contiene armónicos. Su factor de potencia será igual al coseno de ϕ de acuerdo al triángulo de potencias.

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \phi$$

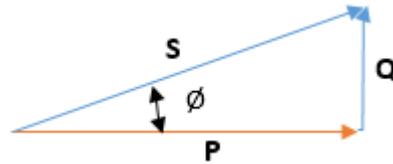


Figura 4.7: Triángulo de potencias.

Donde ϕ es el ángulo formado entre P y S, o bien es el ángulo de desfase entre la corriente y voltaje como se muestra en la Figura 4.8.

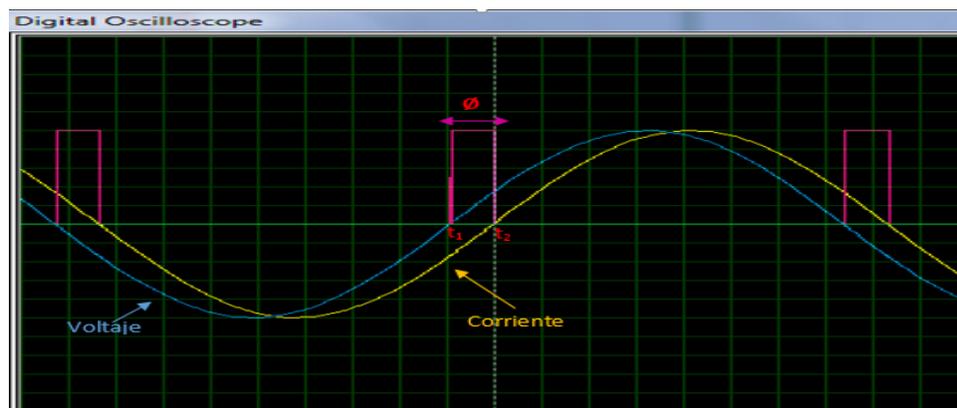


Figura 4.8: Ángulo de desfase entre las ondas de corriente y voltaje.

Para calcular el $\cos \phi$ mediante Arduino, fue preciso determinar el cruce por cero de cada una de las señales, mediante comparadores operacionales y una compuerta Xor como se muestra en el Figura 4.9, que facilitó medir el desfase con solo calcular el tiempo en alto de salida, y posteriormente sacar el ángulo ϕ usando la siguiente expresión.

$$\phi = 2\pi * F * \Delta t$$

Donde $\Delta t = t_2 - t_1$

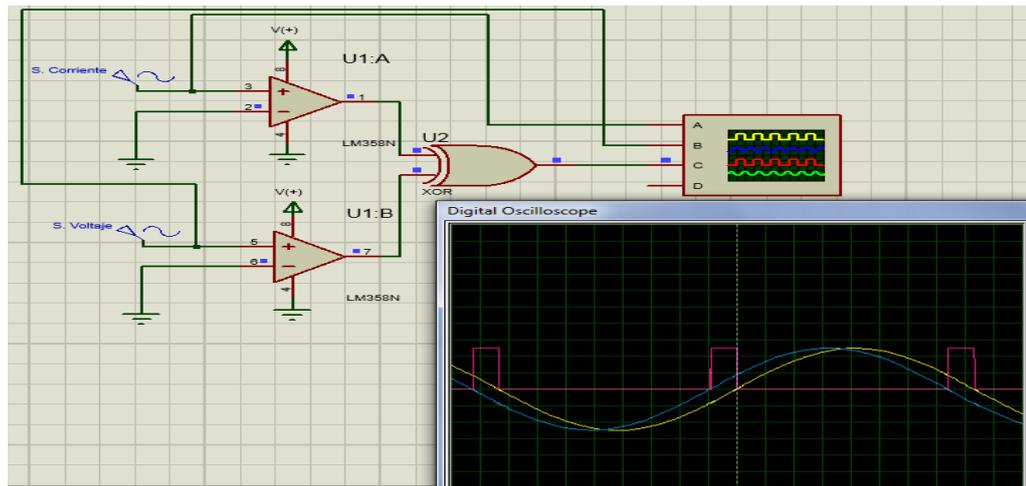


Figura 4.9: Circuito para determinar el tiempo de desfase entre la onda de corriente y voltaje.

4.2.5. Cálculo de potencia activa

Para el cálculo de potencia activa a partir de las señales de los sensores de voltaje y corriente, se considera como el producto punto entre los vectores de corriente y voltaje. La siguiente ecuación es utilizada para sistemas digitales y microcontroladores (Calle, et al., 2004).

$$P_{activa} = \frac{\sum_N [V] \cdot [I]}{N}$$

Donde N es el número de muestras.

Esta ecuación es válida tanto para sistemas que contengan o no armónicos en las señales de voltaje y corriente.

4.2.6. Módulo Ethernet shield para Arduino

Con el propósito de implementar una red local al sistema, se eligió el módulo Ethernet W5100, éste shield (tarjeta electrónica) Ethernet se basa en el controlador Wiznet W5100, está diseñado para soportar conectividad sobre redes TCP/IP sin sistema operativo, es decir se establece como servidor o cliente mediante programación de socket en un microcontrolador. El w5100 es compatible con IEEE 802.3 10BASE-T y 802.3u 100BASE-TX, además, cuenta con un buffer interno de 16Kbytes para transmisión de datos.

Para facilitar el control, configuración e integración con Arduino, se tiene acceso mediante la interfaz de comunicación SPI, y para mayor funcionalidad la shield Ethernet también proporciona una ranura para la tarjeta micro-SD.

En seguida se describe algunas características:

- En el shield proporciona un toma Ethernet RJ45.
- Cuenta con una ranura para tarjetas micro-SD.
- Dispone de un botón de reinicio, que restablece tanto el W5100 como la tarjeta Arduino.
- Contiene LEDs indicadores (TX, RX, Full / Half dúplex, Colisión, Enlace de red, Velocidad, PWR).
- Admite los protocolos TCP, UDP, ICMP, IPv4 ARP, IGMP, PPPoE.
- Modo de transmisión (full-duplex y half duplex).
- Permite la conexión ADSL.
- Admite 4 conexiones de sockets simultáneamente.
- Memoria interna de 16Kbytes para buffers Tx/Rx.
- Acepta comunicación, a través Interfaz Periférica Serial SPI.

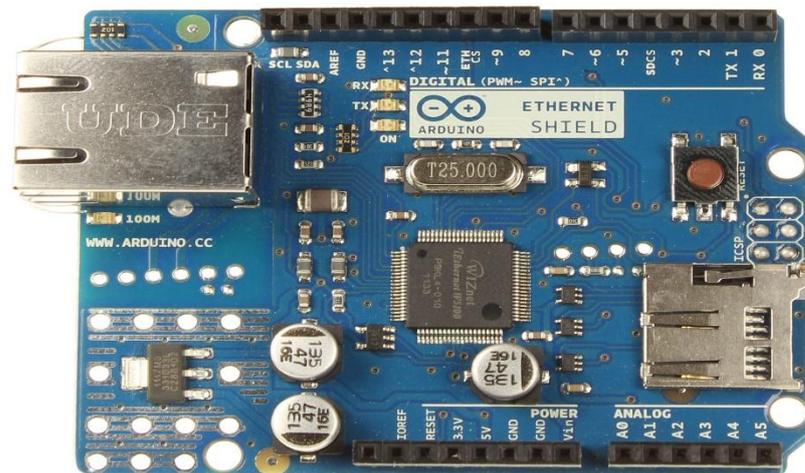


Figura 4.10: Shield Ethernet w5100.

Fuente: (Anon., s.f.)

4.2.7. Raspberry Pi 2

Es un mini computador de placa reducida, desarrollado por la Fundación Raspberry Pi, fue pensado para la educación de informática. Su sistema operativo oficial es Raspbian, aunque soporta otros sistemas operativos. Este ordenador puede interactuar con la electrónica exterior, mediante los pines GPIO (entrada y salida de propósito general), es decir puede leer estados, activar o desactivar elementos o tener una comunicación serial UART, SPI, I2C con otros dispositivos. Aunque, Su potencial en sí son las aplicaciones de software. Cuenta con periféricos comunes de una computadora como puerto de comunicación Ethernet, audio/video, puerto HDMI,

puertos USB, etc. Es por ello que puede ser utilizados para múltiples propósitos, por ejemplo, para desarrollar proyectos en sistemas IoT (internet de las cosas).

Por las características ya mencionadas se toma en cuenta sus principales ventajas como tamaño y eficiencia, dando como resultado una buena opción para el proyecto planteado. En efecto, este ordenador funcionará como un mini servidor web y almacenará información del consumo eléctrico.

A continuación, se señalan algunas características sobresalientes de este dispositivo.

Características técnicas:

- procesador Quad Core Cortex-A7 a 900MHz.
- GPU: VideoCore IV de doble núcleo.
- RAM: 1GB DDR2.

Puertos:

- x USB 2.0.
- 40 pines de extensión GPIO.
- HDMI 1.4.
- Ethernet 10/100.
- Jack de audio y video.
- Interfaz de cámara (CSI).
- Interfaz de Pantalla (DSI).
- Lector de tarjeta Micro SD.



Figura 4.11: Raspberry Pi 2

Fuente: (Anon., s.f.)

4.2.8. Dispositivos PLC

Gracias a la evolución tecnológica, TP-LINK ya desarrolla dispositivos PLC basados en el estándar HomePlug AV, recordando que esta categoría proporciona una transferencia de datos de alta velocidad y gran estabilidad, fue preciso el utilizar el modelo PLC AV500 de TP-link que alcanza hasta los 500 Mbps en una longitud de línea de hasta 300 metros en condiciones óptimas.

La incorporación de estos adaptadores al proyecto, permite extender la red mediante el uso del cableado eléctrico, con la finalidad de transportar la información captada por Arduino hacia el servidor Raspberry Pi, formando así una pequeña red local.



Figura 4.12: PLC AV500.

Fuente: (TP-Link Technologies Co., 2018).

Características de hardware

- Estándares y Protocolos
 - HomePlug AV
 - IEEE802.3, IEEE802.3u, IEEE802.11b/g/n, IEEE1901.
- Interfaz
 - Los equipos de transmisión y recepción contienen cada uno 2 Puertos Ethernet 10/100Mbps.
- Consumo de Energía
 - Máximo: 8.218W (220V/50Hz).
 - Típico: 7.686W (220V/50Hz).
 - En Espera: 4.630W (220V/50Hz).
- Rango de transmisión
 - 300 Metros sobre el circuito eléctrico.

Características de software

- Tecnología de modulación:

- OFDM (PLC).
- Encriptación
 - Seguridad Powerline: 128-bit AES.
 - Seguridad Inalámbrica: WEP, WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA2-PSK.

4.2.9. Pantalla HMI

La pantalla táctil cumple el objetivo primordial de visualizar información del sistema, como datos captados por los sensores e información del cliente, la misma proporciona una interfaz amigable con el usuario.

Se seleccionó la pantalla TFT de 3.2” perteneciente a la empresa NEXTIONS, el cual es compatible con todos los microcontroladores que poseen una comunicación serial UART.



Figura 4.13: Pantalla Táctil Nextion-3.2”

Fuente: (STUDIO, s.f.).

En seguida, se enumeran sus principales características.

- Color: 65K (65536) colores, 16 bits.
- Resolución de 400×240 pixel.
- Pantalla táctil tipo resistivo.

Características electrónicas.

- Voltaje mínimo de 4.75Vdc.
- Voltaje ideal de 5V.
- voltaje máximo 7Vdc.
- Se recomienda utilizar una fuente de corriente continua de 5V, 500mA.
- Posee una ranura para una memoria SD (FAT32), soporta un SD de 32G como máximo.

4.2.10. Shield de acondicionamiento y adquisición de señales

Para la conexión y lectura del conjunto de sensores, se diseña una placa de expansión compatible con arduino mega 2560. Puesto que, los sensores de corriente tienen un terminal de salida tipo plug, se crea una interfaz formada por conectores jacks de 3.5mm que se ajustan perfectamente a dichos dispositivos, de esta manera se garantiza una fácil conexión entre los sensores y la placa de expansión. Además, esta placa de expansión incorpora el circuito de acondicionamiento para las señales provenientes de los sensores de corriente, el cual está formado por amplificadores operacionales configurados como seguidor de tensión. Conjuntamente, se acopla el sensor de voltaje, el módulo RTC (Real Time Clock) y se agrega un puerto de conexión para la pantalla HMI.

Evidentemente, este shield PCB se adapta perfectamente a arduino, permitiendo de esta manera la lectura de los sensores, a través de sus pines de entradas analógicas. También, el diseño permite la colocación de otra tarjeta de expansión sobre ella, de tal forma que puede acoplar múltiples niveles sobre la cubierta de la tarjeta Arduino, dando una mayor funcionalidad. Seguidamente, se muestra en la Figura 4.14 el diseño realizado en el entorno Proteus y su circuito esquemático está en el Anexo 1.

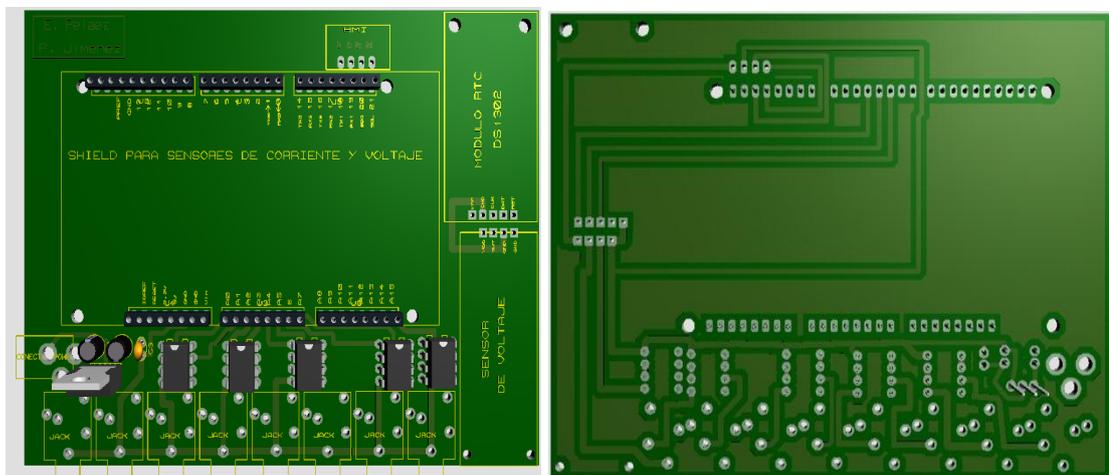


Figura 4.14: Vista previa del diseño PCB.

De la misma forma, se presenta la placa de expansión ya terminada con todos sus elementos, incluyendo la shield Ethernet.



Figura 4.15: Tarjeta de expansión para Arduino.

4.3. Diseño de Software

Se utilizan diferentes lenguajes de programación para el desarrollo de software, los cuales permiten el manejo de datos a conveniencia para el intercambio o transferencia entre los subsistemas, garantizando la adaptación e interconexión entre los módulos o elementos que forman el sistema de monitoreo.

En la programación se define el comportamiento del sistema, se establece la organización de actividades y ejecución de eventos, como también la administración de datos y la creación de una interfaz interactiva para el usuario.

4.3.1. Programa de Arduino

El código de programación está escrito en el entorno IDE de Arduino, en éste se crea un programa que establece la configuración del módulo Ethernet, las rutinas de adquisición de datos, así como también las sentencias de envío de datos a la red PLC.

Al inicio del programa se incluyen las librerías para el módulo Ethernet, RTC y SD. Estas contienen subrutinas que pueden ser llamadas para determinadas acciones dentro del programa. Además, se declaran algunas variables globales para la manipulación de datos, las cuales se inicializan al arrancar el módulo Arduino.

En la función `setup()`, se declaran los parámetros del socket para la configuración del módulo Ethernet, es decir se define el puerto de comunicación y las IPs del cliente y servidor, a estas se les agrega las sentencias de configuración de los pines analógicos, así como también la inicialización de variables y servicios de comunicación serial

(UART, ISP). Inmediatamente se llama a los métodos correspondientes de las librerías para inicializar la comunicación con el módulo Ethernet y establecer conexión de red con el servidor Raspberry Pi. Cabe mencionar que esta función se ejecutará por una sola vez después de haber inicializado el módulo Arduino.

En el bucle `loop()` se fija un procedimiento de adquisición de datos de los sensores, tanto sensores de corriente y de voltaje, para ello se habilitan las entradas analógicas y consecutivamente se ejecutan las sentencias para calcular los consumos eléctricos de cada circuito, dicha información es recopilada en una variable de tipo cadena, la cual es enviada a la pantalla HMI a través del puerto de comunicación serial UART, y retransmitida hacia el servidor web usando el protocolo de comunicación TCP/IP. Estas secuencias se repetirán constantemente cada cierto tiempo.

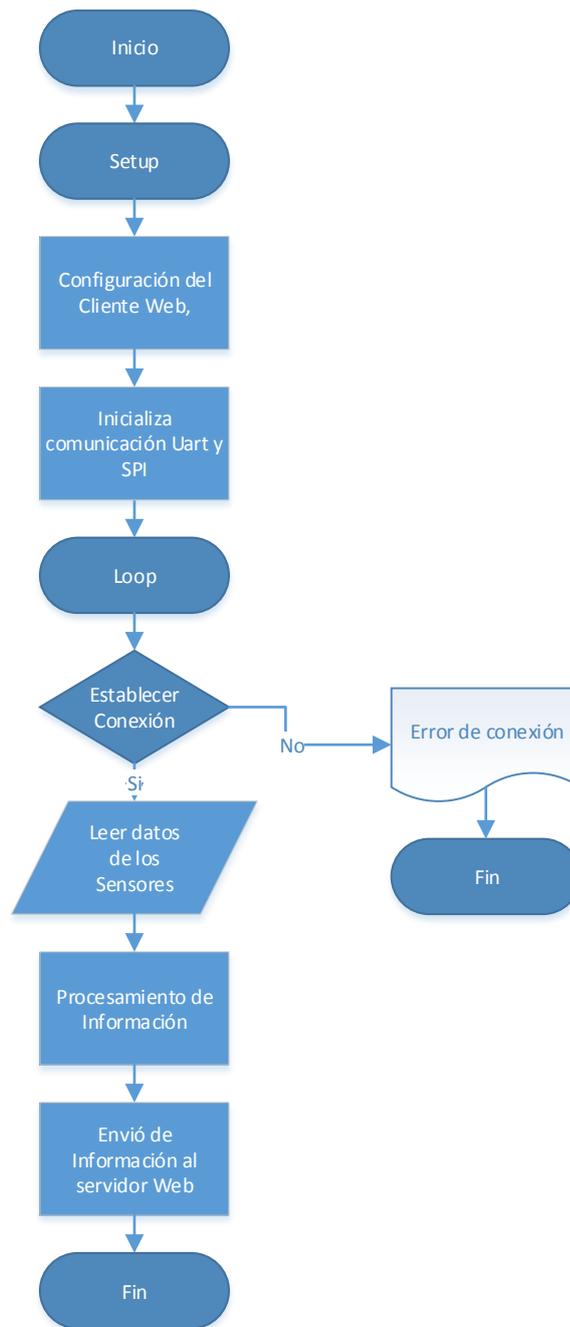


Figura 4.16: Diagrama de flujo de la programación en Arduino.

4.3.2. Base de Datos.

La principal función de la base de datos es garantizar la información, la misma debe ser robusta y segura, para poder administrar o crear cuentas de usuarios con sus respectivas contraseñas, así se podrá asegurar que solo accedan a la información los usuarios que cuenten con los permisos respectivos.

Por tal motivo, el software a utilizar será MySQL, por poseer una versión gratuita con código abierto, para aplicación del tipo no comercial.



Figura 4.17: Logo de MySQL Community Server.

Para lograr la conexión con la base de datos, se necesitarán cuatro parámetros importantes, el nombre del usuario creado en la base de datos, la contraseña respectiva del usuario, la dirección IP del servidor y el respectivo nombre de la base de datos.

```

1 <?php
2 $conexion=new mysqli("localhost", "root", "raspberry", "ConsumoElectrico");
3 if ($conexion){
4     echo "conexion establecida";
5 }
6 else {
7     echo"conexion fallida";
8 }
9 ?>

```

Figura 4.18: Conexión con la base de datos.

Después de haber logrado con éxito la conexión con el servidor, se procederá a enviar los datos captados por los sensores mediante el cliente web, el envío de información será constante mediante el protocolo de comunicación TCP.

La base de datos contendrá 7 tablas, como se podrá observar en la Figura 4.19, las cuales tendrán los parámetros correspondientes a cada uno de los circuitos planteados en el proyecto, la funcionalidad de cada una de ellas es recibir y almacenar información de los sensores, a su vez esta actualizará los estados del consumo de cada circuito eléctrico.

Tabla	Acción	Filas	Tipo	Cotejamiento	Tan
circuito1	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	0	InnoDB	utf8_general_ci	
circuito2	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	0	InnoDB	utf8_general_ci	
circuito3	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	0	InnoDB	utf8_general_ci	
circuito4	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	0	InnoDB	utf8_general_ci	
circuito5	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	0	InnoDB	utf8_general_ci	
circuito6	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	0	InnoDB	utf8_general_ci	
DatosCliente	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	0	InnoDB	utf8_general_ci	
7 tablas	Número de filas	0	InnoDB	utf8_general_ci	2

Figura 4.19: Base de datos con sus respectivas tablas.

A continuación, en la Figura 4.20 se observa la representación del diagrama de flujo para la conexión y envío de información hacia la base de datos.

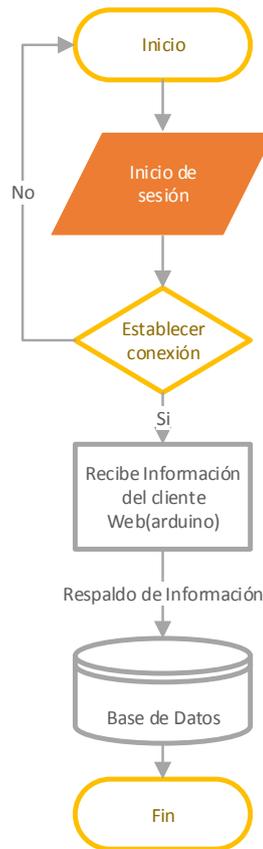


Figura 4.20: Flujograma para la conexión y envío de información.

4.3.3. Servidor web LAMP

LAMP es una palabra compuesto por las iniciales: Linux, Apache, MySQL y PHP. Todo este paquete forma la construcción del servidor, por lo que hace posible la creación y el alojamiento de páginas web.

A continuación se describe el funcionamiento: El sistema operativo Raspbian trabaja en la plataforma de Linux y ayuda a ejecutar el servidor web Apache. Su funcionamiento es en conjunto, se podría decir que Apache envía un código fuente al interprete PHP incluyendo toda la información correspondiente sobre todas las acciones que llegará a realizar el visitante web, permitiendo de tal forma poder tener acceso a la base de datos MySQL (Apache.org, s.f.).

Para el desarrollo de la página Web se utilizaron códigos HTML, CSS con la finalidad de soportar contenidos dinámicos se optó por PHP.

4.3.4. Visualización de información en la pantalla HMI

Para diseñar la interfaz gráfica de usuario (GUI) en la pantalla HMI, se utiliza el software Nextion Editor el cual presenta un entorno grafico de programación bastante sencillo, cuenta con herramientas y controles como botones, campo de textos, barra de progreso, slider, panel de instrumentos, etc., estos a su vez tienen funciones programables que por lo general hacen posible crear cualquier diseño. A continuación en la Figura 4.21 se muestra la interfaz del programa Nextion Editor.

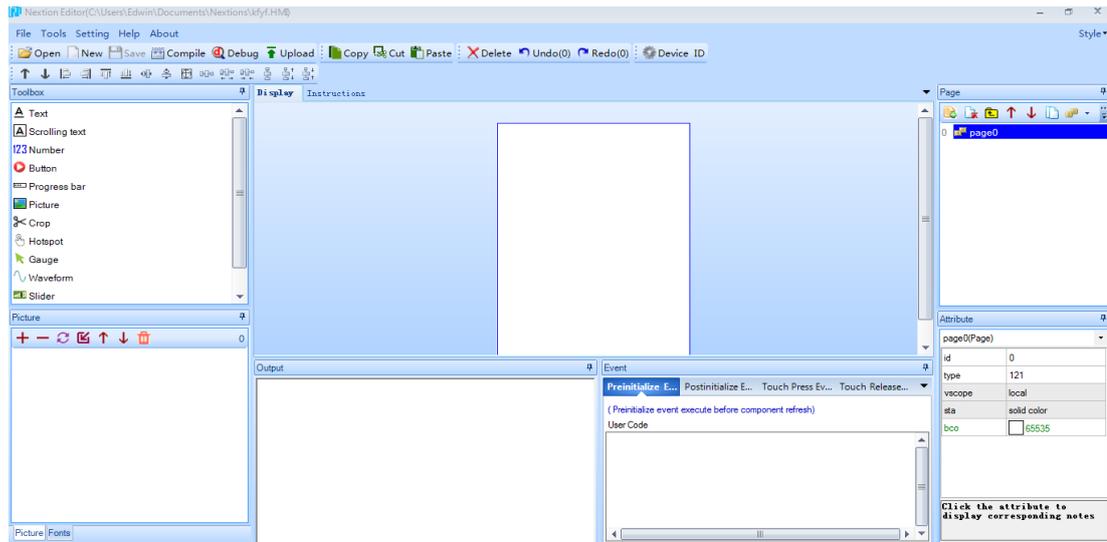


Figura 4.21: Entorno de programación de Nextion Editor.

La aplicación diseñada cuenta con dos presentaciones o páginas de interfaz, la primera posee una ventana de presentación de información del proyecto, además posee un menú de navegación que enlaza a las diferentes páginas dentro de la pantalla HMI, permitiendo la interacción con el operador.

En la segunda página se entrega información obtenida de Arduino, que posibilita y complementa el monitoreo del consumo eléctrico, es decir en esta sesión se mostrarán los parámetros eléctricos como corriente, voltaje y potencia de todos los circuitos en tiempo real.

A continuación se aprecia las dos ventanas de interfaz gráfica.

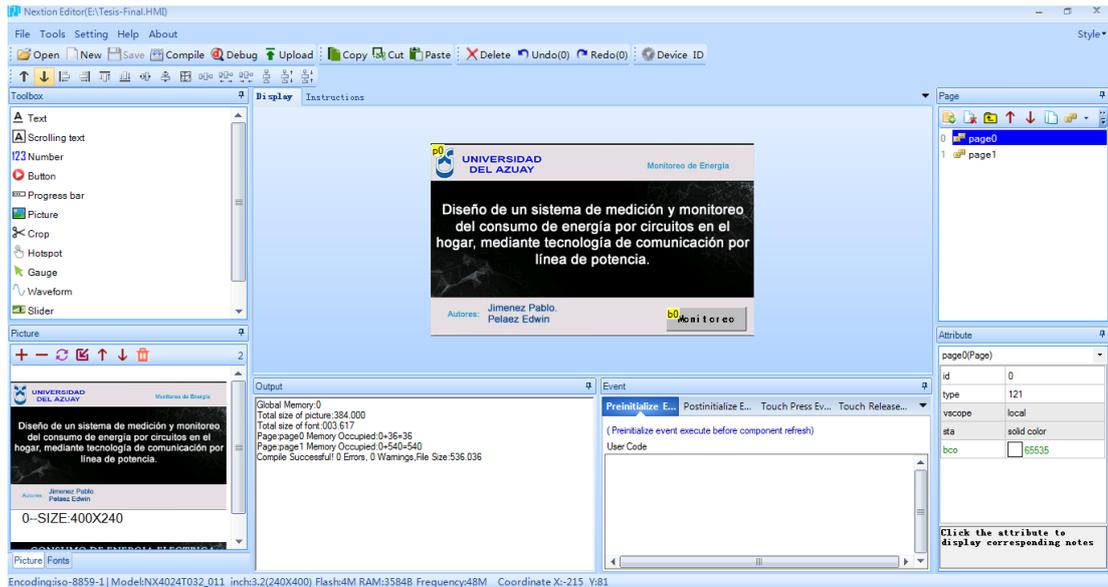


Figura 4.22: Interfaz de presentación.

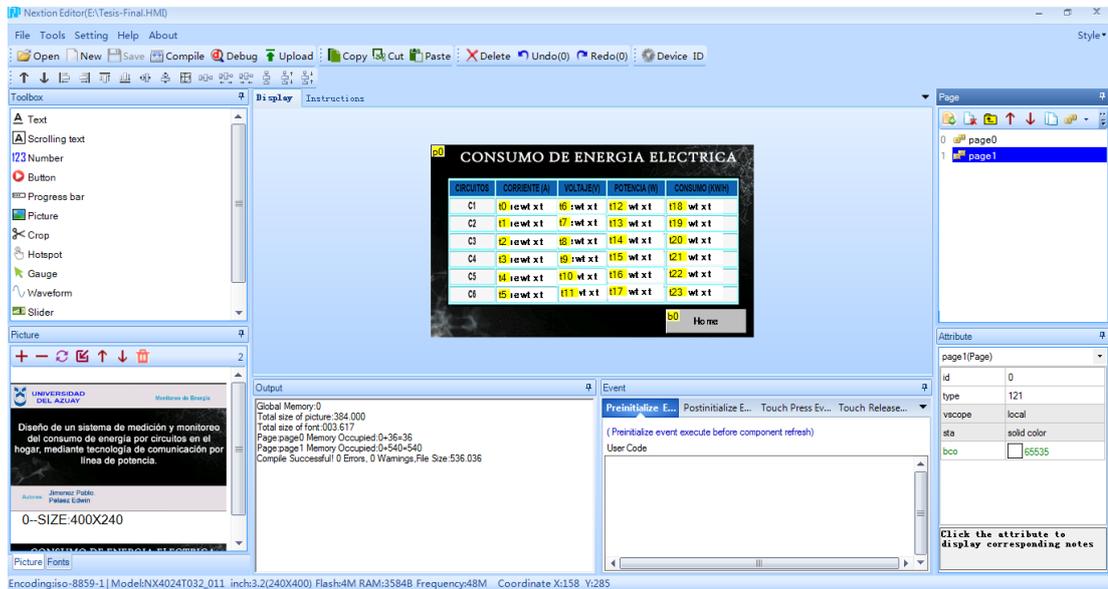


Figura 4.23: Interfaz de monitoreo.

CAPÍTULO V: PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Introducción

Una vez desarrollado el sistema de monitoreo, se procedió con la instalación en una vivienda para su evaluación y funcionamiento. Se efectuaron las pruebas respectivas tanto para el dispositivo de medición y la comunicación con la tecnología PLC. En esta etapa se corrigió y se calibraron sensores para garantizar el correcto funcionamiento de los procesos de la aplicación.

5.2. Funcionamiento de dispositivo final

Para la validación del dispositivo final de medición, se estableció una relación entre un instrumento estándar de medición y el prototipo realizado. Se tomaron diferentes lecturas de corriente y se compararon. En efecto, los resultados fueron muy acertados, de esta forma se determinó el grado de exactitud y confiabilidad. De la misma manera para las lecturas de voltajes se necesitó la calibración de los sensores de tensión, es decir se ajustó hasta obtener como resultado una medida consistente y coherente en comparación con la lectura que arroja el multímetro.

En la Figura 5.1 se muestra la comparación entre el dispositivo de medición desarrollado y el instrumento de medición validado.



Figura 5.1: Corriente obtenida por los sensores y por el multímetro.

En la Figura 5.2 se aprecia la calibración que se realiza mediante el potenciómetro para ajustar acorde a las lecturas obtenidas por el instrumento de medición.



Figura 5.2: Calibración del sensor de voltaje.

5.3. Contrastación del equipo de medición

Las pruebas de medición y contrastación del equipo, se realizaron en el laboratorio de medidores de la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR, la cual cuenta con equipos de tecnología de punta capaces de generar voltajes, corrientes y ángulos de fase programables, en donde se pudo simular cargas y voltajes de diferente magnitud para nuestro equipo de medición.



Figura 5.3: Instalación del equipo para la contrastación de medición en el laboratorio de medidores de la empresa CENTROSUR.

La contrastación del equipo desarrollado con respecto al sistema de pruebas WECC 2350, dio como resultado un error de medición bastante aceptable: con $\pm 5\%$ en cargas menores a los tres amperios y con cargas superiores a este valor se obtuvo un error de $\pm 2\%$, como se muestra en la Tabla 5.1 y 5.2.

Para poder calcular el error medición se necesita un valor patrón, el cual se obtiene del equipo WECO 2350 y un valor medido que se obtiene del sistema desarrollado. Utilizando la siguiente formula:

$$e\% = \frac{V_{medido} - V_{patrón}}{V_{patrón}}$$

Donde:

V_{medido} : Valor medido

$V_{patrón}$: Valor patrón

Tabla 5.1: Error de medición de corriente para diferentes muestras.

Corriente medida	Corriente patrón	% error
0,9399	0,9994	-5,95357214
0,9512	1,0011	-5,09490509
1,9193	2,0019	-4,12608022
2,8954	2,9925	-3,24477861
4,8395	4,9757	-2,73730329
4,9337	5,0175	-1,67015446
6,0114	5,9861	0,42432342
8,0509	8,0092	0,52065125
8,0726	7,9824	1,12998597
9,1343	8,9965	1,53170677
10,0972	9,9777	1,19767081

Tabla 5.2: Error de medición de voltaje para diferentes muestras.

Voltaje medido	Voltaje patrón	% error
120,1	120,8085	-0,58646536
119,8	120	-0,16666667
119,7	120	-0,25
120,21	120,8085	-0,49541216
119,6	120	-0,33333333
120,2	120,8085	-0,50368972
119,8	120	-0,16666667
119,8	119,9	-0,08340284
119,8	120	-0,16666667
118,78	119,1915	-0,34524274
119,8	120	-0,16666667

En la Figura 5.4 se presenta la interfaz de programación del sistema de pruebas WECO 2350 para la simulación de parámetros eléctricos, y en la Figura 5.5 se muestran los parámetros medidos por nuestro equipo.

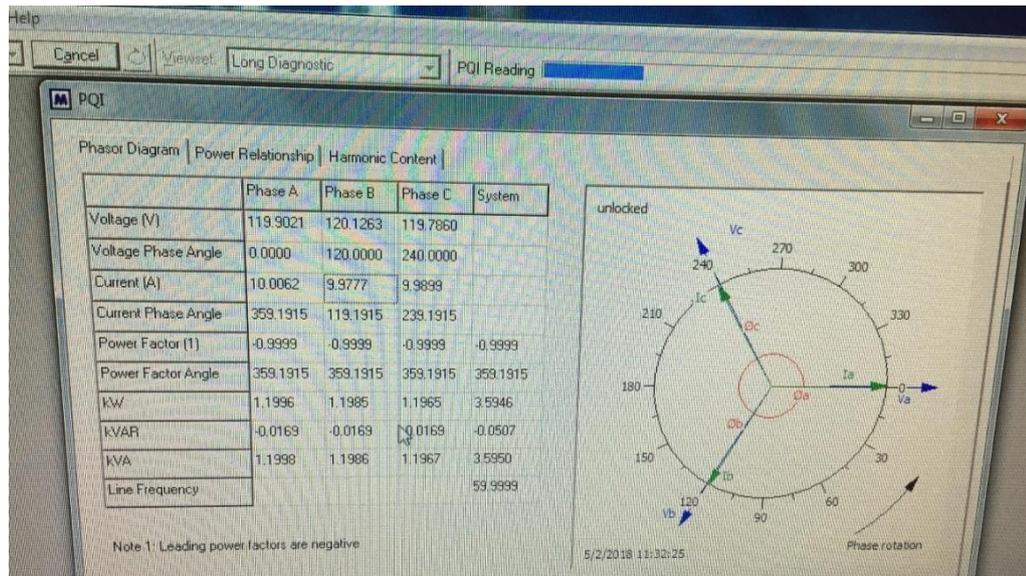


Figura 5.4: Parámetros eléctricos programados en el medidor WECO 2350 de la empresa.

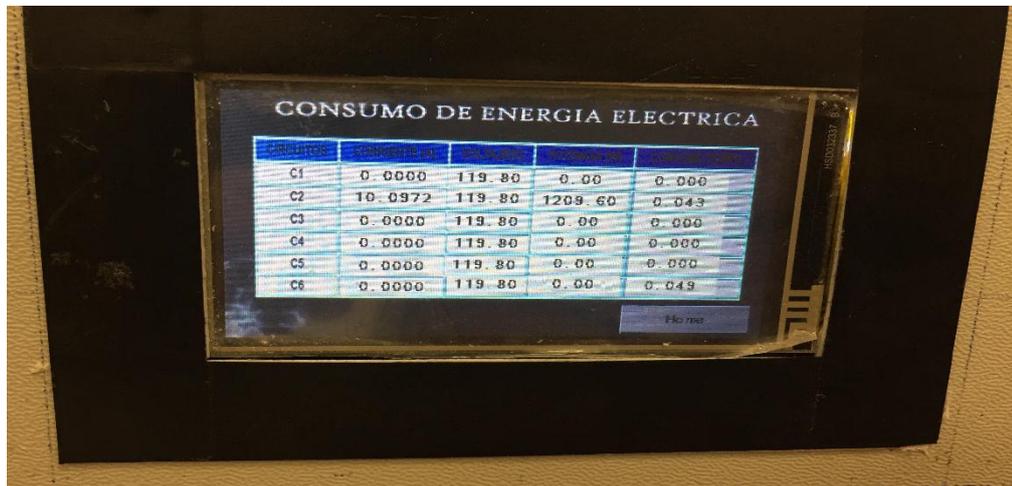


Figura 5.5: Parámetros eléctricos obtenidos por el equipo de medición.

5.4. Pruebas de transmisión

Las pruebas realizadas en el proyecto fueron exitosas, logrando transmitir de forma ideal el consumo eléctrico de cada circuito existente en el hogar, se logró transmitir por la red eléctrica con la ayuda de los dispositivos PLC, el medio de comunicación fue el cableado eléctrico o acometida eléctrica como se puede observar en la Figura 5.6, el PLC receptor se encuentra colocado en la caja del medidor, mientras que el transmisor se halla cerca de la caja de breakers situado dentro de la residencia, a una distancia de 70m aproximadamente.



Figura 5.6: Distancia entre los módulos PLC transmisor y receptor.

5.5. Interfaz de monitoreo

La interfaz para el usuario se realizó en una pantalla HMI, la cual muestra lecturas en tiempo real tanto de corriente, voltaje, potencia y consumo de energía eléctrica. Como se muestra en la Figura 5.7. Además en el lado del servidor se cuenta con una página web que presenta las siguientes funcionalidades tanto de monitoreo en tiempo real; así como también una ventana de consulta de información del consumo eléctrico mensual.

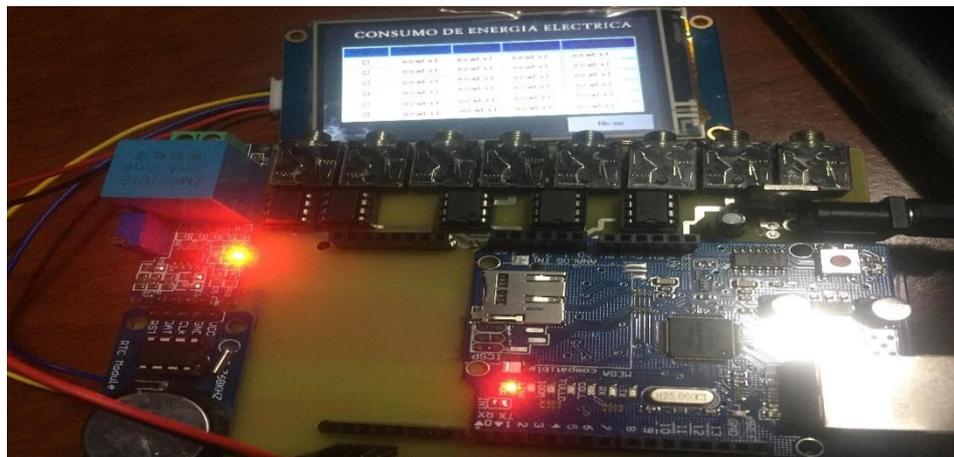


Figura 5.7: Visualización de datos en la pantalla HMI.

El diseño Web contiene tres páginas de navegación, la primera muestra los datos de presentación sobre el proyecto de tesis, con un menú con tres botones: Home, Monitoreo de Energía y Consultar BD que permite direccionar a la siguientes páginas como se podrá observar en la Figura 5.8.

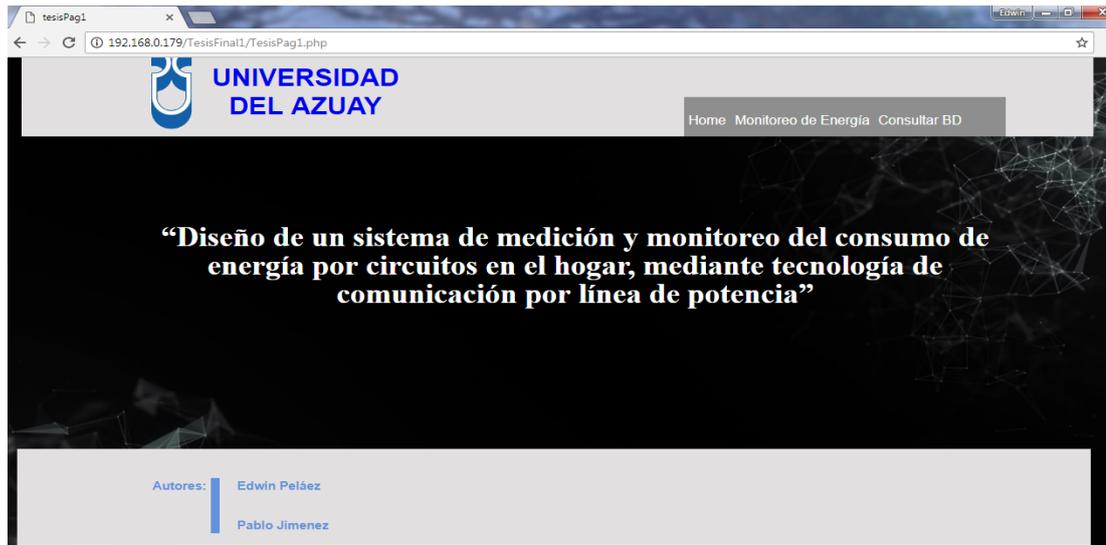


Figura 5.8: Página web principal.

Al dar un clic sobre la opción Monitoreo de energía. Automáticamente se dirigirá a ver el consumo eléctrico en tiempo real, como se podrá observar en la Figura 5.9.



Figura 5.9: Monitoreo de consumo eléctrico.

La opción Consulta BD lleva a otra página la cual contiene dos opciones, la primera es ingresar mediante su usuario y contraseña, y la segunda es crear un usuario y contraseña si se lo requiriere.



Figura 5.10: Interfaz de inicio de sesión.

Después de haber iniciado sesión con éxito, enlaza a una siguiente pantalla en donde se podrá consultar el contenido de la base de datos y descargar la información correspondiente al consumo de energía eléctrica.

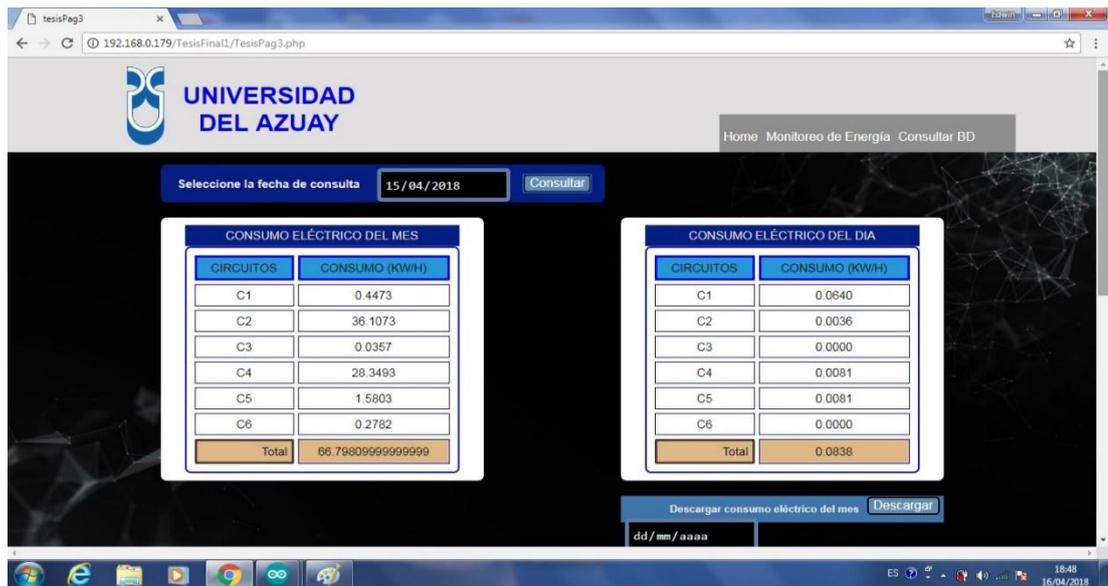


Figura 5.11: Interfaz de consulta de base de datos.

Por ultimo está el botón de descarga, que al dar clic, entrega un archivo en formato PDF del reporte de consumo eléctrico del mes seleccionado. Como se muestra en la Figura 5.12.

REPORTE DEL CONSUMO ELECTRICO Fecha: 15-03-2018

CLIENTE: pablo jimenez **CEDULA:** 0123985956
DIRECCION: 12 de octubre y autopista
N. MEDIDOR: 0123548455 **MES DE CONSUMO:** 2018/Febrero

FECHA	CIRCUITO 1	CIRCUITO 2	CIRCUITO 3	CIRCUITO 4	CIRCUITO 5	CIRCUITO 6
2018-02-1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2018-02-11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 5.12: Reporte del consumo eléctrico.

CONCLUSIONES

- Se logró investigar sobre el protocolo de comunicación PLC y todo sobre su avance tecnológico, descrito en el estado del arte, además se determinó que el prototipo planteado cumple con la seguridad de encriptación para el envío del consumo de energía eléctrica.
- Se revisaron y analizaron distintos sensores tanto de voltaje y corriente con el fin de validar o determinar el componente apropiado, considerando las características y mecanismos de funcionamiento aptos para lograr implementar el proyecto.
- Se logró diseñar y construir el circuito de medición para el consumo eléctrico detallado dentro del hogar, el hardware fue diseñado de manera que cumpla con los objetivos planteados en el proyecto, mientras que la parte del software es sumamente fácil de entender y amigable con el usuario, el medio de comunicación PLC fue escogido de forma adecuada, puesto que se logra con éxito el envío del consumo detallado por la red eléctrica, también se obtiene un prototipo sumamente fácil de instalar, además que el tamaño de la tarjeta de interfaz es muy pequeña.
- En pruebas ya descritas anteriormente se demuestra que la red establecida funciona de forma estable y alcanza el propósito de transmitir información a través de la red eléctrica entre los bordes de la red formada por los adaptadores PLCs, utilizando los protocolos de comunicación PLC y TCP/IP.
- Se desarrolló la base de datos con el fin de almacenar información con respecto al consumo energético por circuitos, y referente a la información del usuario, además de la creación de la página web para la visualización de información de forma remota.
- La funcionalidad del sistema ha sido verificada en las pruebas de campo y justificada con evidencia numérica fotográfica presentadas en el capítulo 5. El sistema de monitoreo basado en la tecnología PLC es una solución atractiva y combinado con otras tecnologías se dio solución a los objetivos planteados como la comunicación entre los dispositivos de medición y servidor.

RECOMENDACIONES

- Al analizar el comportamiento de los módulos PLCs se recomienda distancias no superiores a 300m, cabe recalcar que para lograr una buena comunicación y evitar el desenganche de los dispositivos PLC es preciso realizar una inspección de la instalación eléctrica previa al montaje de la red en el domicilio.
- Para una interactividad con el usuario se recomienda utilizar Java Script, para volver más dinámica la página web, permitiendo lograr que la página se actualice en un segundo plano para lograr mayor fluidez.
- Para respaldar información y así evitar pérdidas, es recomendable utilizar una memoria SD en caso de que existiera algún problema en el sistema.

REFERENCIAS

Ray, P. K. y otros, April 2011. Broadband Powerline Communication an Indian. *Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2011 IEEE International Symposium on*, pp. 364-369.

Sablza, M. m., Borre, J. D. & Martinez Santos, J. C., 2014. Design and Construction of a Power Meter to Optimize Usage of the Electric Power. *IEEE*.

Adobe Dreamweaver CC, s.f. *Adobe Dreamweaver*. [En línea]
Available at: www.adobe.com/la/products/dreamweaver.html
[Último acceso: 31 01 2018].

Alessandro, S., Tonello, A. M., Monacchi, A. & Elmenreich, W., 2014. Home Energy Management Systems: Design. *IEEE*, pp. 805-812.

Anon., 2014. *Shenzhen LC Technology Co., Ltd*. [En línea]
Available at:
http://www.chinalctech.com/index.php? m=mod_product& a=view&p_id=716
[Último acceso: 22 enero 2018].

Anon., s.f. *Arduino*. [En línea]
Available at: https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3_Front.jpg
[Último acceso: 22 Enero 2018].

Anon., s.f. *Arduino*. [En línea]
Available at:
https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoEthernetShield_R3_Front.jpg

Anon., s.f. *Raspberry Shop*. [En línea]
Available at: <https://www.raspberrystore.com>
[Último acceso: 28 01 2018].

Apache.org, s.f. *Apache*. [En línea]
Available at: www.apache.org
[Último acceso: 31 01 2018].

Arconel, 2018. *Pliego tarifario para las empresas electricas de distribución*. [En línea]
Available at: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>
[Último acceso: 23 04 2018].

Baba, M. F., 2012. Smart grid with ADSL connection for solving peak blackouts in West Bank. *Renewable Energies and Vehicular Technology (REVET), 2012 First International Conference on*, pp. 270-273.

Benjumea Mesa, M. S., 2009. *PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DEL SISTEMA "LED" PARA LA ILUMINACION PÚBLICA EN ANTIOQUIA*., Medellín: s.n.

Braga, M. F. y otros, 2014 Diciembre. 60W incandescent lamp alternatives found in Brazilian market. *In Industry Applications (INDUSCON), 2014 11th IEEE/IAS International Conference on*, pp. 1-8.

- Calle, J. E., Gutiérrez, J. J. & Orozco, Á. Á., 2004. MEDICIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS UTILIZANDO SEÑALES DIGITALIZADAS. *Scientia et technica*, 1(24), pp. 37-41.
- Cano, C. y otros, 2016. State of the art in power line communications: From the applications to the medium. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(7), pp. 1935-1952.
- Castro Guaman, M. P. & Posligua Murillo, N. C., 2015 Marzo. *DISEÑO DE ILUMINACIÓN CON LUMINARIAS TIPO LED BASADO EN EL CONCEPTO EFICIENTE Y CONFORT VISUAL, IMPLEMENTACION DE ESTRUCTURAS PARA PRUEBAS.*, Guayaquil: s.n.
- CONELEC, s.f. *Plan maestro de electrificación 2012-2021*. [En línea]
Available at: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec>
[Último acceso: 4 09 2017].
- Deshpande, R. & Raviprakash, M. S., 2015. *Technologies and Future - A Comprehensive Literature Scan*. Pune, s.n., pp. 607-611.
- Dostert, K., 1997. Telecommunications over the Power Distribution Grid - Possibilities and Limitation. *IIR-Powerline*, 6(97).
- E. F. Livgard , 2012. Electricity customers' attitudes to smart metering. Experiences from the Norwegian market. *IEEE*, pp. 690-694.
- García Palancar, F. M., 2005. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA PLC. *Antena de Telecomunicación*, pp. 20-23.
- Garrab, A., Bouallegue, A. & Abdallah, F. B., 2012. A New AMR Approach for Energy Saving in Smart Grids Using Smart Meter and Partial Power Line Communication. *IEEE*, pp. 263-269.
- Hossain, E., Han, Z. & Poor, H. V. edits., 2012. *Smart grid communications and networking*. s.l.:Cambridge University Press.
- INEC, I. n. d. e. y. c., 2011. *Fascículo Nacional*. [En línea]
Available at: <http://www.inec.gob.ec/>
- Khalil, K., 2015. *Contributions to indoor broadband power-line communications : channel modeling and data rate optimization*, s.l.: s.n.
- Latchman, H. & Yonge, L., 2003. Power line local area networking. *IEEE Communications Magazine*, pp. 32-33.
- Martínez Ramos, C., 2009. Bases tecnológicas de la Telemedicina. (I) Redes de telecomunicación. PLC. Fibra Óptica. Satélites.. *Reduca (Recursos Educativos)*, pp. 86-88.
- Medina, R., 2011. Plan de gestión del consumo residencial para la Empresa Electrica Regional Centro Sur C.A.. *IEEE*, pp. 15-44.
- Ministerio de Electricidad y Energia Renovable, s.f. *Plan de Normalizacion y Etiquetado*. [En línea]
Available at: <http://www.energia.gob.ec>
[Último acceso: 9 6 2017].
- Mojada, R. & Eftekhari, S. M., 2012. *A practical smart metering using combination of power line communication (PLC)*. s.l., IEEE, pp. 1-5.

Möller, Dietmar P.F. ; Vakilzadian, Hamid, 2014. Ubiquitous Networks: Power Line Communication and Internet of Things in Smart Home Environments. *IEEE*, pp. 596-601.

Murota, K. & Hirade, K., 1981. GMSK modulation for digital mobile radio telephony. *IEEE Transactions on communications*, 29(7), pp. 1044-1050.

Mysql community Server, s.f. *MySQL*. [En línea]

Available at: <https://www.mysql.com/>

[Último acceso: 30 01 2018].

Peña Paredes, J. I. & Trujillo Gavilanes, A. P., 2013. *MONITORIZACIÓN, ANÁLISIS Y DIFUSIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO ELÉCTRICO DE MODELO DE VIVIENDA DEL SECTOR RESIDENCIAL DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA*, Chimborazo: s.n.

Peralta S, A., 2010. BPL (Broadband Power Line): una alternativa para brindar el servicio de internet de alta velocidad. *INGENIUS*, pp. 25-34.

Rafiei, M. & Eftekhari, S., 2013. A practical smart metering using combination of power line communication (PLC) and WiFi protocols.. *IEEE*.

Serna, V. H., 2011. Comunicaciones mediante la Red Eléctrica-PLC. *Comunicaciones: Maxim FRANCE Smart Grid*, Issue 676, pp. 62-65.

STUDIO, I., s.f. *Nextion*. [En línea]

Available at: <https://nextion.itead.cc/>

Tanenbaum, A. S., 2003. *Redes de computadoras*. Mexico: Pearson Educación.

Tiru, B., 2010. *STUDY AND IMPLEMENTATION OF POWER LINE*, ASSAM, INDIA: s.n.

TP-Link Technologies Co., L., 2018. *TP-Link*. [En línea]

Available at: <http://www.tp-link.com>

[Último acceso: 23 01 2018].

Verbatim, s.f. *Verbatim*. [En línea]

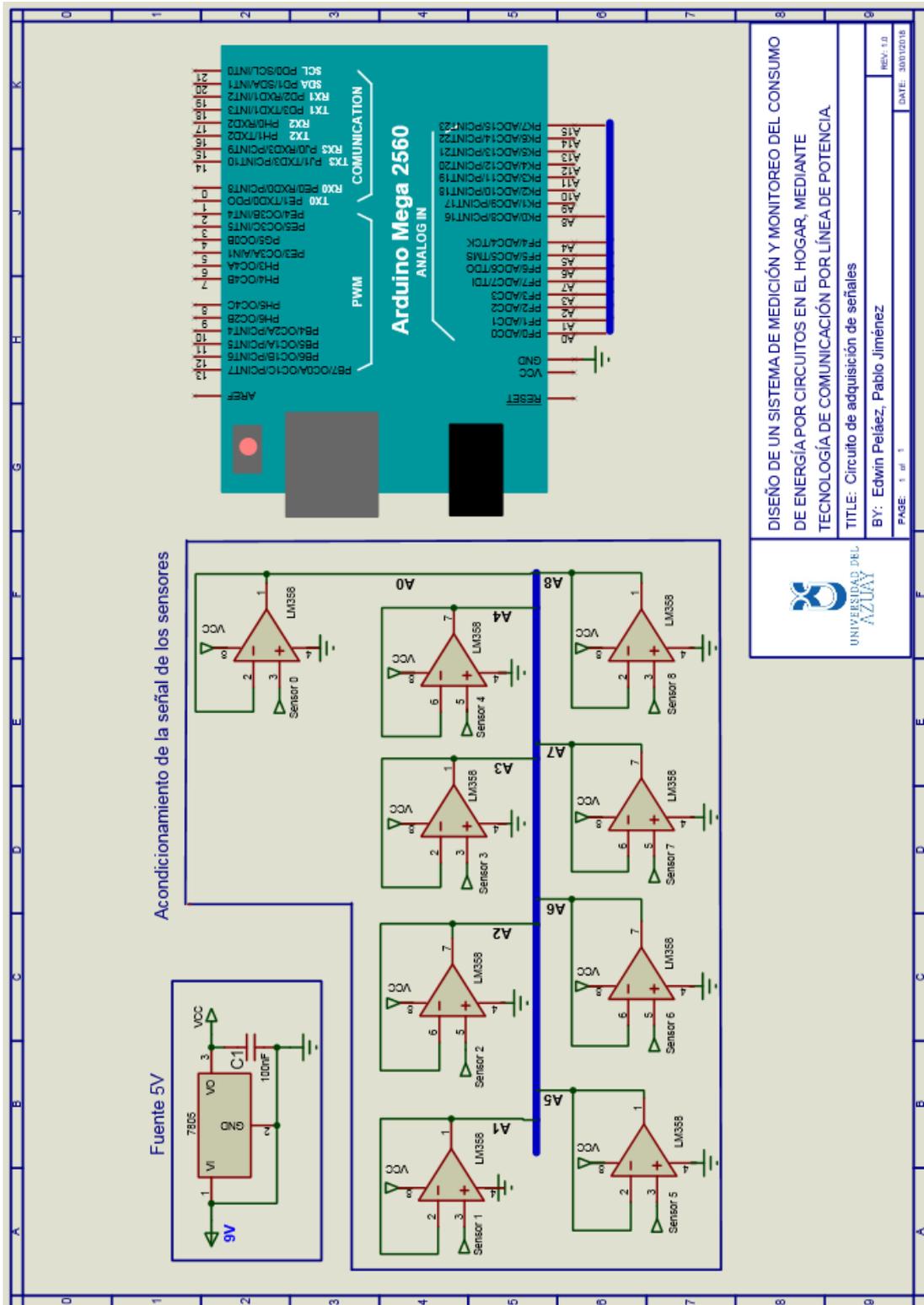
Available at: <http://www.verbatim.es/es/article/what-is-an-led/>

[Último acceso: 23 8 2017].

Xun Lai, Y., Min Huang, Y. & Chandra Mukhopadhyay, S., 2012. Interconnecting Communication for Recognition and Automation services on Home Grid. *IEEE*.

ANEXOS

ANEXO 1: Circuito de adquisición y acondicionamiento de la señal.



ANEXO 2: Dispositivo final instalado en la caja de breakers.



ANEXO 3: Equipos del sistema de medición y monitoreo.



