



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA INTELIGENTE PARA USO
DOMÉSTICO”**

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES.

AUTOR: JOSÉ DAVID CHAMBA LOAIZA

DIRECTOR: ING. DIEGO VINICIO ORELLANA VILLAVICENCIO

1859
LOJA-ECUADOR

2014

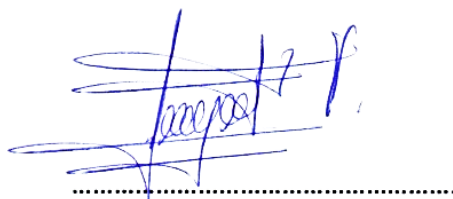
CERTIFICACIÓN

Señor Ingeniero
Diego Vinicio Orellana Villavicencio
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, cuyo tema versa: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA INTELIGENTE PARA USO DOMÉSTICO”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, realizado por el señor egresado: José David Chamba Loaiza, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Marzo del 2014.



Ing. Diego Vinicio Orellana V.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TESIS

AUTORÍA

Yo **José David Chama Loaiza**, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: José David Chamba Loaiza.

Firma:.....


Cédula: 1105066607

Fecha: 2 de Abril de 2014

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, José David Chamba Loaiza, declaro ser autor de la tesis titulada: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA INTELIGENTE PARA USO DOMÉSTICO”**, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los seis días del mes de Mayo del dos mil catorce, firma el autor.

Firma:.....

Autor: José David Chamba Loaiza

Cédula: 1105066607

Dirección: Loja, Av. Tnte. Hugo Ortiz 23-69 y Cbo. Chuquimarca.

Correo Electrónico: david.0189.chamba@gmail.com

Teléfono: 0991693382

DAOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Diego Vinicio Orellana Villavicencio.

Tribunal de Grado: Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco.

Ing. Juan Gabriel Ochoa Aldean. Mg.Sc.

Ing. Marcelo Fernando Valdiviezo Condolo.

DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis va dedicado a Dios, a la Virgen del Cisne, a mis padres, a mis hermanos y demás familiares. Así mismo a mis amigos y maestros que han sido un ejemplo y apoyo para culminar una meta más de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a la Virgen del Cisne por haberme dado la vida, salud e inteligencia necesaria para terminar mi carrera. De igual manera a mis padres por su confianza, esfuerzo y apoyo incondicional, a mis hermanos y amigos que han sido apoyo para la culminación de mi carrera universitaria.

A la Universidad Nacional de Loja y a los docentes por sus conocimientos impartidos a lo largo de la etapa universitaria, especialmente a los docentes que hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de tesis.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
TEMA	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
OBJETIVOS	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPITULO I	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1. REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES (SMART GRID)	1
1.1.1. CAPAS DE UNA RED INTELIGENTE	3
1.2. SISTEMAS DE MEDICIÓN AVANZADA	4
1.2.1. SISTEMA AMR (AUTOMATIC METER READING)	4
1.2.2. SISTEMA AMM (ADVANCED METERING MANAGEMENT)	4
1.2.3. SISTEMA AMI (ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE)	4
1.3. MEDIDORES ELÉCTRICOS	6
1.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA	6
1.3.2. CONTADORES INTELIGENTES	8
1.3.2.1. VENTAJAS PARA LA EMPRESA PROVEEDORA	9
1.3.2.2. VENTAJAS PARA EL USUARIO	9
1.4. SENSORES DE CORRIENTE ALTERNA	10
1.4.1. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (TC)	11
1.4.2. BOBINA ROGOWSKI	11
1.4.3. SENSOR DE EFECTO HALL	12
1.4.4. SENSOR DE SHUNT	13
1.4.5. COMPARACIÓN DE LOS SENSORES DE CORRIENTE.	14
1.5. SENSORES DE TENSIÓN	14

1.6.	CÁLCULO DE POTENCIA Y ENERGÍA.	15
1.6.1.	POTENCIA INSTANTÁNEA	15
1.6.2.	POTENCIA REAL O ACTIVA (P)	16
1.6.3.	TENSIÓN EFICAZ O VALOR CUADRÁTICO MEDIO (VRMS)	17
1.6.4.	CORRIENTE EFICAZ O VALOR CUADRÁTICO MEDIO (IRMS)	17
1.6.5.	POTENCIA REACTIVA O POTENCIA IMAGINARIA (Q)	17
1.6.6.	POTENCIA APARENTE (S)	18
1.6.7.	FACTOR DE POTENCIA	19
1.6.8	ENERGÍA ELÉCTRICA	20
1.7	INFLUENCIA DEL TIPO DE CARGAS.	21
1.7.1	CARGAS RESISTIVAS.	21
1.7.2	CARGAS MIXTAS (PARCIALMENTE REACTIVAS)	22
1.7.3	CARGAS NO LINEALES	22
1.8	DIRECCIÓN DEL FLUJO DE LA POTENCIA	23
1.9	PLATAFORMA ARDUINO	24
1.9.1	ENTORNO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO	25
1.9.2	LIBRERÍAS	26
1.10	ETHERNET	27
1.10.1	ESTRUCTURA DE LA TRAMA ETHERNET	29
1.11	PROTOCOLOS DE RED	30
1.11.1	PROTOCOLO HTTP	33
CAPITULO II		36
2	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE	36
2.1	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	37
2.1.1	SENSOR DE TENSION.	37
2.1.2	Yhdc TRANSFORMADOR DE CORRIENTE: SCT-013-000	38
2.1.2.1	RESISTENCIA DE CARGA	39
2.1.2.2	AISLAMIENTO	39
2.1.2.3	SEGURIDAD	39
2.1.2.4	RANGO ÚTIL	40
2.1.2.5	EFECTO DE LA RESISTENCIA DE CARGA	40
2.1.2.6	ERROR DE FASE	40
2.1.3	RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC)	41
2.2	ADECUACIÓN DE LA SEÑAL	42

2.2.1	MEDICIÓN DE VOLTAJE MEDIANTE EL TRANSFORMADOR DE TENSIÓN	43
2.2.2	MEDICIÓN DE CORRIENTE MEDIANTE EL SENSOR YHDC SCT-013-000.	45
2.3	PROCESAMIENTO DE DATOS	47
2.3.1	ARDUINO ATMEGA 2560 R3	48
2.4	PRESENTACIÓN DE LOS DATOS EN LA PANTALLA TFT	50
2.4.1	TFT-LCD 3.2" 240*400	51
2.4.1.1	SHIELD TFT-LCD	51
2.5	COMUNICACIÓN A INTERNET MEDIANTE EL SHIELD ETHERNET DE ARDUINO	52
2.5.1	APLICACIONES	53
2.5.2	CARACTERÍSTICAS.....	53
CAPITULO III	55
3	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE	55
3.1	CONVERSIÓN ANÁLOGA-DIGITAL	56
3.1.1	CONSIDERACIONES PARA LA FRECUENCIA DE MUESTREO	56
3.2	FILTRO DIGITAL PARA ELIMINAR EL NIVEL DE DC	57
3.2.1	FILTRO DIGITAL PASA ALTO (HPF).....	57
3.3	CORRECCIÓN DE FASE	59
3.3.1	DEFASE PRODUCIDO POR LOS SENSORES	60
3.3.2	DEFASE PRODUCIDO POR EL RETARDO DE MUESTREO	61
3.3.3	MÉTODO EMPLEADO PARA LA CORRECCIÓN DE FASE.....	62
3.4	LECTURA AUTOMÁTICA DEL VOLTAJE DE REFERENCIA.....	64
3.5	CALIBRACIÓN DE SENSORES.....	64
3.5.1	CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE TENSIÓN	66
3.5.2	CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE CORRIENTE	68
3.6	CÁLCULO DE LAS VARIABLES DE ENERGÍA ELÉCTRICA	70
3.7	HISTORIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA	73
3.8	VISUALIZACIÓN EN LA PANTALLA LCD-TFT	75
3.9	TRANSMISIÓN DE DATOS A INTERNET	77
3.9.1	CONFIGURACIÓN DE LA RED EN ARDUINO	77
3.9.2	CREACIÓN DE UNA INTERFAZ EN EMONCMS.ORG PARA EL REGISTRO DE DATOS	80
CAPITULO IV	88
4	PRUEBAS Y RESULTADOS	88
4.1	PRUEBAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE.....	88
4.2	PRUEBAS DE LA MEDICIÓN DE POTENCIA ACTIVA.....	90

4.3	PRUEBAS DE LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	91
4.4	PRUEBAS DE LA TRANSMISIÓN Y REGISTRO DE DATOS.....	94
CAPITULO V.....		99
5	ANÁLISIS DEL COSTO Y COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN IMPLEMENTADO CON UN MEDIDOR COMERCIAL.....	99
5.1	ANÁLISIS DEL COSTO DEL DISPOSITIVO IMPLEMENTADO	99
5.2	COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN IMPLEMENTADO CON UN MEDIDOR COMERCIAL	100
5.3	VENTAJAS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO	101
5.4	DESVENTAJAS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO	102
CAPITULO VI.....		104
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
6.1	CONCLUSIONES	104
6.2	RECOMENDACIONES	105
ANEXOS.....		110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del sistema de redes inteligentes.....	5
Figura 2. Relación entre potencia activa, aparente y reactiva.....	19
Figura 3. Tensión, corriente y potencia en una carga resistiva..	21
Figura 4. Tensión, corriente y potencia en una carga inductiva.....	22
Figura 5. Señales de tensión (rojo), y corriente (azul) producidas por una carga no lineal.	23
Figura 6. Tensión, corriente y potencia cuando se invierten o cuando se genera energía	24
Figura 7. Relación de ethernet en las capas del modelo OSI. Fuente: [21].	28
Figura 8. Estructura de la trama ethernet.	29
Figura 9. Diagrama de bloques del hardware.	36
Figura 10. Transformador de voltaje.....	37
Figura 11. Yhdc transformador de corriente: sct-013-000.....	38
Figura 12. Circuito integrado del RTC. DS1307.....	41
Figura 13. Circuito empleado para el reloj en tiempo real.....	42
Figura 14. Circuito empleado para el acondicionamiento de la señal de voltaje.	45
Figura 15. Acondicionamiento de la señal de tensión de salida.....	45
Figura 16. Circuito empleado para el acondicionamiento de la señal de corriente.	47
Figura 17. Acondicionamiento de la señal de corriente de 0 – 5V.....	47
Figura 18. Placa del Arduino Mega 2560 R3.	49
Figura 19. Pantalla Táctil “TFT-LCD”.....	51
Figura 20. Circuito Integrado Wiznet W5100.....	54
Figura 21. Shield ethernet para arduino.	54
Figura 22. Diagrama de bloques del software implementado para el sistema de medición de energía eléctrica.	55
Figura 23. Filtro RC Pasa Alto.....	57
Figura 24. Desfase entre corriente y el voltaje producido por los sensores.	60
Figura 25. Diagrama de interpolación o extrapolación de una señal sinusoidal.....	62
Figura 26. Diagrama de flujo para el cálculo de energía eléctrica.	73
Figura 27 Diagrama de flujo para presentar el historial de energía eléctrica.....	74
Figura 28. Diagrama de flujo para la visualización de las variables de energía eléctrica. Fuent 76	
Figura 29. Diagrama de flujo para la comunicación a internet.	79
Figura 30. Entorno de las entradas de Emoncms	81
Figura 31. Entorno del campo “Feed” de emoncms	82
Figura 32. Gráfica para monitorear corriente y voltaje en tiempo real.....	84
Figura 33. Gráfica que permite obtener un valor medio de las variables de corriente y tensión en un periodo de tiempo determinado.....	84
Figura 34. Gráfica para el monitoreo de potencia activa y aparente.....	85
Figura 35. Gráfica para monitorear el factor de potencia.	85
Figura 36. Gráfica para mostrar los datos de energía consumida.	86
Figura 37. Interfaz para obtener un informe del costo y consumo de energía.	87
Figura 38. Medición de corriente y voltaje con el prototipo y los instrumentos de medición.....	90
Figura 39. Medidor de energía de la empresa eléctrica para la realización de pruebas	91
Figura 40. Historial de energía consumida desde 7 de marzo del 2014 hasta el 14 de marzo del 2014.	93

Figura 41. Medida de energía mensual tomada después de una semana	93
Figura 42. Registro de datos de corriente durante un día.	94
Figura 43. Registro de datos de voltaje durante un día.....	95
Figura 44. Registro de datos de la potencia activa durante un día.	95
Figura 45. Registro de datos de la potencia aparente en un periodo de 24 horas.	96
Figura 46. Comparación de los datos de potencia activa aparente y factor de potencia durante un día.	96
Figura 47. Diagrama de barras correspondiente al consumo de energía eléctrica diario.	97
Figura 48. Diagrama de barras con el correspondiente informe de energía consumida y costo diario.	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de los sensores de corriente.....	14
Tabla 2. Protocolos de red.	31
Tabla 3. Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 R3.	48
Tabla 4. Especificaciones técnicas de la TFT-LCD.	51
Tabla 5. Comparación de las medidas de tensión realizadas.....	89
Tabla 6. Comparación de las medidas de corriente realizadas.	89
Tabla 7. Comparación de la medición de potencia activa.	91
Tabla 8. Comparación de la medición de energía eléctrica.	92
Tabla 9. Presupuesto del sistema de medición de energía eléctrica implementado.	99
Tabla 10. Comparación del sistema de medición implementado con medidores inteligentes comerciales.....	100

TEMA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA INTELIGENTE PARA USO DOMÉSTICO”.**

RESUMEN

El presente proyecto de investigación está enfocado al diseño de hardware y software para la medición de las variables eléctricas que permitan tener conocimiento de la energía eléctrica consumida de una vivienda en tiempo real. El hardware está dividido en cinco etapas principales; la primera etapa consta de la adquisición de las señales con los sensores de tensión y corriente, la segunda consiste en la adecuación de estas señales, para lo cual se emplea un circuito electrónico, la tercera parte se basa en la placa “Arduino Mega 2560 R3” empleada para el procesamiento digital de las señales obtenidas, la cuarta consta de la visualización de los parámetros medidos mediante un Display de Cristal Líquido-Táctil (TFT-LCD), finalmente se realiza la comunicación a internet mediante la tecnología ethernet para lo cual se emplea una placa integrada basada en el chip ethernet “Wiznet W5100”.

El diseño del software se realiza mediante el lenguaje de programación de código abierto “arduino”. Se aplican algunos algoritmos de programación para; la calibración de sensores, corrección de fase, procesamiento de datos, cálculos para obtener los parámetros de energía eléctrica, entre otros.

El prototipo se implementa en un sistema monofásico, con un límite de corriente de carga de 100 amperios y entrega información de los parámetros de energía eléctrica: corriente eficaz, voltaje eficaz, potencia activa, potencia aparente, factor de potencia, además se realizan tres medidas de energía consumida: la energía consumida diaria dada en vatios/hora, la cual se reestablece todos los días a las 18:00 horas, la energía consumida mensual se almacena en una variable para acumular la energía total y se reestablece un día específico de cada mes. Además se incluye el cálculo del costo a pagar por kilovatio/hora y finalmente se implementa una opción para ver el historial de energía consumida, permitiendo obtener los datos de siete días anteriores, al igual que de siete meses anteriores, con el costo respectivo del consumo de dichos días o meses.

SUMMARY

This final research project is focusing on hardware/software design to measure the electrical variables. That it allows to know electric consumption at home real time. The hardware is divided into five stages: The first stage is signal acquisition using voltage and current sensors. The second is signal conditioning, that is using an electronic circuit. The third stage is based on board "Arduino Mega 2560 R3", for signal processing. The four stage is to show of measured parameters on a Touch-LCD. Finally internet communication is done through with Ethernet technology, for which this board is based on chip ethernet "Wiznet W5100".

Software design is done using the programming language open source "arduino", some algorithms are using like: sensors calibration, phase correction, data processing, to fined electrical variables, among others.

The prototype is implemented in single phase system whit a limit load 100 amperes, also it provide information about electrical energy: current, voltage, active power, real power, apparent power, power factor. Further there are three measures of energy consumption: Daily energy consumed (watts/hour), it is going to reset every day at 18:00. Monthly consumed energy is storing in a variable for accumulate the total energy, it is going to reset on specific day of each month. Furthermore electric consumption to pay for kilo-watts/hour is included. Finally it implements an option to view history of energy consumed, it allows to get information of seven days previous and seven months early, with the respective cost of consumption the said days or months.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema de medición de energía eléctrica eficiente que permita supervisar de manera remota el consumo energético.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y establecer los métodos para el cálculo de las variables y obtener los parámetros del consumo de energía.
- Seleccionar y calibrar los sensores para la medición de la energía eléctrica.
- Diseñar y construir un medidor que permita captar los parámetros de energía eléctrica consumida.
- Realizar la comunicación a través de internet para el monitoreo de los parámetros de energía consumida.
- Realizar pruebas y analizar el funcionamiento del sistema de medición de energía eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La incursión de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en el campo de la energía eléctrica es una de las temáticas más relevantes e importantes en la actualidad, ésta integración denominada en países europeos como “Smart Grid” (Red Inteligente), donde la red eléctrica incorpora las TIC para recopilar información de manera automatizada sobre el comportamiento de los proveedores y los consumidores. Dichas redes inteligentes deben incorporar diversos elementos, siendo los principales: medidores inteligentes, sensores para la medición remota, controladores de monitorización, software de contabilización de energía y de facturación inteligente.

La implementación de un sistema de medición de energía eléctrica eficiente es el primer paso para tener una red inteligente, además es correcto que la inversión por parte del gobierno en proyectos de producción de energía vaya acompañada con el uso eficiente de la misma, este sistema de medición eléctrica involucra que los clientes tengan una mejor idea de cómo están utilizando la electricidad y lo que están pagando por ella, es decir el usuario podrá ver todos los parámetros de energía, incluso el nivel de servicio que le brinda la empresa proveedora. El consumo de energía eléctrica se mide en tiempo real y en unidades que son más perceptibles para el cliente (vatios/hora), permitiendo al usuario tener la información necesaria para tomar decisiones sobre el uso de la energía, el cliente podrá ver cuanta electricidad consume, cuándo la utiliza y cuánto le cuesta, ahorrar dinero eligiendo el mejor momento para consumir electricidad, por otra parte el proveedor de electricidad tendrá herramientas para influir en el comportamiento del consumidor a fin de que todos los usuarios de la red se conviertan en socios de cooperación, obteniendo un sistema de energía eléctrica fiable y robusto.

CAPITULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES (SMART GRID)

Redes Inteligentes son las redes eléctricas del futuro, totalmente computarizadas, podrían coordinar la producción, el consumo de energía y equilibrar internamente las fluctuaciones. Muchos la consideran como una oportunidad para la transición energética. Para ello se ha tomado como inspiración el modelo de Internet, donde el control y la toma de decisiones están distribuidos a través de nodos dispersos a lo largo del sistema y la información circula de forma bidireccional. Es importante destacar que no existe una definición única y ampliamente aceptada de lo que es una Smart Grid ni de las tecnologías que la integran porque aún queda mucho trabajo por hacer. Entre algunas definiciones recopiladas de distintas bibliografías tenemos las siguientes:

1. La red inteligente es esencialmente como un “Internet de la energía” que distribuye información de la red eléctrica en tiempo real para potenciar fuentes energéticas más inteligentes con la comunicación de dos vías, el flujo de potencia multi-direccional y la automatización de bucle cerrado en su núcleo [7].
2. El término "red inteligente" se refiere al hardware y el software añadido al sistema de potencia para lograr una capacidad de respuesta más autónoma a los eventos que afectan a la red de energía eléctrica y la eficiencia operativa y óptima diaria de la energía eléctrica en entrega [8].
3. Una red eléctrica inteligente es aquella capaz de integrar y controlar las acciones de todos los agentes, productores o consumidores, permitiendo controlar los electrodomésticos en los hogares y ahorrar energía, reducir costos e incrementar la fiabilidad y la transparencia [9], [10].

Las discrepancias entre estas definiciones, es que en (2) y (3) se considera una Smart Grid como una red física que opera y se comunica de manera eficiente, a diferencia de la definición (1) donde la trascendencia es integral, abarca desde las fuentes de generación, pasando por la transmisión y la distribución hasta el consumidor final que elige cómo y cuándo consumir energía de forma más responsable. Cuando hablamos de "la red", ésta es la red eléctrica, una red de líneas de transporte y distribución, subestaciones y transformadores que suministran electricidad desde la central eléctrica a su hogar o negocio. Lo que hace a la red inteligente es la tecnología digital que permite la comunicación bidireccional entre la empresa suministradora de electricidad y sus clientes. Estas redes utilizan productos y servicios innovadores, así como tecnologías avanzadas de monitorización, control y comunicación que aportan beneficios tanto al medio ambiente como a los clientes. Las características u objetivos principales que se plantea en una red inteligente son los siguientes:

- **Facilitan a los clientes instrumentos que les permiten optimizar su propio consumo eléctrico y mejorar el funcionamiento del sistema global (gestión activa de la demanda):** Las redes inteligentes dan al usuario la información y las herramientas necesarias para tomar decisiones sobre el uso de la energía: el cliente podrá ver en tiempo real el consumo de energía y lo que le cuesta, además puede ahorrar dinero generando su propia energía y eligiendo el mejor momento para consumir electricidad.
- **Aumentan el nivel de fiabilidad y calidad en el suministro de energía eléctrica:** Cuando hay una avería las tecnologías de la red inteligente pueden detectar y aislar el problema y contribuir a que la recuperación de la electricidad sea rápida y se desarrolle estratégicamente, devolviendo la electricidad a los servicios de emergencia en primer lugar. Además la red inteligente saca mayor provecho de los generadores de energía, propiedad del cliente cuando no se dispone de electricidad procedente de la compañía eléctrica.

- **Contribuyen a mantener la sostenibilidad ambiental:** Sustituyendo los combustibles fósiles por energías renovables integrándolas a la red y desplegando la infraestructura de recarga para la movilidad eléctrica. Contribuyendo de esta manera a la reducción de las emisiones de CO₂.

1.1.1. CAPAS DE UNA RED INTELIGENTE

Una red inteligente se hará realidad siempre y cuando se disponga de una infraestructura de comunicaciones inteligente, que proporcione en todo momento control y un conocimiento preciso sobre cualquier punto de la red. Para poder establecer esta red de datos, el primer paso es identificar qué sistemas se le van a conectar. Las capas de una red inteligente son las siguientes:

- **Dispositivos de medida y consumo:** Dentro de esta capa se encuentran los equipos de medida (contadores inteligentes).
- **Infraestructura de red:** Puede ser una infraestructura inalámbrica o cableada, dentro de la primera mediante comunicaciones basadas en Zigbee, Wifi o Wimax, en las redes cableadas se puede hacer uso de las tecnologías Fast Ethernet, Fibra Óptica, Comunicación por la Línea Eléctrica (PLC) o mediante Banda Ancha por Línea eléctrica (BPL).
- **Sistema de gestión:** En esta capa lo que se hace es gestionar la medida de los parámetros de consumo mediante un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA). Lo que permite controlar y supervisar el consumo eléctrico a distancia, facilitando la retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de medición y consumo.
- **Sistemas comerciales y operativos:** Dentro de este sistema se establecen parámetros como: método de facturación, modo de activación de servicio, entre otras.

1.2. SISTEMAS DE MEDICIÓN AVANZADA

Los sistemas de medición avanzada son la base de una red inteligente. Dentro de este sistema se deben considerar algunos conceptos que han surgido de acuerdo a su desarrollo.

1.2.1. SISTEMA AMR (AUTOMATIC METER READING)

Este sistema se caracteriza por disponer de la lectura automática del contador de energía de modo remoto, permite a la empresa poder recolectar los datos mensuales de lecturas para la facturación sin tener que tomar físicamente las lecturas del medidor. Esto abarca una gran variedad de tecnologías que incluyen la lectura de contadores al caminar o al conducir (walk-by / drive-by), radio móvil y sistemas basados en telefonía, pero siempre bajo un modelo de comunicación unidireccional. En ocasiones, los sistemas AMR se sustituyen por el AMI (Advanced Metering Infrastructure).

1.2.2. SISTEMA AMM (ADVANCED METERING MANAGEMENT)

En este sistema además de las especificaciones anteriores, se incluye la posibilidad de efectuar alguna gestión con los datos de las lecturas.

1.2.3. SISTEMA AMI (ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE)

Se consideran como una ampliación de los sistemas AMR, ya que además de tener sistemas automáticos de medida, los sistemas de gestión de información se encuentran dentro de un modelo de comunicación bidireccional, permitiendo el intercambio de información entre la empresa de servicios con el medidor inteligente y viceversa, éstos evalúan el uso de datos de registro a intervalos de una hora o con mayor frecuencia, por lo menos una vez al día. Además incluyen mediciones básicas en intervalos de tiempo y en tiempo real con una función de comunicación bidireccional capaz de grabar y transmitir los datos de manera instantánea [11].

Sin duda existen grandes ventajas de contar con AMI, siendo éstas dependientes

del diseño para tener un gran alcance en la implementación y conseguir los cambios de modelo de negocio de las empresas necesarias para que tanto el cliente y la sociedad en conjunto aprovechen de las bondades y ventajas que presta esta tecnología.

Algo muy importante de comprender en AMI es que se deben distinguir tres componentes básicos: el Sistema de Adquisición de Datos (DAS), que viene a ser el equipo de medición (Contador Inteligente), el diseño de red de comunicaciones que constituye el medio por el cual los DAS transfieren los datos y finalmente los sistemas de información de hardware y software, los cuales controlan la comunicación, reciben los datos enviados de los medidores y los almacenan, pudiendo administrar esta información con la finalidad de conseguir un análisis y conversión a información de utilidad para la empresa [4]. Los sistemas de medición avanzada son el primer paso hacia la Red Inteligente. La correlación de estos sistemas se muestra en la Figura 1.

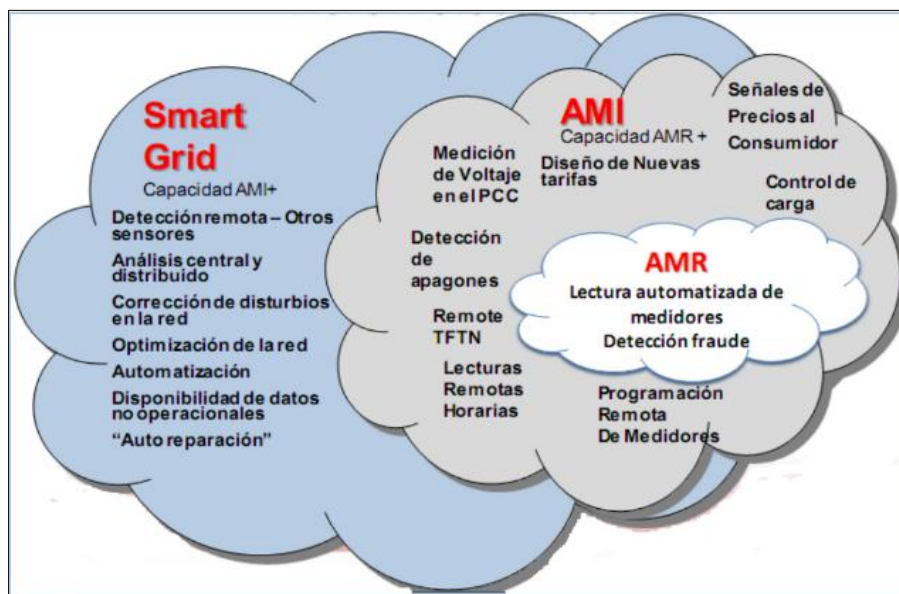


Figura 1 Estructura del sistema de redes inteligentes. Fuente: [12].

1.3. MEDIDORES ELÉCTRICOS

Los medidores de energía eléctrica son los dispositivos más significativos dentro de la comercialización, lo cual significa que la selección de un medidor se lo debe realizar previo un análisis de tal modo que se pueda evitar algún error, que a su vez se puede convertir en pérdidas ya sea para las empresas proveedoras del servicio o para los usuarios. Un medidor de energía es un instrumento destinado a medir la energía consumida por los clientes, por integración de la potencia respecto al tiempo. La energía es función no solamente del producto de la corriente y la tensión, sino también del tiempo y condiciones en las cuales estas magnitudes hayan actuado [5].

1.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para clasificar a los medidores de energía eléctrica se consideran algunos criterios, es decir su clasificación depende de; su construcción, la energía que miden, el tipo de servicio, entre otros.

1) Por su construcción

a. De inducción (electromecánico)

Consta de un disco de inducción con registrador tipo reloj o ciclométrico, donde el número de vueltas de su disco es proporcional a la energía activa consumida por la carga. El disco de aluminio gira entre los entrehierros de dos electroimanes, uno de muchas vueltas y alambre delgado conectado en paralelo a la tensión de línea llamado bobina "voltimétrica" y otro de pocas vueltas y alambre grueso conectado en serie con la corriente de línea llamada bobina "amperométrica". El eje del disco del medidor está asociado a un engranaje sin fin que produce el accionamiento de un contador mecánico o numerador, siendo este finalmente el indicador de energía [5].

Ventajas:

- Vida útil bastante larga.
- Bajo costo.

Desventajas:

- Poca precisión.
- Requieren mantenimiento periódicamente.
- Disminuye la precisión con el tiempo por desgaste de las piezas movibles.
- Susceptible al fraude.
- Limitado en su funcionalidad e inflexible.

b. Electrónico

Poseen memoria no volátil para almacenar datos referidos al comportamiento del sistema. También están adaptados para implementar un sistema de energía prepago que tienen bastante aceptación por parte de los distribuidores porque permite un mejor control de los pagos del cliente y evita el corte y reconexión del suministro por parte de la empresa concesionaria. El principal componente del medidor es el microprocesador con una Unidad de Control Multipunto (MCU), este es un circuito integrado, usado para el procesamiento de datos. La señal es recibida por el chip de medición, el cual realiza la integración de las señales de tensión y de corriente [5].

Ventajas:

- Alta precisión con respecto a los electromecánicos.
- Alta calidad de medida evitando un sub-registro o sobre-registro de medición de la energía.
- Largo tiempo de vida.
- Bajo consumo de energía.
- Impide la manipulación para hurto de energía ya que tradicionalmente con los medidores de inducción se usaban imanes para retrasar el movimiento del disco de inducción.

2) Por el tipo de energía que miden**a. Medidores de energía activa**

Únicamente miden el consumo de energía activa en kilovatio/hora.

b. Medidores de energía reactiva

Mide el consumo de energía reactiva en kilovoltios amperios reactivos hora (kvar/h). La energía reactiva se mide con medidores electrónicos que miden tanto la energía activa como la energía reactiva.

3) Por el tipo de servicio

a) Medidor monofásico de dos hilos

b) Medidor monofásico de tres hilos

De acuerdo al decreto del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y el Sistema Integrado para la Gestión de la Distribución Eléctrica (SIGDE), se debe eliminar el uso de estos medidores, debido a que no registra el consumo real ante la desconexión de uno de los hilos de la fase.

c) Medidor bifásico de tres hilos

d) Medidor trifásico de cuatro hilos

1.3.2. CONTADORES INTELIGENTES

Es un dispositivo que realiza la medición, registro y almacenamiento de la información del consumo de energía como principal característica, pudiendo tener la capacidad de registrar otros parámetros eléctricos y transmitirlos. La estructura general del contador consta de tres elementos principales que son: el sistema de medida, la memoria y el dispositivo de información principal. Para ampliar sus capacidades operativas se le añaden los elementos complementarios siguientes:

- Sistemas de alimentación.
- Procesador de comunicaciones.
- Procesador de cálculo.
- Dispositivo de accionamiento o control.

Este dispositivo, junto a la infraestructura de telegestión garantiza una mayor rapidez, eficiencia y facilidad de relación entre el proveedor de electricidad y los clientes. Instalado en lugar de los viejos contadores, el contador inteligente funciona digitalmente y permite transferencias automáticas y completas de información. Este medidor será un dispositivo de última milla y con posibilidades de comunicación bidireccional, por ejemplo la capacidad de comunicarse en tiempo real con la empresa suministradora, modificar parámetros de forma remota, detectar fallas, monitorear calidad de servicio, habilitar herramientas de respuesta de demanda y/o eventos que se encuentran preestablecidos [14].

1.3.2.1. VENTAJAS PARA LA EMPRESA PROVEEDORA

Los beneficios principales son: la reducción de costos referente a las lecturas de medidores, reducción de costos por operación y mantenimiento, además se reducirían los reclamos de los clientes por cobros excesivos, debido a las medidas promediadas o estimadas.

- Control remoto del consumo de energía.
- Mayores parámetros medidos; energía activa, reactiva, tensión y corriente eficaz, entre otros.
- Control de la potencia de demanda.
- Gestión de la conexión/desconexión del suministro.
- Alarmas antifraude.
- Control de los elementos de carga.
- Alarmas cuando exista una sobredimensión en el consumo de energía.

1.3.2.2. VENTAJAS PARA EL USUARIO

- Lectura a distancia con una eficiente administración de datos. Disminuir la incertidumbre sobre las facturas mensuales por parte de la empresa

comercializadora.

- Aumento de la precisión de la medición en cargas no lineales.
- Mayor rapidez de la modificación de tarifas.
- Varios parámetros de medición, permite tener una adecuada información al usuario de la calidad del servicio.
- Es mucho más discreto y puede instalarse en sitios sin accesos externos.

La inversión en manufactura, la precisión y calidad de la medición, y la cantidad de información ofrecida por la medición electrónica, es indudablemente superior a la del diseño tradicional de contador electromecánico.

1.4. SENSORES DE CORRIENTE ALTERNA

Los sensores de corriente fueron creados con la finalidad de poder medir o monitorear la corriente alterna en diversos procesos de la vida cotidiana. Dentro de estos sensores se incluyen: lineales, ajustables, de balance nulo y digitales. Los sensores de corriente digitales pueden hacer sonar una alarma, arrancar un motor, abrir una válvula o desconectar una bomba. En cuanto a los sensores de corriente lineales duplican la forma de la onda de la corriente captada y puede ser utilizada como un elemento de respuesta para controlar un motor o regular la cantidad de trabajo que realiza una máquina [15]. Estos sensores se pueden dividir en 4 tipos diferentes, cada uno de éstos tienen sus propias características y aplicaciones determinadas. Los cuatro tipos de sensores son:

- Transformador de corriente (TC).
- Bobina de rogowski.
- Sensor de efecto hall.
- Sensor de shunt.

1.4.1. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (TC)

El transformador de corriente (TC) usa el principio de un transformador para convertir la alta corriente primaria a una corriente secundaria más pequeña, es común entre los medidores de energía de estado sólido de alta corriente. El TC es un elemento pasivo que no necesita circuitos adicionales de control, además puede medir corrientes muy altas y consumir poca potencia. Sin embargo el material férnico usado en el núcleo se puede saturar cuando la corriente primaria es muy alta o cuando hay una componente importante de corriente directa (DC) en la corriente. Una vez magnetizado, el núcleo contendrá histéresis y su precisión se degradará a menos que éste se desmagnetice de nuevo. Estos transformadores no crean la energía a partir de la nada; por lo tanto, si un transformador aumenta el voltaje de una señal, reduce su corriente; y si reduce el voltaje de la señal, se eleva la corriente. En otras palabras, la energía que fluye a través de un transformador no puede ser superior a la energía que haya entrado en él [15].

1.4.2. BOBINA ROGOWSKI

La bobina rogowski, llamada así en honor a su inventor Walter Rogowski, es un dispositivo electrónico, usado como transductor para medir corriente alterna (AC) o pulsos rápidos de corriente. La bobina rogowski se basa en medir los cambios del campo magnético que se produce alrededor de un hilo portador de corriente para producir una señal de voltaje, la cual es proporcional a la derivada de la corriente (di/dt) es por esto que un integrador es necesario para convertir ésta señal a la señal apropiada. La tarea de crear un integrador que fuera estable y exacto durante la larga vida de un medidor había sido muy desalentadora. Sin embargo, la reciente implementación digital del integrador tiene la promesa de convertir esta tecnología en una realidad para los medidores eléctricos [16].

Una de las principales ventajas de la bobina de rogowski es su linealidad inherente. Al no poseer elementos susceptibles de saturación magnética su rango

dinámico es excepcionalmente amplio. Un mismo sensor puede utilizarse para medir corrientes inferiores a 1 amperio o corrientes del orden de los kiloamperios. Debido a las características que ofrece esta tecnología, los transductores de rogowski se han convertido en el sensor preferido de la actual generación de instrumentos de aplicación industrial. Igual tendencia se observa en los medidores de consumo de energía eléctrica utilizados para la facturación [16].

1.4.3. SENSOR DE EFECTO HALL

El objetivo de este circuito es medir la corriente y entregar un voltaje de salida proporcional al flujo de la misma. El sensor de efecto hall sirve para la medición de campos magnéticos o corrientes o para la determinación de la posición. Su función sigue unos pasos, en donde si fluye corriente por un sensor hall y se aproxima a un campo magnético que fluye en dirección vertical al sensor, entonces el sensor crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se conoce el valor de la corriente se puede calcular la fuerza del campo magnético, si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor se puede medir el valor de la corriente en el conductor o bobina.

La señal obtenida del sensor hall puede ser procesada para dar una señal digital o analógica. Cuando se desea obtener una salida digital, los sensores se denominan interruptores hall y cuando se requiere que la salida sea proporcional a la señal que se desea medir, se denominan sensores hall de tipo lineal, éstos últimos son los empleados para la medida de corrientes y cubren un rango que se extiende desde pocos miliamperios hasta cientos de miliamperios. Existen dos tipos principales de sensores de efecto hall, anillo abierto (open-loop) y anillo cerrado (closed-loop). El segundo ofrece mejor precisión y rangos dinámicos más amplios pero a un costo mayor y la mayoría de los sensores de efecto hall que se encuentran en medidores de energía que usan el diseño anillo abierto para lograr costos más bajos.

El sensor de efecto hall tiene una excelente respuesta a la frecuencia y está

capacitado para medir corrientes muy altas, sin embargo las desventajas incluyen un resultado con alta deriva por temperatura y la necesidad de circuitos externos de control. Debido al alto costo hacen de los sensores de efecto hall algo raro comparados con los TC.

1.4.4. SENSOR DE SHUNT

El shunt de corriente de baja resistencia es la solución de más bajo costo actualmente disponible y ofrece una lectura sencilla con una buena precisión. Un modelo de este aparato es una resistencia. Cuando se estén practicando mediciones de corriente de alta precisión, se debe tener en cuenta la inductancia parásita de shunt, aunque ésta afecta la magnitud de la impedancia a frecuencias relativamente altas, su efecto sobre la fase a las frecuencias de la línea es suficiente para causar un error notable a bajo factor de potencia. Un desfase de 0.1° llevará a un error de aproximadamente 0.3% a un factor de potencia de 0.5. Es importante seleccionar una resistencia shunt que tenga un valor muy bajo para minimizar la disipación de potencia, un valor bajo de inductancia y una tolerancia razonablemente pequeña para mantener una precisión global en el circuito.

Aunque al bajar el valor de la resistencia del sensor de corriente, disminuye la disipación de potencia, también disminuye el voltaje de salida. Si la resistencia del sensor es muy pequeña, el "offset" de entrada se puede hacer porcentualmente grande. Las dos consideraciones contradictorias tienen que ser sopesadas unas contra las otras en la selección de la resistencia apropiada para cada aplicación particular.

Seleccionada la resistencia del sensor y colocando un amplificador operacional cerca de la misma, ayudará también a minimizar las interferencias electromagnéticas y mantener la precisión del circuito. Aunque es posible adquirir resistencias shunt a fabricantes como: IRC, Dale, Ultronix, Isotek, y K-tronics, que son algunos de los proveedores que fabrican resistencias apropiadas para aplicaciones de sensor de

corriente, es también posible hacer una resistencia sensor utilizando diversos materiales, incluyendo un trozo de una pista de circuito impreso. El bajo costo y la alta confiabilidad hacen del sensor shunt de corriente de baja resistencia una solución popular para la medición de corriente.

Sin embargo, dado que el shunt es fundamentalmente un elemento resistivo, la pérdida de potencia es proporcional al cuadrado de la corriente que pasa por la resistencia y consecuentemente es inusual entre los medidores de energía de alta corriente.

1.4.5. COMPARACIÓN DE LOS SENSORES DE CORRIENTE.

Tabla 1. Comparación de los sensores de corriente.

Tipo de sensor	Transformador de corriente (TC)	Efecto Hall	Shunt de Corriente	Bobina de Rogowski
Costo	Bajo	Alto	Muy bajo	Alto
Linealidad	Media	Baja	Alta	Muy Alta
Corriente máxima de medición	Alta	Media	Muy baja	Muy Alta
Consumo de Potencia	Muy bajo	Medio	Alto	Bajo
Problemas de Offset de DC	No	Si	Si	No
Problema de saturación e histéresis	Si	Si	No	No

Fuente: [16].

1.5. SENSORES DE TENSIÓN

Se necesita una medición de la tensión de corriente alterna (AC) para poder calcular, los parámetros de energía eléctrica, pudiendo realizar esta medición de forma segura (que no requiere de un trabajo en alta tensión) con un adaptador de alimentación de AC, proporcionando aislamiento entre la alta y baja tensión. Los adaptadores de alimentación de AC pueden venir en diferentes rangos de voltaje, siendo

este el parámetro más importante a conocer. La señal de salida del adaptador de tensión de AC es una forma de onda casi sinusoidal, proporcional al voltaje de entrada. Si se dispone de un adaptador de corriente de 9 V (RMS) del pico de la señal positiva debería ocurrir a 12,7 voltios y el pico de señal negativa debe ocurrir a -12.7 voltios. Sin embargo, debido a la mala regulación de voltaje con este tipo de adaptador cuando el adaptador está sin carga, la salida es a menudo alrededor de 10 a 12 voltios, dando un pico de tensión de aproximadamente de 14 a 17 voltios [17].

1.6. CÁLCULO DE POTENCIA Y ENERGÍA.

1.6.1. POTENCIA INSTANTÁNEA

La potencia instantánea en cualquier dispositivo se calcula a partir del producto de la tensión por la corriente que le atraviesa, ésta es una magnitud que varía en función del tiempo. Su expresión matemática está dada por Ecuación 1.

$$p(t) = v(t) * i(t) \quad (Ec. 1)$$

Siendo:

$$v(t) = V_o \sin(\omega t) \quad (Ec. 2)$$

$$i(t) = I_o \sin(\omega t \pm \varphi) \quad (Ec. 3)$$

Donde φ indica el desfase de la corriente respecto de la tensión aplicada. El signo depende si la carga es inductiva (-) o capacitiva (+) y si se considera una carga ideal (carga netamente resistiva) se puede tomar el ángulo de desfase como cero $\varphi = 0$

En tiempo discreto se la puede expresar como la multiplicación de las muestras de tensión y corriente en un determinado instante.

$$p(n) = v(n) * i(n) \quad (Ec. 4)$$

1.6.2. POTENCIA REAL O ACTIVA (P)

Las funciones de tensión y corriente periódicas producen una función de potencia instantánea periódica. La potencia activa es el promedio a lo largo del tiempo de la potencia instantánea durante uno o más periodos. Esta potencia es denominada potencia media especialmente en corriente continua. Matemáticamente es la integral definida de la tensión $v(t)$ por la corriente $i(t)$ en un periodo determinado de tiempo.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) * i(t) dt \quad (Ec. 5)$$

Esta potencia es a menudo definida como la energía utilizada por un dispositivo para producir un trabajo útil, es decir es la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo, es la potencia realmente consumida por los circuitos en consecuencia, cuando se habla de demanda eléctrica es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

La ecuación en tiempo discreto se convierte en la sumatoria del producto de un determinado número de las muestras de corriente por las muestras de tensión, obteniendo la Ecuación 6.

$$P \equiv \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) * i(n) \quad (Ec. 6)$$

Si se considera cargas sinusoidales ideales, algo no común en la práctica se puede expresar en términos de corriente y tensión eficaz, a partir de la Ecuación 5 se obtiene la siguiente expresión:

$$P = V_{rms} * I_{rms} \cos(\varphi) \quad (Ec. 7)$$

$$\cos(\varphi) = \text{Factor de potencia} \quad (Ec. 8)$$

1.6.3. TENSIÓN EFICAZ O VALOR CUADRÁTICO MEDIO (VRMS)

La tensión eficaz o valor RMS se define como la raíz cuadrada del valor medio del cuadrado de tensión en un intervalo de tiempo. La expresión matemática está dada por la Ecuación 9.

$$V_{ef} = V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (Ec. 9)$$

La ecuación en tiempo discreto para el cálculo de tensión se la obtiene a partir de la Ecuación 9.

$$V_{rms} \equiv \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v^2(n)} \quad (Ec. 10)$$

1.6.4. CORRIENTE EFICAZ O VALOR CUADRÁTICO MEDIO (IRMS)

Al igual que la tensión, la corriente eficaz o valor RMS se define como la raíz cuadrada del valor medio del cuadrado de la corriente en un intervalo de tiempo.

$$I_{ef} = I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (Ec. 11)$$

La ecuación en tiempo discreto para el cálculo de la corriente es la siguiente:

$$I_{rms} \equiv \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} i^2(n)} \quad (Ec. 12)$$

1.6.5. POTENCIA REACTIVA O POTENCIA IMAGINARIA (Q)

Es la medida de la energía que fluctúa entre la carga y la red eléctrica, es decir no se consume ni se genera en el sentido estricto (el uso de los términos “potencia reactiva generada” y/o “potencia reactiva consumida”, es una convención). La potencia reactiva no realiza ningún trabajo útil, se disipa en forma de calor, idealmente se la

puede clasificar en potencia reactiva capacitiva (considerando el caso ideal que tenga un capacitor) y potencia reactiva inductiva (caso ideal que tenga únicamente un elemento inductivo). Esta potencia no tiene ningún efecto en la facturación por parte de los proveedores de la energía eléctrica. La potencia reactiva se calcula empleando una relación similar a la de la ecuación de la potencia activa [1].

$$P = V_{rms} * I_{rms} \sin(\varphi) \quad (Ec. 13)$$

La potencia reactiva se mide volt amperios reactivos (VAR).

1.6.6. POTENCIA APARENTE (S)

La potencia aparente es el producto de las magnitudes de la tensión eficaz y la corriente eficaz y se utiliza frecuentemente para especificar el valor nominal de los equipos de potencia. En el caso de cargas puramente resistivas la potencia aparente es igual a la potencia real, pero para el resto de cargas la potencia real es inferior a la potencia aparente [2]. De manera general la potencia aparente se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$S = (V_{rms}) * (I_{rms}) \quad (Ec. 14)$$

También se puede determinar a partir de la magnitud de la potencia compleja de un circuito eléctrico de corriente alterna, siendo la potencia compleja la suma vectorial de la potencia promedio activa o real y la potencia reactiva, lo que significa que la potencia aparente representa la potencia total desarrollada en un circuito con impedancia (Z). La relación entre todas las potencias aludidas se la puede mostrar en la Figura 2.

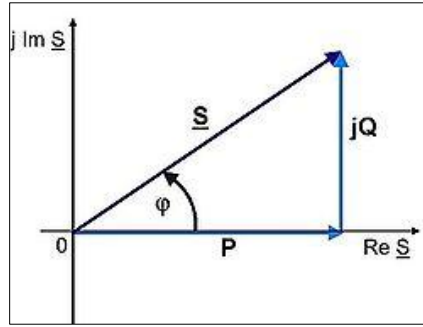


Figura 2. Relación entre potencia activa, aparente y reactiva. Fuente: [18].

De la Figura 2 se puede establecer las siguientes ecuaciones matemáticas:

$$S = P + jQ \quad (\text{Ec. 15})$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{Ec. 16})$$

La potencia aparente se mide en volt amperios (VA), aunque para aludir a grandes cantidades de potencia aparente lo más frecuente es utilizar como unidad de medida el kilovoltio amperio (kVA).

1.6.7. FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia (f.d.p) da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa, por esta razón el factor de potencia es igual a uno en cargas puramente resistivas y en elementos inductivos y capacitivos ideales sin resistencia el factor de potencia es igual a cero. Un f.d.p bajo comparado con otro alto origina para una misma potencia una mayor demanda de corriente lo que implica la necesidad de utilizar cables de mayor sección. Además la potencia aparente es tanto mayor cuanto más bajo sea el factor de potencia lo que origina una mayor dimensión de los generadores, ambos casos nos llevan a un mayor costo de la instalación alimentadora. Esto no resulta práctico para las compañías eléctricas puesto que el gasto es mayor para un f.d.p bajo. Es por ello que las compañías suministradoras penalizan la existencia de un f.d.p bajo, obligando a su mejora o imponiendo costos adicionales. El factor de potencia de una carga se define como el cociente de la potencia media y la potencia aparente [3].

$$fp = \frac{P}{S} \quad (\text{Ec. 17})$$

En las cargas ideales (señales sinusoidales perfectas) los cálculos dan como resultado la Ecuación 8 sin embargo, este es un caso especial y debería ser utilizado solo cuando la tensión y la corriente sean sinusoidales. Por lo general las cargas que existen no son lineales, ni puramente resistiva, inductivas o capacitivas, en la realidad la mayoría de fuentes de alimentación para equipos de DC, por ejemplo las laptops ejercen una carga no lineal y se tiene que añadir algunos armónicos de orden superior por lo que la Ecuación 8 no sería correcta. La que se debe utilizar en cualquier caso es la Ecuación 17.

Existen muchos parámetros que se pueden medir en función de la corriente eléctrica y el uso de energía en los sistemas de AC, cada uno con sus respectivos usos o aplicaciones, sin embargo para la aplicación de la medición del consumo de energía eléctrica en una vivienda la potencia real es el valor más útil ya que es la que determina la cantidad de energía que todos los aparatos están utilizando realmente y es lo que se factura a los consumidores.

1.6.8 ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía, o trabajo, es la integral de la potencia instantánea activa en el tiempo. Está expresada por la siguiente formula:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt \quad (\text{Ec. 18})$$

Si $v(t)$ está expresado en voltios e $i(t)$ en amperios, la potencia se expresa en vatios y la energía en julios. En tiempo discreto la energía es la sumatoria de la potencia instantánea.

$$W = \sum_{n=0}^{N-1} p(n) \quad (\text{Ec. 19})$$

Si reemplazamos la Ecuación 5 en la Ecuación 18 la energía se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$W = P \times T \quad (\text{Ec. 20})$$

Siendo T el periodo de la forma de onda de la potencia.

1.7 INFLUENCIA DEL TIPO DE CARGAS.

Un medidor de energía en una vivienda mide la energía consumida por los equipos conectados a la red eléctrica. Para poder entender como se hace esto, es útil tener conocimientos acerca de cómo interactúan los equipos con el sistema eléctrico.

No todos los aparatos interactúan en el sistema eléctrico de la misma manera. Existen tres tipos de cargas a las que puede alimentar la red eléctrica, éstas son: cargas resistivas, cargas inductivas y cargas capacitivas. En las cargas resistivas la corriente y tensión están en fase, en las cargas puramente capacitivas la corriente se adelanta a la tensión en 90° y en las cargas inductivas la corriente se atrasa respecto de la tensión en 90° .

1.7.1 CARGAS RESISTIVAS.

Los electrodomésticos comunes que tienen una carga resistiva son: las bombillas incandescentes, hervidores de agua, planchas, calentadores agua eléctricos. Estas cargas resistivas se caracterizan por mantener en fase la corriente y tensión.

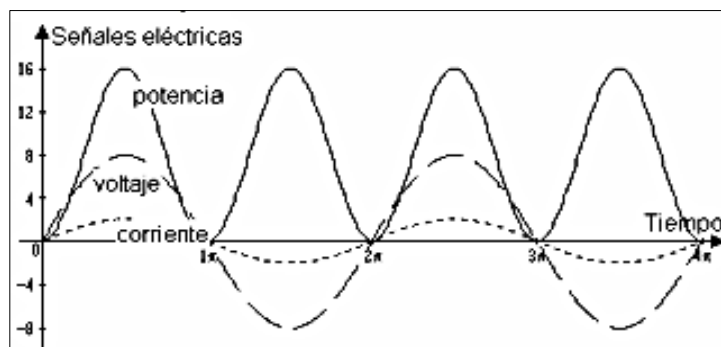


Figura 3. Tensión, corriente y potencia en una carga resistiva. Fuente: [18].

La onda que está por arriba del eje x es el resultado del producto de la tensión por la corriente en un determinado momento, siendo este resultado la energía en un

instante dado (potencia instantánea). En este caso la potencia siempre es positiva, esto significa que la energía fluye a la carga.

1.7.2 CARGAS MIXTAS (PARCIALMENTE REACTIVAS)

Algunos electrodomésticos como: neveras, lavadoras, taladros, soldadoras, consumen una cierta cantidad de energía y luego liberan cierta energía a la red eléctrica, además de la componente resistiva tienen una componente inductiva (Ejm. Motores) o capacitiva (Ejm. Soldadoras). Una carga inductiva, presenta una forma de onda como la de la Figura 4.

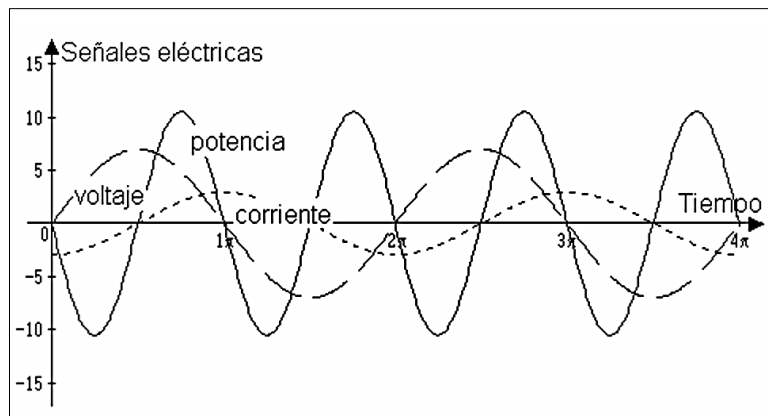


Figura 4. Tensión, corriente y potencia en una carga inductiva. Fuente: [18].

En la figura anterior la onda correspondiente a la potencia se hace negativa durante un periodo de tiempo, la señal positiva significa que la energía fluye a la carga y la componente negativa es la que retorna de la carga.

1.7.3 CARGAS NO LINEALES

Muchos de los aparatos eléctricos que tenemos en casa como televisores, videograbadoras y computadoras generan armónicos de voltaje y de corriente que incrementan las pérdidas de potencia y contaminan las líneas de suministro eléctrico, pudiendo ocasionar severos daños tanto a las redes de energía como a los equipos que de ellas se abastecen. Si bien es cierto, los avances en áreas como la electrónica de

potencia ha permitido aumentar la eficiencia de los equipos electrónicos, éstos representan cargas no lineales que pueden deteriorar la calidad de la energía entregada por las compañías generadoras de electricidad.

A pesar de que también distorsionan la onda fundamental de voltaje de 60Hz, la principal característica por la cual se les denomina cargas no lineales, es la gran distorsión que producen sobre la corriente que le demandan a la línea de alimentación alterna, debido a la generación inherente de armónicos. En este sentido, las cargas resistivas, inductivas y capacitivas se consideran cargas lineales, ya que demandan una corriente prácticamente sinusoidal. En la Figura 5 se puede observar la señal de una carga no lineal producida por un cargador de una laptop. Aquí se puede ver claramente la distorsión que existe en la señal de corriente (línea azul).

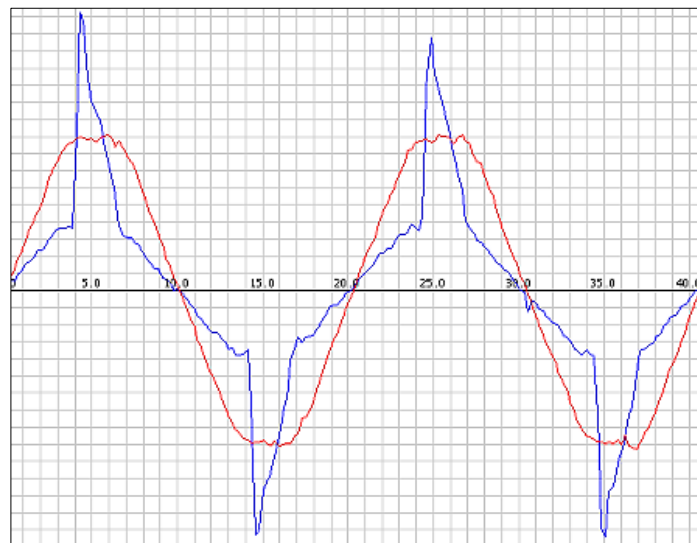


Figura 5. Señales de tensión (rojo), y corriente (azul) producidas por una carga no lineal. Fuente: [17].

1.8 DIRECCIÓN DEL FLUJO DE LA POTENCIA

Algo muy importante que hay que tener en cuenta es la dirección del flujo de la potencia, debido a que si se realiza la medida en sentido contrario se estaría tomando a la carga como un generador de energía, en lugar de un consumo de energía, esto se produce si la dirección de los flujos de corriente se invierte. Debido a que la corriente es

alterna, la dirección se está invirtiendo 60 veces cada segundo. Necesitamos una referencia con respecto a la tensión para comparar la dirección de la corriente.

En la Figura 3 las ondas de voltaje y corriente se elevan y caen juntas. Cuando la señal de voltaje es positiva (por encima del eje x), entonces la señal de corriente también es positiva, y cuando la tensión es negativa (por debajo del eje x), entonces la corriente también es negativa. Esto implica que la potencia va ser siempre positiva, debido a que la potencia es igual al producto de la tensión por la corriente, por lo tanto, toda de la curva de potencia está por encima del eje x [17].

Si una vivienda está generando energía, la dirección de la corriente se invierte en comparación a como era antes. Ahora, cuando la señal de voltaje es positiva (por encima del eje x), entonces la corriente es negativa (por debajo del eje x), y cuando la onda del voltaje es negativa, la corriente es positiva. La potencia siempre será negativa ya que toda la curva de potencia está por debajo del eje x. como se observa en la Figura 6.

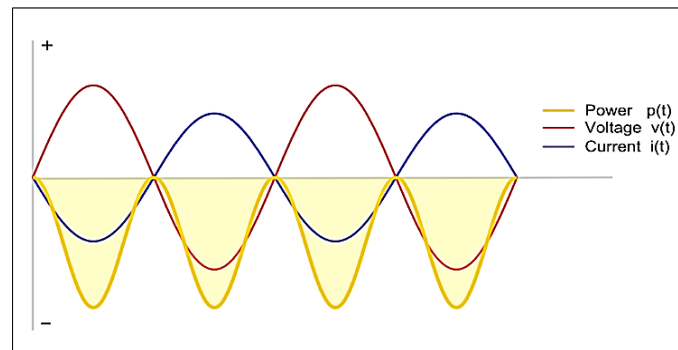


Figura 6. Tensión, corriente y potencia cuando se invierten o cuando se genera energía. Fuente: [17].

1.9 PLATAFORMA ARDUINO

Arduino nació como un proyecto educativo en el año 2005, su nombre proviene del bar “Bar di Re Arduino” donde Massimo Banzi pasaba algunas horas. En la actualidad el equipo de “Arduino Team” tiene como miembros principales a: Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, y David Mellis.

La plataforma arduino es una tecnología muy popular, debido a sus características y beneficios que presenta, siendo una de las características más destacadas que es de hardware y software libre (Open Source). El hardware se basa en un microcontrolador Atmel AVR (los más usados Atmega168, Atmega328, Atmega2560) que por su sencillez y bajo costo permiten el desarrollo de múltiples diseños. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. El software de arduino es una implementación de wiring, que a su vez se basa en processing un entorno de programación multimedia. El entorno de programación de arduino es fácil de usar para principiantes y lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados.

Con la placa arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. Disponer de una plataforma de hardware libre es una gran ventaja para los investigadores, profesores y alumnos, porque con ella no se ven esclavizados a depender de altos costos en pago de patentes que repercuten en los productos que compran. Arduino es libre y público, y además le ampara un amplio catálogo de herramientas de programación también de software libre, más una importante comunidad de usuarios en la que se intercambian grandes volúmenes de información compartiendo sus proyectos y desarrollos [19].

1.9.1 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN ARDUINO

El microcontrolador de la placa arduino se programa mediante el lenguaje de programación arduino que está basado en la plataforma de código abierto wiring. El ambiente de desarrollo de wiring puede ejecutarse en plataformas como Linux, Windows y MacOS gracias a que está desarrollado en Java. Se puede concluir que la plataforma wiring es el conjunto de funciones, variables y constantes que encapsulan el funcionamiento del hardware facilitando el uso del mismo [20].

Wiring está basado en el ambiente de desarrollo de processing, (esto implica a su vez que arduino tenga el mismo entorno de desarrollo), el cual permite la creación de programas (sketchs) aplicativos visuales, wiring tiene como objetivo brindar una plataforma amigable y fácil de usar, permitiendo en un solo ambiente de programación el desarrollo de programas en un lenguaje propio o utilizando C++. Su compilación está basada en el compilador de AVR y sus librerías, además de permitir la descarga directamente a la tarjeta a través de la conexión con el puerto USB, permitiendo crear y probar rápidamente programas en la tarjeta sin utilizar herramientas adicionales (quemadores o programadores), como también acceder fácilmente al hardware a través de funciones que encapsulan muchos detalles complejos de su manejo. El software de arduino consiste en un entorno de desarrollo IDE y las librerías centrales. El IDE está escrito en java y basado en el entorno processing, mientras que las librerías centrales están escritas en C y en C++.

Los programas desarrollados con arduino se pueden dividir en tres partes principales: estructura, valores (variables y constantes) y funciones. Cabe destacar que muchas de las funciones creadas en arduino consumen muchos recursos de memoria, por lo que es conveniente crear líneas de código propias que puedan reemplazar a dichas funciones cuando la optimización de memoria es una prioridad, esto se da en aplicaciones que requieran un elevado procesamiento de datos.

1.9.2 LIBRERÍAS

Las librerías proveen funcionalidad extra a nuestro programa permitiendo ampliar la funcionalidad de los programas (por ejemplo la capacidad de controlar una matriz de LED, o leer un codificador, etc.). Una librería normalmente contiene tres archivos, un archivo de cabecera (con extensión .h), el código fuente (con extensión .cpp) y otro (con sufijo "keywords"). El archivo de cabecera contiene definiciones para la librería, básicamente un listado de todo lo que hay dentro, mientras que el archivo del código fuente tiene el código real, así mismo el archivo llamado "keywords" contiene palabras claves de la librería. Con los debidos conocimientos podemos crear

nuestras propias librerías permitiendo que otras personas utilicen nuestro código [20].

1.10 ETHERNET

Si bien es cierto el término ethernet es bien conocido en redes, sin embargo es conveniente realizar una síntesis de esta tecnología, para poder entender y lograr enviar tramas con los datos de energía eléctrica calculados en el microprocesador de arduino. Ethernet es la tecnología de Red de Área Local (LAN) más utilizada en la actualidad para transmitir información entre computadoras, es el estándar utilizado en las empresas y el que debería elegirse si se está creando una nueva red de datos. En cuanto a la topología de ethernet hay que distinguir la topología lógica y la topología física. La topología lógica (que depende de la forma en que fluyen las señales en el medio) es un solo canal (bus multi-acceso) que lleva la señal a todas las estaciones, se pueden conectar varios segmentos ethernet utilizando dispositivos de amplificación para formar una LAN ethernet más grande, en este caso se implementa la “regla 5-4-3” que significa el uso de no más de 5 segmentos, 4 repetidores, 3 de los segmentos se pueden utilizar para la conexión de dispositivos, quedando 2 segmentos únicamente empleados para la interconexión entre repetidores. Cada segmento se convierte en una rama del sistema, aunque físicamente estén conectados en estrella, lógicamente el sistema de señales ethernet sigue siendo un bus [21].

El método de acceso al medio que utiliza ethernet es Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisión CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Acces with Collision Detection). En síntesis este método se basa en que múltiples estaciones de trabajo acceden a un medio de transmisión (Múltiple Acceso) escuchando hasta que ninguna señal sea detectada (Detección de Portadora), entonces éstas transmiten y chequean para detectar si más de una señal está presente (Detección de Colisión). Cada estación intenta transmitir cuando la red realmente está libre.

Ethernet opera en las dos capas inferiores del modelo OSI (Open Systems Interconnection), en la capa de enlace de datos y la capa física. Este modelo hace referencia sobre con qué puede relacionarse ethernet, pero en realidad se implementa solo en la mitad inferior de la capa de enlace de datos que se conoce como subcapa Control de Acceso al Medio (Media Access Control, MAC), y la capa física, como se lo muestra en la Figura 7.

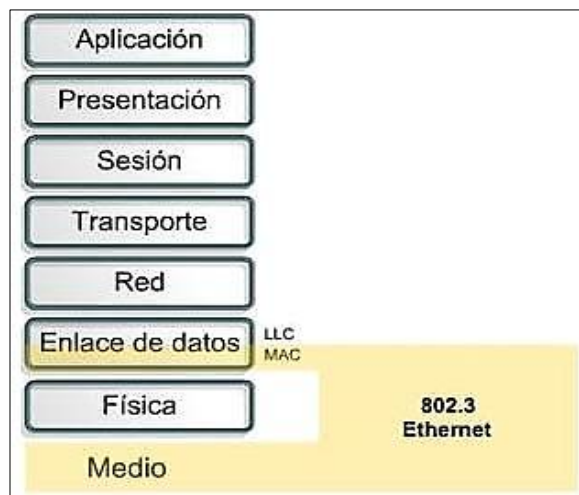


Figura 7. Relación de ethernet en las capas del modelo OSI. Fuente: [21].

Ethernet en la capa uno implica señales, streams de bits que se transportan en los medios, componentes físicos que transmiten las señales a los medios. La capa 1 de ethernet tiene un papel clave en la comunicación que se produce entre los dispositivos, pero cada una de estas funciones tiene limitaciones de las cuales se encarga la capa 2, las subcapas de enlace de datos contribuyen significativamente a la compatibilidad de tecnología y la comunicación con la computadora. La subcapa MAC se ocupa de los componentes físicos que se utilizarán para comunicar la información y prepara los datos para transmitirlos a través de los medios. La subcapa Control de enlace lógico (Logical Link Control, LLC) sigue siendo relativamente independiente del equipo físico que se utilizará para el proceso de comunicación.

1.10.1 ESTRUCTURA DE LA TRAMA ETHERNET

La estructura de la trama ethernet agrega encabezados y tráilers a la PDU (Unidad de Datos de Protocolo) de capa tres para encapsular el mensaje que se envía. Existen dos estilos de tramas ethernet: el IEEE 802.3 (original) y el IEEE 802.3 revisado (ethernet). Las diferencias entre éstas dos son mínimas, al estándar IEEE 802.3 revisado se le agrega un delimitador de inicio de trama (SFD) y un pequeño cambio en el campo “tipo”, el cual incluye el campo “longitud”. El tamaño de la trama mínimo es de 64 bytes y un máximo de 1518 bytes, sin tomar en cuenta los campos preámbulo y delimitador de inicio de trama, esto se lo puede observar en la Figura 8. Sin embargo el estándar IEEE 802.3ac, publicado en 1998 amplió el tamaño de trama máximo permitido a 1522 bytes para que se adapte a una tecnología denominada Red de Área local Virtual (VLAN). Las VLAN se crean dentro de una red conmutada y no son objeto de estudio en la presente investigación.

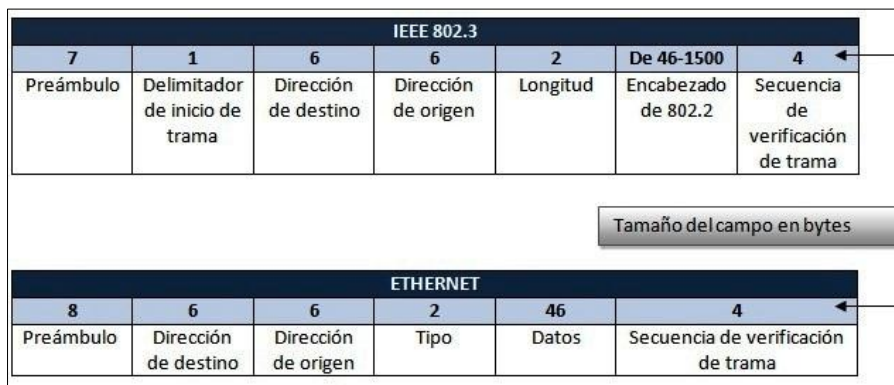


Figura 8. Estructura de la trama ethernet. Fuente: [21].

A continuación se describen de manera resumida los campos de la trama ethernet asociándolos con los valores del presente proyecto (datos de energía eléctrica).

- a) **Preámbulo:** Este campo es un patrón alternado de unos y ceros que se utiliza para la sincronización de los tiempos en implementaciones de velocidades de 10 Mbps y menores de ethernet. Las versiones más veloces (100Mbps) son síncronas y la información de temporización es redundante, únicamente se mantiene por cuestiones

de compatibilidad.

b) Delimitador de inicio de trama: Es un campo de un octeto que marca el final de la información de temporización, y contiene la secuencia de bits 101011011.

c) Dirección destino: Campo de 6 bytes que contiene la dirección destino MAC, puede ser; unicast, multicast o broadcast.

d) Dirección origen: Campo de 6 bytes que contiene la dirección MAC de nuestro dispositivo origen (Shield Arduino).

e) Longitud/Tipo: El valor del tipo especifica el protocolo de capa superior que recibe los datos una vez que se ha completado el procesamiento de ethernet. Longitud indica la cantidad de bytes de datos que sigue este campo.

f) Datos: Este campo es de longitud variable, pueden tener cualquier longitud siempre y cuando la trama no exceda el tamaño máximo permitido, si existen pocos datos a enviar y no se cumple el tamaño mínimo de trama se emplean bits de relleno.

g) Secuencia de verificación de trama (FCS): Este campo contiene un valor de comprobación de redundancia cíclica (CRC) de 4 bytes creado por el dispositivo emisor (Shield Ethernet), y recalculado por el dispositivo receptor para verificar la existencia de tramas dañadas.

1.11 PROTOCOLOS DE RED

Al hablar de protocolos de red nos referimos a las reglas o los estándares que definen la sintaxis, semántica, y sincronización de la comunicación, así como posibles métodos de recuperación de errores entre dos o más entidades de un sistema de comunicación. Cuando hablamos de ethernet ya estábamos hablando de un protocolo de bajo nivel, es decir pertenece a la capa más baja del modelo OSI. En la Tabla 2, se resumen los protocolos correspondientes a los niveles TCP/IP. Es preciso indicar que

existen muchos protocolos, pero no se estudiarán todos, se realiza una breve descripción de algunos y nos enfocamos en los protocolos que se basa el presente proyecto.

Tabla 2. Protocolos de red.

OSI	TCP/IP	Protocolos
Aplicación	Aplicación	HTTP, FTP, SSH, Telnet, SNMP, SMTP, IRC, POP3, DNS, RTP, IMAP
Presentación		
Sesión		
Transporte	Transporte	TCP, UDP
Red	Internet	IP, ICMP, IGMP.
Enlace de datos	Acceso a la Red	ATM, Ethernet, Frame Relay, Token Ring Cables: coaxial, F.O., UTP. Microondas
Físico		

Fuente: [El Autor].

a) Protocolos de Internet

- **ICMP:** Protocolo de Mensajes de Control de Internet. Este protocolo nos permite obtener notificaciones de errores, pero no resuelve los problemas de falta de confiabilidad del protocolo IP, es decir no corrige un problema en la red, solo informa del problema. Este protocolo es muy importante para saber si existe una conexión a un dispositivo de red, en este caso particular servirá para verificar la conexión del arduino a la red de internet.
- **IGMP:** Protocolo de Gestión de Grupos de Internet. Como su nombre lo indica este protocolo se utiliza para intercambiar información acerca del estado de pertenencia entre enrutadores IP que admiten la multidifusión y miembros de grupos de multidifusión.
- **IP:** Protocolo de Internet. Protocolo no orientado a conexión, no confiable. Su unidad de transferencia de datos es el datagrama. El servicio de entrada de datagramas sin conexión, no confiable y con el mejor esfuerzo es la base del modelo TCP/IP.

b) Protocolos de Transporte: Se encargan de la administración de los puertos y los

establece en encabezados de los segmentos, administrando así el envío y re-ensamblaje de cada segmento enviado a la red haciendo uso del puerto especificado.

- **UDP:** Protocolo de Datagramas de Usuario. Es un protocolo no orientado a conexión, no confiable, por lo tanto los datagramas de usuario enviados pueden perderse, duplicarse o llegar en desorden al destino, por lo que la capa aplicación se deberá encargar de los detalles para solucionar estos problemas.
 - **TCP:** Protocolo de Control de Transmisión. Es un protocolo de transporte orientado a conexión, encargado de garantizar una comunicación extremo a extremo confiable, libre de errores y en una secuencia correcta, para que sea utilizada por los programas de capa aplicación que requieran este servicio.
- c) **Protocolos de Aplicación:** Utilizan un determinado puerto para comunicarse con un programa a través de una red.
- **IMAP:** Protocolo de Acceso a Mensajes de Internet. Un protocolo de aplicación que permite el acceso a mensajes almacenados en un servidor de internet, este protocolo utiliza el puerto 143.
 - **RTP:** Protocolo de Transporte en Tiempo Real. Es un protocolo utilizado para la transmisión de información en tiempo real, por ejemplo audio y video, se ejecuta por lo general sobre UDP, ya que posee, menor retardo que TCP, se puede utilizar los puertos 16384 a 16403.
 - **DNS:** Sistema de Nombres de Dominio. Protocolo que se encarga de reconocer el nombre de la máquina remota, con la que se quiere establecer la conexión y traduce el nombre a su dirección IP. El puerto que se utiliza es el 53.
 - **POP3:** Protocolo de Oficina de Correo. Es un protocolo de acceso a los mensajes

almacenados en el servidor sencillo y ágil. El cliente se conecta al servidor y descarga los mensajes recibidos recientemente, almacenándolos en el ordenador personal del usuario. Los mensajes descargados se eliminan del servidor, excepto que el usuario haya indicado lo contrario, se utiliza el puerto 110.

- **SNMTP:** Protocolo Simple de Administración de Red. Es un protocolo que facilita el intercambio de información de administración entre dispositivo de red.
- **SMTP:** Protocolo Simple de Transferencia de Correos. Protocolo de red basado en texto, utilizado para el intercambio de mensajes de correo electrónico entre computadoras, se utiliza el puerto 25.
- **Telnet:** Este protocolo nos sirve para viajar a otra máquina y manejarla remotamente. El puerto que se utiliza generalmente es el 23.
- **SSH:** Secure Shell. Protocolo que facilita las comunicaciones seguras entre dos sistemas utilizando una arquitectura cliente servidor, permite a los usuarios conectarse remotamente. Este Protocolo se lo configura mediante el puerto 22.
- **FTP:** Protocolo de Transferencia de Archivos. Este protocolo al igual que el SSH está basado en una arquitectura cliente servidor, desde un equipo cliente se puede conectar a un servidor para descargar archivos desde él o para enviarle archivos, independientemente del sistema operativo utilizado en cada equipo. Se utiliza el puerto 20.

1.11.1 PROTOCOLO HTTP

Protocolo de Transferencia de Hipertexto. Se puede decir que este protocolo es el más popular ya que es usado en cada transacción de la World Wide Web (www). Define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos de software de la arquitectura web (clientes, servidores, proxies) para comunicarse. HTTP es un protocolo sin estado,

es decir que no guarda ninguna información sobre conexiones anteriores. Este hace uso del puerto 80 y es el que se lo utiliza en el presente proyecto de investigación por lo tanto se detalla más sobre el mismo. La sintaxis de petición del protocolo HTTP es la siguiente:

```
``http :'' ``//'' dirección [``:'' puerto] [path]
```

Donde *dirección* es el nombre de un dominio de internet o una dirección IP, el *puerto* (por defecto 80), y el *path* (por defecto "/") indica el recurso al que se accede.

Los mensajes HTTP consisten en la petición del cliente al servidor y en la respuesta del servidor al cliente, las peticiones pueden ser simples o completas. En las respuestas completas se envían cabeceras y un contenido, en el caso de las peticiones simples solo se utiliza un método llamado GET, y no hay contenido. Es importante mencionar que existen diferentes versiones del protocolo HTTP (HTTP/1.0, HTTP/0.9, HTTP/1.1). El protocolo que se maneja en el presente proyecto es el HTTP/1.1, cuyo formato para la petición a un servidor es como sigue:

Línea de petición (Cabeceras) – CRLF - [Contenido]

La *Línea de petición* comienza indicando el método, seguido del Identificador Uniforme de Recursos (URI)¹ de la petición y la versión del protocolo (HTTP/1.1). *CRLF* indica el finalizado de la línea y retorno de carro. *[Contenido]*, es la información que se transmite.

Los métodos de petición que permite el protocolo HTTP/1.1 son: OPTIONS, GET, HEAD, POST, PUT, DELETE, TRACE. En el caso de que el servidor tenga implementado un método pero no está permitido para el recurso que se pide, entonces se devuelve un código de estado 405 (método no permitido), si lo que ocurre es que no tiene implementado el método, entonces devuelve un código 501 (no implementado). Los únicos métodos que deben soportar los servidores de forma obligatoria son los

¹ URI.-Es una cadena de caracteres corta que identifica inequívocamente un recurso (servicio, página, documento, dirección de correo electrónico, enciclopedia, etc.)

métodos GET y HEAD. Una vez que se recibe e interpreta una petición un servidor debe responder con un mensaje HTTP. Este mensaje tiene el siguiente formato:

Línea de estado (Cabeceras) – CRLF [contenido]

La *Línea de estado* es la primera línea de la respuesta y consiste en la versión del protocolo que se utiliza, seguida de una indicación de estado numérica a la que puede ir asociada una frase explicativa. El formato es el siguiente:

Versión del protocolo – SP – Código de estado – SP – Frase explicativa – CRLF

Donde *SP* es un espacio. El código de estado es un número de 3 dígitos que indica si la petición ha sido atendida satisfactoriamente o no, y en caso de no haber sido atendida indica la causa. Los códigos se dividen en 5 clases definidas por el primer dígito del código de estado, como se explica a continuación:

1xx: Informativos. La petición se recibe y sigue el proceso.

2xx: Éxito. La acción requerida por la petición ha sido recibida.

3xx: Redirección. Para completar la petición se han de tomar más acciones.

4xx: Error del cliente. La petición no es sintácticamente correcta.

5xx: Error del servidor. El servidor falla al atender la petición.

CAPITULO II

2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL HARDWARE

El diseño del hardware del medidor de energía eléctrica está dividido en cinco etapas principales; la primera etapa consta de la adquisición de las señales con los sensores de tensión y corriente, la segunda parte consiste en la adecuación de estas señales, para lo cual se emplea un circuito electrónico, la tercera se basa en la placa “Arduino Mega 2560 R3” empleada para el procesamiento digital de las señales obtenidas, la cuarta consta de la visualización de los parámetros medidos mediante un Display de Cristal Líquido-Táctil (TFT-LCD), finalmente se realiza la comunicación a internet mediante la tecnología ethernet para lo cual se emplea una placa integrada basada en el chip ethernet “Wiznet W5100”. Para tener una concepción general del hardware empleado, se lo presenta la Figura 9 con el diagrama de bloques respectivo.

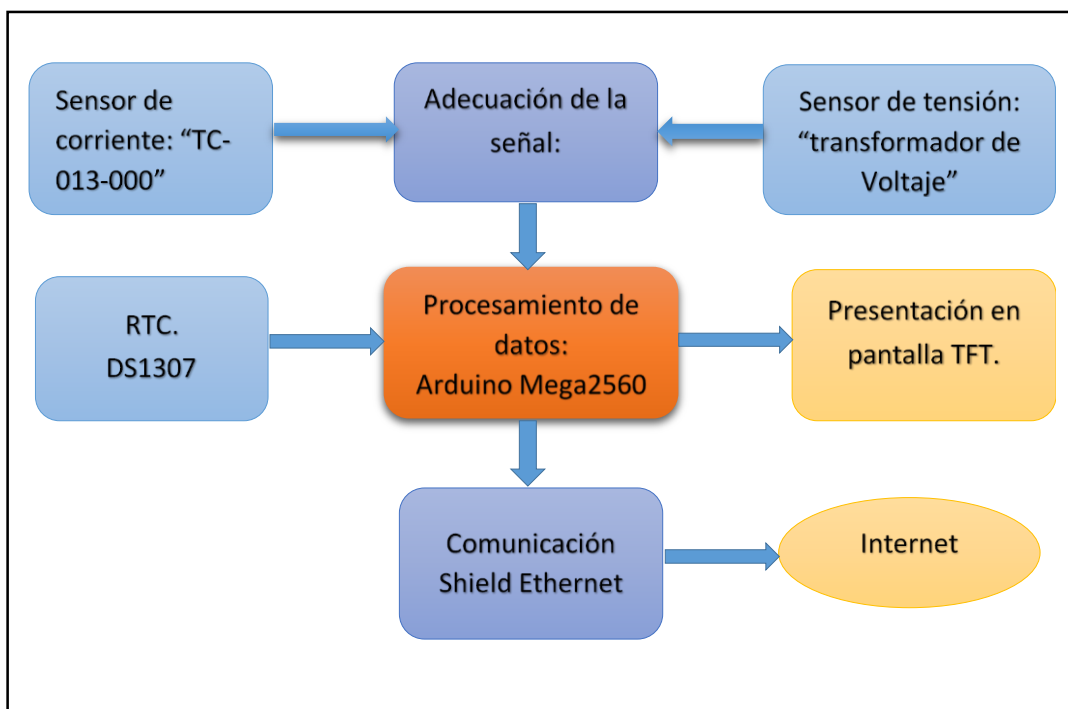


Figura 9. Diagrama de bloques del hardware. Fuente: [El Autor].

2.1 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El sistema de adquisición de datos se basa en el sensor de corriente y el sensor de tensión, éstos admiten tomar las señales analógicas de corriente y de voltaje, pudiendo de esta manera el usuario evaluar el comportamiento de la red eléctrica de un domicilio.

2.1.1 SENSOR DE TENSIÓN.

El transformador de tensión es necesario para medir las variables de energía eléctrica, además este nos brinda seguridad ya que no se requiere tener contacto con la red de 120V, el transformador nos proporciona un aislamiento entre la alta tensión y baja tensión. Los transformadores de voltaje pueden venir de diferentes tensiones nominales lo cual depende del diseño, material y construcción, en este caso se utiliza el transformador que se muestra en la Figura 10 el cual tiene las siguientes características:

- Voltaje de entrada: 120/240 Vrms
- Voltaje de salida 12 -0-12 Vrms
- Frecuencia: 60/50 Hz
- Corriente: 300mA



Figura 10. Transformador de voltaje. Fuente: [El Autor].

El voltaje de salida del transformador es proporcional al voltaje de entrada, sin embargo existe un error en la regulación del voltaje de este tipo de transformadores cuando no funcionan a plena carga (300mA), y la salida puede variar

en un 20%, este transformador presenta un comportamiento muy aceptable en cuanto a linealidad, su funcionamiento se basa en el principio de transformación. La tensión que se mide no varía significativamente, aproximadamente de 108V a 132V, las variaciones de fase son insignificantes. En todo caso se realizará una corrección de fase mediante software para tener una elevada precisión en la medición del consumo de energía.

2.1.2 Yhdc TRANSFORMADOR DE CORRIENTE: SCT-013-000

Un transformador de corriente (TC) es un sensor que se usa para medir corriente alterna, particularmente es muy útil para medir el consumo de energía eléctrica de un edificio, o si es el caso para medir la energía generada por alguna fuente (paneles solares, u otros con una generación de energía relativamente baja). Se basa en un núcleo dividido lo que lo hace adecuado para el uso de bricolaje, ya que se puede enganchar directamente a cualquiera de los dos cables de la red eléctrica (neutro o fase) sin tener que hacer ningún trabajo eléctrico en alta tensión. En la Figura 11 se muestra el sensor “SCT-013-000”.



Figura 11. Yhdc transformador de corriente: sct-013-000. Fuente: [El Autor].

El transformador de corriente tiene un devanado primario, un núcleo magnético y un devanado secundario. El devanado secundario está hecho de muchas vueltas de alambre fino alojados dentro de la carcasa del transformador. La corriente alterna que

fluye en el primario produce un campo magnético en el núcleo que a su vez induce una corriente en el circuito del devanado secundario. La corriente en el devanado secundario es proporcional a la corriente que fluye en el devanado primario por la relación de transformación, esto se indica con la expresión matemática siguiente:

$$I_{sec} = \frac{n_2}{n_1} * I_{primario} \quad (Ec. 21)$$

Normalmente la relación de transformación se escribe en términos de corrientes por ejemplo 100A:50mA que es lo que indica el fabricante del sensor Yhdc SCT-013-000.

2.1.2.1 RESISTENCIA DE CARGA

Una salida de corriente del CT necesita ser utilizada en conjunción con una resistencia de carga, debido a que este sensor no cuenta con ninguna resistencia de carga interna, por lo que la salida de corriente necesita ser adecuada, la carga está dimensionada para proporcionar una señal de tensión útil que es proporcional a la corriente secundaria, además tienen que tener un valor lo suficientemente bajo para asegurar que el núcleo no se sature.

2.1.2.2 AISLAMIENTO

El circuito secundario está aislado galvánicamente del circuito primario. Es decir, no tiene contacto metálico.

2.1.2.3 SEGURIDAD

Cualquier sensor de este tipo nunca debe ser instalado en circuito abierto debido a que es potencialmente peligroso, sin carga se tiene una impedancia infinita por lo tanto la corriente que circula por el primario del transformador intentará continuar con la conducción actual por el secundario, produciendo una tensión alta y potencialmente peligrosa en el secundario.

2.1.2.4 RANGO ÚTIL

La saturación empieza a 100 amperios, tal como lo indica el fabricante. Sin embargo, el transformador todavía dará resultados razonablemente precisos, incluso cuando se somete a una sobrecarga moderada.

2.1.2.5 EFECTO DE LA RESISTENCIA DE CARGA

A medida que aumenta la resistencia de carga se produce un aumento de la tensión a través de la carga, y finalmente la forma de onda de salida se distorsiona, por lo tanto se debe seleccionar una resistencia de carga pequeña para que no exista saturación, y lo suficientemente grande para que el rango de tensión esté entre 0 y 5V.

2.1.2.6 ERROR DE FASE

El error de fase está dado en función de la resistencia de carga, la corriente en el devanado primario y de la frecuencia, para corrientes inferiores a 100mA se produce un error de fase muy significativo, ya que existen interferencias de ruido. Sin embargo para corrientes superiores presenta un pequeño error de fase de comportamiento lineal hasta los 100A. Con respecto a la frecuencia el error de fase es directamente proporcional a la frecuencia. En frecuencias inferiores a 650 Hz el error de fase se mantiene por debajo de 1 grado, para frecuencias de 1.5kHz y 2.5 kHz el error de fase es aproximadamente 5 y 6 grados respectivamente.

Analizando las características descritas se puede concluir que el transformador de corriente Yhdc es adecuado para la medición de corriente alterna. Se puede desarrollar un voltaje suficiente para utilizar plenamente la resolución de la entrada analógica del arduino, además la distorsión de forma de onda debido a la saturación en la tensión secundaria es insignificante a efectos normales. El error de fase es muy aceptable ya que se puede sensar cargas no lineales hasta el armónico de orden 25 (1.5kHz) o superior, lo que es suficiente para una medición de corriente con una elevada precisión.

2.1.3 RELOJ EN TIEMPO REAL (RTC)

Este Circuito Integrado (CI) se lo utiliza para tener un reloj en tiempo real que permita programar ciertos eventos en función del tiempo, como son la energía consumida diaria, la energía de consumo mensual entre otros. Este circuito se ha constituido en una herramienta de mucha utilidad para sistemas que usan aplicaciones de temporización industrial. En la Figura 12 se muestra el C.I DS1307 utilizado para el temporizador RTC.



Figura 12. Circuito integrado del RTC. DS1307. Fuente: [El Autor].

Este es un dispositivo de bajo consumo de energía, completo con código binario decimal (BCD), reloj/calendario, las direcciones y datos son transferidos a través de 2 hilos serie, bus bidireccional. El reloj/calendario provee información de segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. El final de fecha de mes se ajusta automáticamente durante meses menores de 31 días, incluyendo correcciones para el año bisiesto. El reloj funciona en cualquier formato de 24 horas o en 12 horas con indicador AM/PM.

El C.I. DS1307 tiene incorporado un circuito de sensor de tensión que detecta fallas de energía y cambia automáticamente al suministro de batería de respaldo. Algunas de sus características principales son:

- El ajuste para la duración de los meses, incluso en los años bisiestos, es realizado por el propio circuito y es válido hasta el año 2100.
- Contiene 56 bytes de RAM (memoria no volátil) para almacenamiento de datos.

- Permite operación en modo de 12 y 24 horas.
- Su consumo de energía máximo de 800nA.
- Puede generar una señal de onda cuadrada de frecuencia, programable.
- Rango de temperatura industrial opcional: -40 °C a +85 °C.
- Interfaz de dos hilos (I2C).
- Detector automático de fallo de energía y circuito de conmutación.
- El pin 7 es una salida de colector abierto, que oscila a 1Hz, permitiendo colocación de un led como indicador de segundos en aplicaciones de reloj. Los pines X1 y X2 son utilizados para la conexión de un cristal de cuarzo estándar de 32.768 kHz. El circuito implementado es un circuito estándar, el cual se lo muestra en la Figura 13.

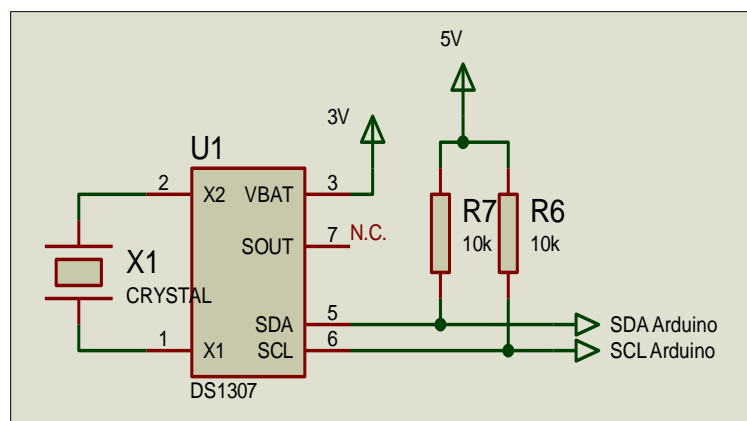


Figura 13. Circuito empleado para el reloj en tiempo real. Fuente: [El Autor].

2.2 ADECUACIÓN DE LA SEÑAL

La adecuación se basa en tener señales dentro del rango de referencia del microcontrolador de arduino, además se requiere que dichas señales estén libre de ruido.

2.2.1 MEDICIÓN DE VOLTAJE MEDIANTE EL TRANSFORMADOR DE TENSIÓN

Para poder adquirir los valores de voltaje mediante la placa arduino resulta obvio el acondicionamiento de la señal de voltaje que nos entrega el transformador, para esto se deben tomar en cuenta algunos aspectos.

Al diseñar cualquier circuito electrónico se debe tener en cuenta algunas variaciones inestables que surgen como parte del proceso de fabricación, la calidad del servicio eléctrico de distribución y a las características de los componentes utilizados (resistencias, transformador, capacitores, etc.), que hacen diferir el valor de medición. Para hacer un acondicionamiento de la señal con éxito se debe tomar en cuenta las condiciones más desfavorables. Los aspectos que se deben tomar en cuenta son los siguientes:

- a** La tensión nominal de la red eléctrica no siempre es constante.
- b** La alimentación del arduino no es exactamente de 5V puede variar entre 4.8V a 5.2V.
- c** La tolerancia de las resistencias, cada resistencia puede tener un error de 1%.
- d** El transformador de tensión no está funcionando a plena carga y pueden variar un 20%.

De acuerdo a la norma de Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución (Regulación No. CONELEC 004/001). Señala que las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor del voltaje nominal en zonas urbanas es de 10%, y en zonas rurales de 13%, sin embargo de acuerdo a la regulación antes mencionada estos porcentajes tanto a nivel urbano como rural se debían reducir a partir del 2011 a 8% y 10% respectivamente. Para realizar el diseño del circuito tomamos en cuenta el peor de los casos para que la señal nunca sobrepase los límites de tensión del ADC de arduino.

La tensión nominal de la red eléctrica es de 120V rms $\pm 10\%$, obteniendo un límite superior de 132V rms y un límite inferior de 108V rms. El voltaje de salida del transformador es proporcional al voltaje AC de entrada, sin embargo existe un error en

la regulación del voltaje de este tipo de transformadores cuando no funcionan a plena carga, y la salida puede variar en un 20%, por este motivo se realizó varias medidas, de las cuales tomamos la muestra correspondiente a 132V en la entrada y 15V a la salida del adaptador.

$$V_{max} = V_{rms}\sqrt{2} = 15\sqrt{2} = 21.21V \quad (Ec. 22)$$

El acondicionamiento de la señal consiste en convertir la onda de la señal de salida de tal manera que el pico positivo sea menor a 5 voltios (4.8 voltios en el peor de los casos) y el pico negativo mayor que 0 voltios, es decir el voltaje debe oscilar sobre una componente de DC de 2.5 voltios, para lo cual se requiere de añadir una señal de DC. Como se puede observar en la Figura 14 la resistencia R1 y RV1 forman un divisor de tensión, escogemos un valor para R1 y calculamos el valor de RV1.

Si $R1=100k\Omega$ El valor de RV1 debe escogerse de tal manera que la tensión no exceda $2.4V_{max}$,

$$V_{out} = \frac{R2}{(R1 + R2)}V_{int} \quad 2.4 V = \frac{(R2)(21.21V)}{100k\Omega + R2} \quad (Ec. 23)$$

$$R2 = 12.8 k\Omega \approx 13k\Omega$$

Debido a que las resistencias también poseen un nivel de error se decide utilizar un potenciómetro de precisión para ajustar la señal de salida adecuada para la adquisición mediante el arduino, el valor de este potenciómetro será mayor a la resistencia calculada ($20k\Omega$), y se regula a un valor de $13 k\Omega$.

Los valores de R3 y R4 deben ser iguales, para que el nivel de referencia sea 2.5V. Mientras mayor es la resistencia se reduce el consumo de energía, dado que es muy importante el ahorro de energía se selecciona una resistencia elevada que será de $100k\Omega$ obteniendo una tensión igual en cada resistencia. Finalmente el circuito empleado para el acondicionamiento de la señal se muestra en la Figura 14.

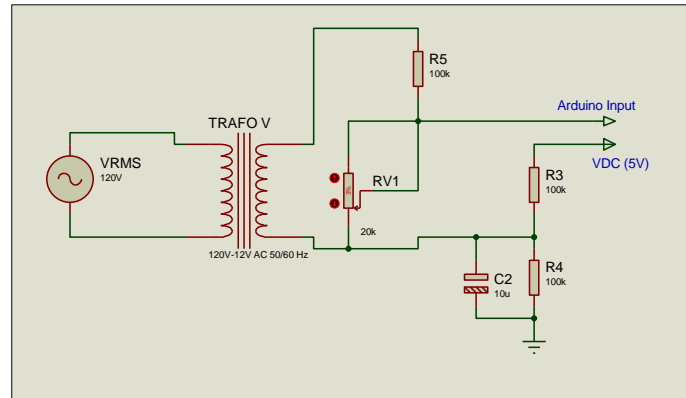


Figura 14. Circuito empleado para el acondicionamiento de la señal de voltaje. Fuente: [El Autor].

Mediante la implementación de este circuito obtenemos la señal de salida que se muestra en la Figura 15.

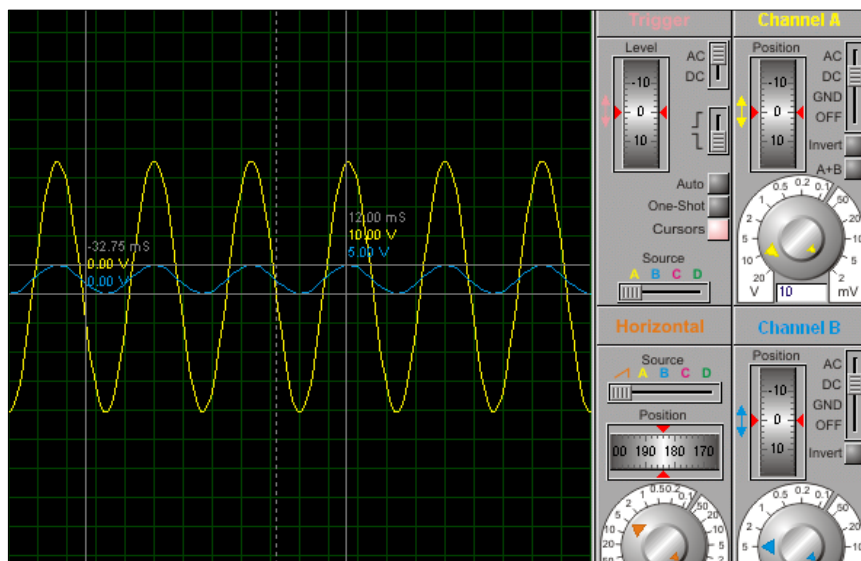


Figura 15. Acondicionamiento de la señal de tensión de salida. Fuente: [El Autor].

2.2.2 MEDICIÓN DE CORRIENTE MEDIANTE EL SENSOR YHDC SCT-013-000.

El sensor utilizado es un transformador de corriente de 100 amperios, tienen un núcleo dividido. La resistencia externa de carga, debe estar dimensionada para proporcionar una señal de tensión útil que es proporcional a la corriente secundaria, es

decir se requiere que la señal de corriente sea convertida a una señal de tensión, además esta resistencia tiene que tener un valor lo suficientemente bajo para asegurar que el núcleo no se sature. En algunos sensores ya viene incluida una resistencia interna de carga y no hace falta la adecuación.

El sensor YHDC SCT-013-000 CT permite sensor un rango de corriente a la entrada de 0 a 100 amperios obteniendo a la salida una variación de 0 a 50mA, debemos entonces trabajar con la corriente máxima que soporta (100A), pero es necesario hallar el valor de la corriente pico-pico tanto de la de entrada como la de salida.

$$I_{max} = I_{rms}\sqrt{2} = 100A\sqrt{2} = 141.42 A \quad (Ec. 24)$$

$$I_{pico} = I_{rms}\sqrt{2} = 50mA\sqrt{2} = 70.71 mA \quad (Ec 25)$$

Se requiere que la onda de la señal de tensión producida por la variación de corriente esté entre 0V y 5V, entonces la tensión máxima que debe proporcionar el sensor de corriente debe ser 2.5 V por lo tanto la resistencia ideal de carga se calcula tomando en cuenta las consideraciones anteriores se hará el cálculo con 2.4 V.

$$R_{Load} = \frac{2.4V}{70.71mA} = 33.9\Omega \approx 34\Omega$$

Una resistencia de 33.9Ω no es común, además debido a los errores que pueden tener los componentes se hace uso de un potenciómetro de precisión y se ajusta la onda de tensión adecuada para la adquisición mediante el arduino, el valor del potenciómetro será de $1k\Omega$, y se regula a 33Ω . Al igual que en el acondicionamiento de la señal de tensión se sumará una señal de DC para desplazar la onda, y que oscile alrededor de 2.5V siendo siempre positivo. Este circuito lo podemos observar en la Figura 16.

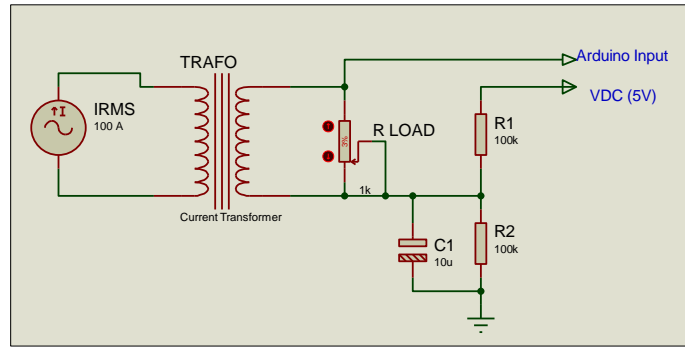


Figura 16. Circuito empleado para el acondicionamiento de la señal de corriente.
Fuente: [El Autor].

La señal que se obtiene a partir del circuito anterior se la que se muestra en la Figura 17.

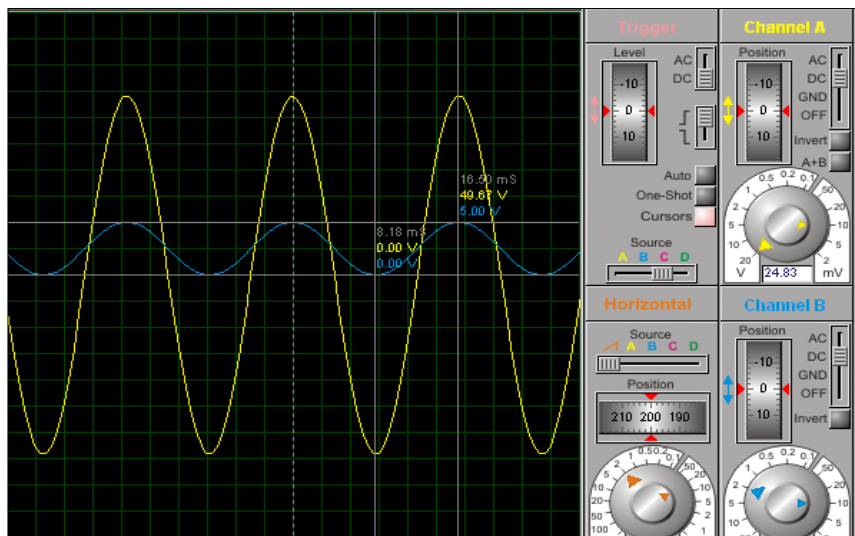


Figura 17. Acondicionamiento de la señal de corriente de 0 – 5V. Fuente: [El Autor].

2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de las señales de voltaje y corriente se realizan con la placa integrada arduino “Arduino Mega 2560 R3”, el cual tiene todas las características necesarias para adecuarlo de acuerdo a nuestra aplicación. A continuación se detallan sus características técnicas.

2.3.1 ARDUINO ATMEGA 2560 R3

Esta placa se basa en el microcontrolador ATmega2560, incluye todos los elementos necesarios que sirven como soporte para el microcontrolador, simplemente se lo conecta al ordenador con un cable USB para su programación y a su vez utilizado como alimentación, también se la puede alimentar con un adaptador de tensión AC/DC. La diferencia principal del “Arduino Mega 2560 R3” con las anteriores versiones es, que ya no utiliza el chip controlador “USB-serial FTDI”, en su lugar se emplea el Chip ATmega16U2 (versión 1 y 2). Las especificaciones técnicas se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 R3.

Microcontrolador	ATmega2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Digital E/ S Pins	54 (15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente DC para los pines E/S	40 mA
Corriente DC para el Pin de 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB, 8 KB utilizados para el “bootloader”
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Puertos seriales (UARTs)	4

Fuente: [22].

En la Figura 18 se muestra la placa del “Arduino Mega 2560 R3”, con su respectiva distribución de pines.

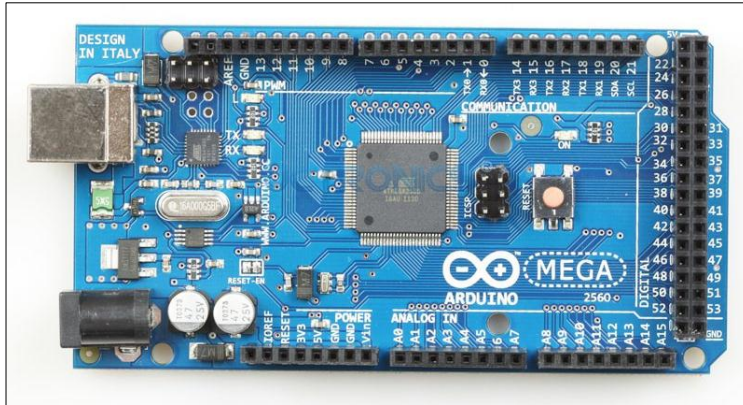


Figura 18. Placa del Arduino Mega 2560 R3. Fuente: [El Autor].

A continuación se describe de manera resumida las características más importantes de la placa arduino:

- a) **Potencia:** La placa arduino puede ser alimentada a través de la conexión USB, o con un adaptador AC/DC de 5V, la placa tiene un circuito incluido que permite seleccionar automáticamente la fuente, el pin (**VIN**) puede ser alimentado con una tensión de 7 a 12 voltios ya que tiene un regulador interno, el pin (**5V**) se lo puede utilizar como salida regulada a 5V, no obstante este puede proporcionar menos de 5 voltios, además a este pin se le puede suministrar la alimentación (5 voltios) pero no es recomendado ya que este no pasa por el regulador y si se excede el voltaje puede dañar nuestra placa, lo mismo para el pin de (**3.3V**).

- b) **Entradas y Salidas:** Estos pines operan a 5 voltios, cada pin puede proporcionar o recibir una corriente máxima de 40mA además cuenta con una resistencia pull-up de 20-50 kOhms. Los pines de transmisión (**TX**) y recepción (**RX**) se utilizan para transmitir y recibir datos TTL en serie, los pines 0 (**RX0**) y 1 (**TX0**) están conectados a los pines correspondientes del "ATmega16U2 USB-Serial".

- c) **PWM (Modulación por Ancho de Pulso):** Los pines que se pueden configurar para PWM son del 2 al 13 y del 44 al 46 salidas, estas salidas son de 8 bits.

- d) **SPI:** Serial Peripheral Interface. Los pines desde el **50** al **53** soportan la comunicación SPI.
- e) **I2C (Interfaz de Dos Hilos):** Los pines para la comunicación de dos hilos son el **20 (SDA)** y el **21(SCL)**.
- f) **ADC (Conversión Análoga-Digital):** La placa “Arduino Mega2560 R3” tiene 16 entradas analógicas, las cuales trabajan con 10 bits de resolución, éstas por defecto se miden con referencia de 0 a 5 voltios, pero es posible cambiar la referencia utilizando el pin (**AREF**) [22].

Mediante esta plataforma se realiza la conversión análoga digital de las señales de corriente y voltaje con una resolución de 10bits. Luego se realiza el procesamiento adecuado de los datos mediante un algoritmo de programación, una vez que se realiza el procesamiento de los datos se crea un algoritmo adicional para la presentación de los datos en una pantalla TFT-LCD, y finalmente se crea un algoritmo para establecer la comunicación a internet.

2.4 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS EN LA PANTALLA TFT

Para poder visualizar los datos de energía, se utiliza una pantalla Táctil LCD, la misma presentará los valores de corriente y tensión eficaz, potencia activa, potencia aparente, factor de potencia y energía consumida con sus respectivas unidades de medición. Las pantallas TFT, denominadas así por las siglas (Thin Film Transistor- Liquid Crystal Display) usan la tecnología transistor de película delgada para mejorar la imagen. Existen muchos modelos de pantallas tft, las cuales se diferencian en tamaño, controladores, serie, fabricantes, entre otras. En el presente proyecto de investigación se ha utilizado la (LCD-TFT 3.2” 240*400) por lo cual a continuación se detalla más sobre sus características.

2.4.1 TFT-LCD 3.2" 240*400

Módulo ITDB02-3.2WD esta pantalla es de 3.2 pulgadas con 65 mil colores 400*240 de resolución, el controlador de este módulo LCD es HX8352-A, es compatible con la interfaz de datos de 16 bits con 4 cables de control de la interfaz. Además este módulo incluye la pantalla táctil y el zócalo de la tarjeta SD.



Figura 19. Pantalla Táctil “TFT-LCD”. Fuente: [23].

Las especificaciones técnicas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Especificaciones técnicas de la TFT-LCD.

Modelo	IM120419006
Tamaño de la pantalla	3.2"
Resolución	400 * 240
Interfaz	Paralelo 16 Bit
Controlador	HX8352-A
Tamaño de la placa	95 x 60mm
Corriente	20-40mA

Fuente: [23].

2.4.1.1 SHIELD TFT-LCD

Un shield simplemente es una placa que puede ser conectada encima de la placa arduino, permitiendo la extensión de sus capacidades, facilidad de montaje, ahorrando espacio y a su vez brindando una mejor estética. El shield de la tft viene con unas

resistencias en serie para limitar la corriente en todas las conexiones, excepto en los pines de alimentación y común. Cabe mencionar que la shield tft-lcd versión 1.2 para “Arduino Mega 2560 R3” viene con un error de fábrica, el cual se lo debe corregir para poder trabajar con normalidad, en el caso que se requiera utilizar la microSD de la pantalla. El error consiste en la conexión de los terminales (pines) que se utiliza para la tarjeta microSD, como se detalla a continuación:

La conexión que viene de fábrica es:

PIN del Arduino	PIN de la TFT
51	36
52	37

Lo que se debe corregir es invertir los pines quedando de la siguiente manera:

PIN del Arduino	PIN de la TFT
51	37
52	36

2.5 COMUNICACIÓN A INTERNET MEDIANTE EL SHIELD ETHERNET DE ARDUINO

La shield ethernet de arduino permite a una placa arduino conectarse a internet, está basada en el chip ethernet Wiznet W5100. El Wiznet W5100 permite conectarse a la red IP, y soporta los protocolos TCP y UDP, además tolera hasta cuatro conexiones de sockets simultáneas. El W5100 es un chip controlador ethernet con conexión a internet de 10/100 Mbps con todas las funciones, diseñado para aplicaciones embebidas donde se requiere facilidad de integración, estabilidad, rendimiento, y el control de costos que un sistema requiere. Este chip ha sido diseñado para facilitar la implementación de la conectividad a internet y sin requerir un sistema operativo. Además es compatible con el estándar IEEE 802.3 10BASE-T y 802.3u 100BASE-TX.

El chip W5100 ethernet incluye la capa TCP / IP y es compatible con los protocolos TCP, UDP, ICMP, ARP, IGMP y PPPoE, posee 16Kbytes de buffer interno que es incluido para la transmisión de datos. Para facilitar la integración, existen tres

interfaces diferentes como forma de acceso a la memoria, llamadas directas, bus indirecta y SPI, están soportadas por la unidad de control multipunto (MCU). El uso de este dispositivo es muy adecuado para muchas aplicaciones integradas.

2.5.1 APLICACIONES

- a)** Dispositivos de red doméstica; Set-Top Boxes, adaptadores de medios digitales.
- b)** Serial a ethernet; controles de acceso.
- c)** Paralelo a ethernet; Mini-Impresoras, copiadoras.
- d)** USB a ethernet; Dispositivos de almacenamiento, impresoras de red.
- e)** Red de sensores.
- f)** Sistemas de seguridad, cámaras de red.
- g)** Servidores embebidos.
- h)** Equipos de monitoreo médico.

2.5.2 CARACTERÍSTICAS

Las características principales del chip de ethernet tenemos los siguientes:

- a)** Soporta Protocolos TCP / IP: TCP, UDP, ICMP, IPv4 ARP, IGMP, PPPoE, Ethernet
- b)** En la capa Física; 10BaseT/100BaseTX ethernet integrado.
- c)** Soporta a la negociación automática (full dúplex y half dúplex)
- d)** Auto soporte MDI/ MDIX (conexión directa o cruzada)
- e)** Conexión ADSL Apoyo (con soporte PPPoE Protocolo de autenticación PAP/ CHAP modo).
- f)** Soporta 4 entradas independientes de forma simultánea
- g)** Memoria interna de 16Kbytes Tx / Rx para Buffers.
- h)** Consumo de corriente máxima en 100BaseT de 183mA.
- i)** Operación 3.3V con la tolerancia de la señal de E / S de 5V.

En la Figura 20 se muestra el circuito integrado del chip ethernet Wiznet W5100.



Figura 20. Circuito Integrado Wiznet W5100. Fuente: [24].

El shield ethernet de arduino tiene una conexión estándar Rj-45, además tiene una ranura para incorporar una tarjeta micro-SD que se la puede utilizar para almacenar archivos y funcionar como servidor en una red. El arduino se comunica tanto con el W5100 y la tarjeta SD a través del bus SPI, esto es mediante los pines digitales 50, 51, 52 y 53 del “Arduino Mega 2560 R3”. El pin 10 es utilizado para seleccionar el W5100 y el pin 4 para la micro-SD, dichos pines no pueden ser utilizados para otros fines mientras la shield de ethernet esté conectada.

Cabe destacar que el C.I. W5100 y la micro-SD comparten el bus SPI, por lo que sólo uno de ellos puede ser utilizado a la vez. Si se desea utilizar ambos simultáneamente, hay que tener en cuenta al escribir el código. En la Figura 21 se muestra la placa ethernet a utilizar en el presente proyecto.

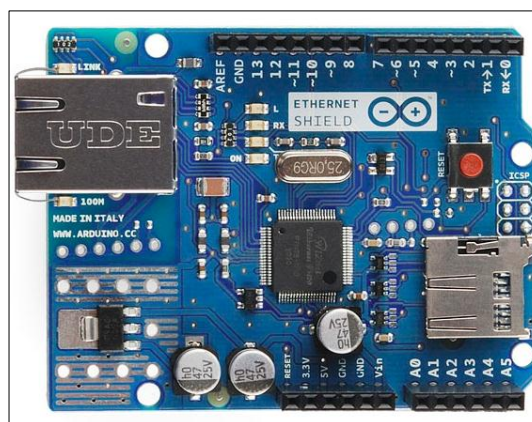


Figura 21. Shield ethernet para arduino. Fuente: [El Autor].

CAPITULO III

3 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

El software implementado se lo puede dividir en varios algoritmos empleados para cumplir una función específica, dentro de estos tenemos los siguientes: conversión análoga digital, calibración de sensores, corrección de fase, filtro pasa alto para eliminar la componente de corriente directa, cálculo de las variables de energía eléctrica, lectura automática del voltaje de referencia del microprocesador, presentación en la pantalla táctil TFT-LCD y comunicación a internet.

En la siguiente figura se presenta el diagrama de bloques del software implementado:

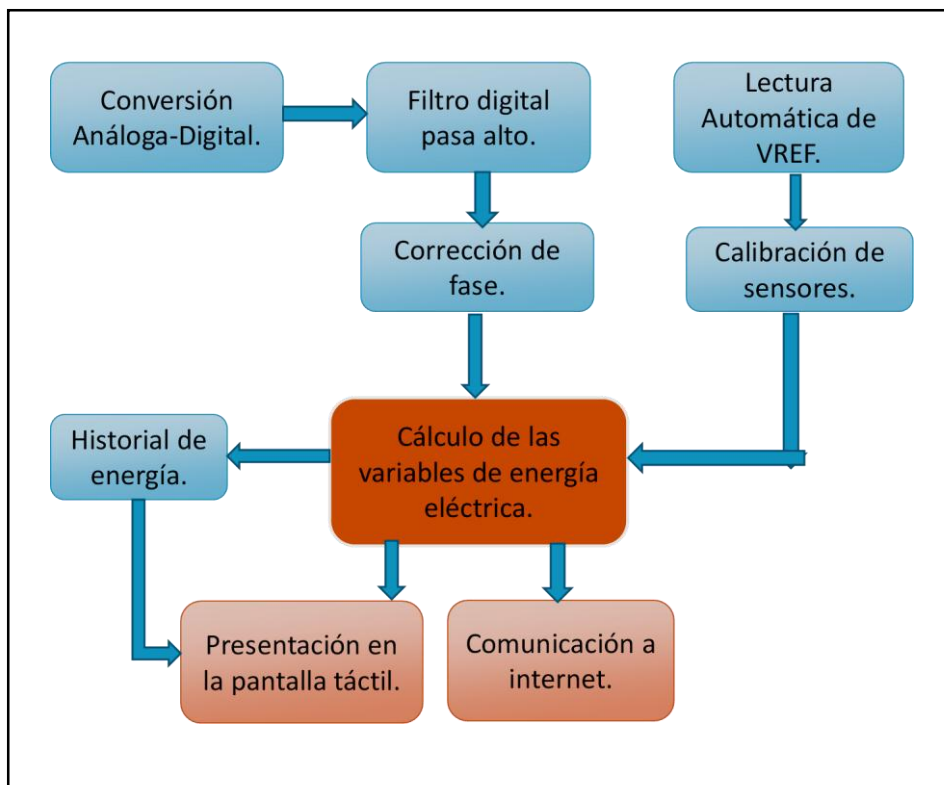


Figura 22. Diagrama de bloques del software implementado para el sistema de medición de energía eléctrica. Fuente: [El Autor].

3.1 CONVERSIÓN ANÁLOGA-DIGITAL

La conversión análoga digital, de las señales de corriente y voltaje, se realiza utilizando la función del software arduino "analogRead". Primero se toma una muestra de la señal de voltaje, seguidamente una muestra de la señal de corriente, a estas muestras posteriormente se les aplica un filtro pasa alto. La frecuencia de muestreo está determinada por el tiempo que tarda en tomar una muestra el microprocesador de arduino.

3.1.1 CONSIDERACIONES PARA LA FRECUENCIA DE MUESTREO

La frecuencia de muestreo está dada por la velocidad de muestreo del microcontrolador ATmega 2560, en todo caso hay que cumplir la ley de Nyquist, para lo cual se deben considerar los armónicos que se producen en señales eléctricas. Como se mencionó en el capítulo I, las cargas conectadas a la red eléctrica no son lineales, por lo que se producen intensidades y tensiones con armónicos. La distorsión por armónicos es una forma de contaminación en la planta eléctrica que puede provocar problemas si la suma de las intensidades de armónicos supera ciertos límites. Los armónicos, tienen frecuencias que son múltiplos de la frecuencia fundamental (60Hz), y su amplitud va disminuyendo, significativamente conforme aumenta el orden del armónico.

Esto es muy importante a la hora de realizar el muestreo de las señales de corriente y tensión ya que siempre se debe cumplir el criterio de Nyquist, el cual determina que la frecuencia de muestreo debe ser doble de la señal, si se examina la señal eléctrica mediante un analizador espectro se observa que a menudo hay una buena cantidad de energía hasta el quinto armónico, pudiendo descartarse los armónicos partir de este. Es así que si no se requiere una gran exactitud, se puede tomar en cuenta solo hasta el quinto armónico, dando una respuesta aceptable, en estas condiciones tendríamos una señal con una frecuencia de 300Hz. Para cumplir el criterio de Nyquist la frecuencia de muestreo debe ser mayor a 600Hz:

El conversor ADC del arduino tarda aproximadamente 100 microsegundos (0.0001 segundos) en leer una entrada analógica por lo que se puede llevar una tasa de lectura máxima aproximada de 10.000 lecturas por segundo. Debido a que se realiza la toma de una muestra de voltaje, seguida de una de corriente, la velocidad a la que se toma una muestra ya sea de corriente o tensión es de es de 400uS por este motivo la frecuencia de muestreo real está dada por la Ecuación 26.

$$F_m = \frac{1S}{400\mu S} = 2500 \text{ Muestras por segundo.} \quad (\text{Ec. 26})$$

3.2 FILTRO DIGITAL PARA ELIMINAR EL NIVEL DE DC

El microprocesador ATmega2560 tiene un rango de tensión de 0 a Vcc (5V), cuando se muestrea la señal de AC está dividida en Vcc/2, lo que corresponde a la muestra 512 en el dominio digital, es decir la forma de onda será muestreada de 0 a 1024, en torno a 512. Para poder calcular la potencia real, voltaje y corriente eficaz, se tiene que eliminar primero el nivel de offset, que se le introdujo.

3.2.1 FILTRO DIGITAL PASA ALTO (HPF)

Los filtros pasa altos tienen muchas aplicaciones entre las cuales tenemos el bloqueo de señales de offset. Un filtro digital fundamental se basa en la conversión del tiempo continuo a tiempo discreto, mediante la transformada bilineal, u otros métodos. Un filtro pasa alto básico se lo toma a partir del de la conversión de un filtro en tiempo continuo RC a tiempo discreto [25]. Este filtro se lo ilustra en la Figura 23.

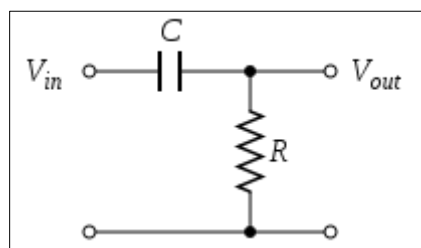


Figura 23. Filtro RC Pasa Alto. Fuente: [25].

La figura anterior corresponde a un filtro de primer orden sencillo, este se implementa mediante la alimentación de una señal al circuito RC, y se toma la tensión en la resistencia como salida, el producto de la resistencia y la capacitancia ($R \times C$) es la constante de tiempo la cual es inversamente proporcional a la frecuencia de corte f_c es decir:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (\text{Ec. 27})$$

La implementación de un filtro básico pasa alto en tiempo discreto está dado por la forma:

$$y_i = \alpha y_{i-1} + \alpha (x_i - x_{i-1}) \quad (\text{Ec. 28})$$

$$y_i = \alpha (y_{i-1} + (x_i - x_{i-1})) \quad (\text{Ec. 29})$$

$$\alpha = \frac{RC}{RC + \Delta_T} \quad (\text{Ec. 30})$$

$$RC = \Delta_T \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde Δ_T es el tiempo entre muestras (velocidad a la que se toma cada medida), se considera que las muestras de la entrada y salida se toman en puntos uniformemente espaciados, en tiempos separados. x_i , es la muestra de la señal de entrada actual, x_{i-1} es la muestra de la señal entrada anterior y y_{i-1} es la muestra filtrada anterior. Por definición $0 \leq \alpha \leq 1$ [25].

Se requiere que la frecuencia de corte sea lo suficientemente baja para que no atenúe la señal de 60Hz, y que elimine la componente DC que tiene frecuencia ideal de 0Hz, escogemos una frecuencia de corte $f_c = 1.5\text{Hz}$ y procedemos a calcular la constante de tiempo ($RC=\tau$) a mediante la Ecuación 27.

$$RC = \frac{1}{2 \times \pi \times 1.5\text{Hz}} = 106\text{mS}$$

Luego procedemos a calcular el valor de α con la Ecuación 30, sabiendo que el periodo de muestreo mediante software es de 400 μ S

$$\alpha = \frac{106mS}{106mS + 400\mu S} = 0.996$$

Finalmente reemplazando el valor de α en la Ecuación 29, se tiene la expresión matemática que caracteriza al filtro digital empleado mediante software:

$$y_i = 0.996(y_{i-1} + (x_i - x_{i-1})) \quad (Ec. 32)$$

Las matemáticas empleadas en float consumen muchos recursos del microprocesador. Si se quiere reducir el retardo es preciso trabajar en enteros, por lo que se puede sustituir el valor de alpha (0.996) por $\alpha = \frac{255}{256}$. La multiplicación por 0.996 se puede llevar a cabo de manera eficiente utilizando operaciones de bajo nivel, mediante el desplazamiento de bits. La multiplicación y división se hace sencilla utilizando operadores a nivel de bits, a continuación se muestra este proceso.

$n \times 256 = n \ll 8$ (desplazamiento bit a bit a la izquierda de 8 bits = multiplicación por 256)

$n / 256 = n \gg 8$ (desplazamiento a la derecha bit a bit de 8 bits = división por 256)

$n \times 255 = n \times 256 - n = ((n \ll 8) - N)$. Para ver el algoritmo implementado en arduino ir al Anexo B-1.

3.3 CORRECCIÓN DE FASE

Existen dos componentes que tienen que tomarse en cuenta para la corrección de fase, los valores de desplazamiento individuales del sensor de corriente y de voltaje, y el retardo que existe en tomar las muestras de tensión y corriente. La corrección de fase se realiza a la señal de voltaje y el resultado se lo utiliza únicamente para el cálculo de la potencia real, por ende el factor de potencia. Para la corrección de fase se empleará un algoritmo adecuado.

3.3.1 DESFASE PRODUCIDO POR LOS SENSORES

Revisando la respuesta de fase de los sensores de tensión y corriente, ambos tienen un error de fase que varía en magnitud. En el sensor de tensión el desfase aumenta de forma lineal con el aumento de tensión, el sensor de corriente tiene un comportamiento similar. Para poder corregir el error de fase se debe aplicar una carga resistiva, observar el desfase que existe de la tensión respecto a la corriente y proceder a establecer un método para la corrección.

El efecto del error de fase se ve reflejado claramente en el factor de potencia, ya que este es igual al coseno del ángulo de fase (en cargas resistivas ideales). Cuando el factor de potencia está cerca de 1 por ejemplo; $\cos(2^\circ) = 0,9994$, $\cos(5,5^\circ) = 0,9954$, el factor de potencia tiene un error entre 0,0006 y 0,0046 respectivamente. Sin embargo cuando el factor de potencia es muy bajo, por ejemplo 0,099, el ángulo de fase es $84,3^\circ$ y el rango de error se vuelve mucho más grande.

Para poder calcular el error de fase se somete a pruebas con cargas resistivas al sensor de corriente conjuntamente con el sensor de tensión, en la Figura 24 se tiene la señales de corriente y tensión, aquí se ve que la señal de corriente (roja), está adelantada respecto a la señal de tensión (verde), aplicando una carga resistiva (bombilla incandescente de 200W).

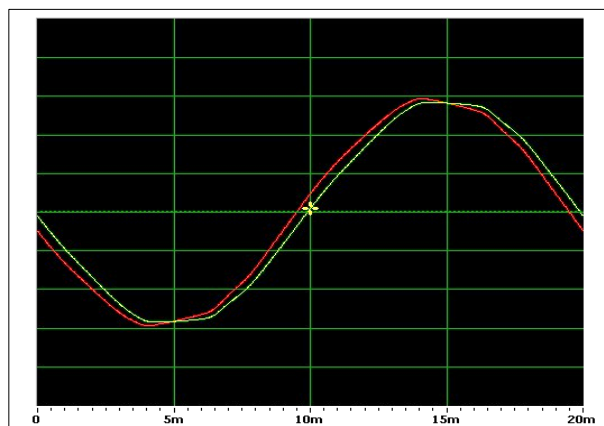


Figura 24. Desfase entre corriente y el voltaje producido por los sensores.
Fuente: [El Autor].

A partir de la señal obtenida se procede a calcular el error de fase, en la Figura 24 se observa que la señal de corriente está aproximadamente por delante de la señal de tensión unos 430uS, para poder representar el desfase en grados partimos de los siguientes valores:

$$f = 60\text{Hz} \qquad T_{\text{desfase}} = 430\mu\text{S} \qquad 360^\circ \text{ En un ciclo.}$$

$$T = \frac{1\text{S}}{60\text{Hz}} = 16.667\text{mS} \qquad \text{(Ec. 33)}$$

Al tiempo que tarda una onda completa la dividimos para 360° y obtenemos el desfase aproximado.

$$\frac{16.667\mu\text{S}}{360^\circ} = 46.3\mu\text{S por Grado}$$

Esto equivale que en 430uS tenemos un desfase aproximadamente de 9.29°, siendo este el valor a tomar en cuenta para la corrección de fase.

3.3.2 DESFASE PRODUCIDO POR EL RETARDO DE MUESTREO

El tiempo de retardo de muestreo está dado por la velocidad a la que se toma una muestra ya sea de corriente o tensión, al obtener una muestra de tensión y una de corriente de manera alternada el retardo total es de 400uS mas el tiempo que tarda el microcontrolador en ejecutar una instrucción que es aproximadamente de 62.5nS. En el algoritmo implementado se utilizan 16 instrucciones, que equivale a un retardo de 1uS.

Con estos datos calculamos el desfase producido a partir de la Ecuación 33 obtenemos que en 401uS se produce un desfase de 8.66°. Este desfase está directamente relacionado con el orden en que se tome las muestras, es decir si se obtiene primero una muestra de tensión y luego la de corriente, corresponde a un adelanto de fase de la tensión respecto de la corriente, o si se toma en sentido inverso el adelanto se producirá por la señal de corriente.

Mediante el análisis del desfase producido por los sensores se concluyó que la corriente estaba adelantada con respecto a la tensión, por ende el orden en tomar las muestras es de: una muestra de tensión y luego una de corriente, de esta manera se puede compensar cierto desfase. Sin embargo sigue existiendo un desfase que es suficiente para que produzca un error considerable en el factor de potencia. Es por esto que se implementa un método para la corrección de fase.

3.3.3 MÉTODO EMPLEADO PARA LA CORRECCIÓN DE FASE

La corrección de fase se la realiza empleando el método de extrapolación lineal, tomando en cuenta los aspectos antes descritos. La extrapolación lineal es un método numérico y gráfico, que permite encontrar datos desconocidos que están más allá de los datos ya conocidos. El tipo de extrapolación difiere según la naturaleza de los datos tratados. Existe la extrapolación lineal (para datos que presentan una relación lineal entre sí), la extrapolación polinómica, extrapolación exponencial, etc.

Para explicar la extrapolación empleada partimos de la Figura 25, donde se toma en cuenta 18 muestras por ciclo (por simplicidad), en la realidad se toma aproximadamente 42 muestras por ciclo, 2500 muestras por segundo.

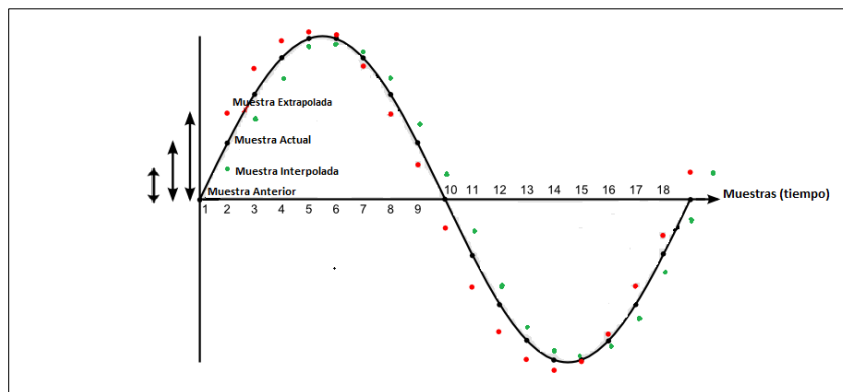


Figura 25. Diagrama de interpolación o extrapolación de una señal sinusoidal.
Fuente: [El autor].

La primera muestra se lee a partir de la entrada analógica, y se convierte en la “muestra actual”, (No tomamos en cuenta lo que pasa en el resto del algoritmo por ahora), cuando se toma la siguiente muestra, ésta se convierte en la “muestra anterior”, teniendo así los dos primeros puntos del diagrama. A partir de aquí por análisis se establece que si se le multiplica una constante a la diferencia entre la muestra actual menos la muestra anterior, y al resultado se le suma la muestra anterior obtenemos la interpolación (si la $ctte < 1$), y extrapolación (si la $ctte > 1$). La expresión matemática que describe esto está dada por la Ecuación 34.

$$V_{\phi} = M. Anterior + Ctte. Calib \times (M. Actual - M. Anterior) \quad (Ec. 34)$$

Donde:

V_{ϕ} = Voltaje desfasado y (M. Actual, M. Anterior), son las muestras actual y anterior previamente filtradas.

Se consideran 2 valores para la constante de calibración; $ctte > 1$ en este caso 1.5 y $ctte < 1$, 0.5. Si la constante de calibración es de 1.5 se obtiene los puntos rojos, y si tiene un valor de 0.5 se obtiene los puntos verdes, como se observa en la Figura 25. Una vez explicado este método procedemos a calcular la constante multiplicativa (Ctt.Calib), la corrección de fase se centra en uno, es decir si la constante tiene un valor de 1 no se aplica ninguna corrección, si es cero y dos corresponden desplazarse a la derecha o izquierda en una muestra (8.66°). Ahora tomamos en cuenta los desfases calculados anteriormente, los producidos por los sensores al someterlos a una carga resistiva, y el desfase producido por el retardo entre muestras. En el primer caso la corriente estaba adelantada 9.29° respecto a la tensión y en el segundo caso se produce un adelanto de la tensión de 8.66° , esto equivale a que la corriente sigue adelantada 0.63° por lo que se requiere un desplazamiento de la tensión hacia la izquierda. Para ver el algoritmo implementado ir al anexo B-2.

$$\phi = \frac{0.63^\circ}{8.66^\circ} = 0.073 \quad (Ec. 35)$$

Finalmente la constante de calibración será $1 + \phi$

$$Ctte. Calib = 1.073$$

3.4 LECTURA AUTOMÁTICA DEL VOLTAJE DE REFERENCIA

Para que las señales de voltaje medidas con el microprocesador puedan ser convertidas en valores reales, se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Voltaje} = \frac{ADC}{1024} \times V_{ref} \quad (\text{Ec. 36})$$

Generalmente “Vref” se lo toma como un valor constante, siendo el voltaje de alimentación del microcontrolador (5V). Sin embargo esta tensión puede variar debido a las condiciones de la red eléctrica, o si se hace uso de baterías para la alimentación, el voltaje de éstas no va ser siempre el mismo. Eso hace una gran diferencia en los resultados de la conversión del ADC al valor de la tensión real. Además en el caso que se desee controlar la alimentación, se debe saber el nivel la batería exacta.

Si la precisión es uno de los objetivos en la realización cualquier proyecto se tiene que saber exactamente el valor de alimentación en el momento que se está haciendo la lectura del ADC. Con el fin de medir el voltaje analógico con precisión, necesitamos una referencia de voltaje de precisión, es por esto que la mayoría de los chips AVR tienen la capacidad de medir la referencia interna de 1,1 voltios, la cual es utilizada para medir la tensión de referencia externa exacta. El algoritmo se muestra en el anexo B-3.

3.5 CALIBRACIÓN DE SENSORES

La calibración de los sensores se la realiza mediante un algoritmo de programación, pero antes de ello debemos encontrar la ecuación que se utilizará para la calibración. Los sensores de corriente y voltaje tienen un comportamiento lineal, lo que se busca es hallar una constante de calibración que será el factor multiplicativo a las muestras tomadas por el arduino mediante las entradas del ADC. En la construcción de cualquier prototipo es imposible tener una absoluta precisión, en términos generales mientras más precisión se requiera aumentará la dificultad y por ende el costo de cualquier prototipo. La precisión de la medición de la corriente y voltaje dependerá principalmente de los siguientes aspectos:

- La precisión con que se mide los valores de corriente y voltaje de carga de la red eléctrica.
- El comportamiento de los transformadores de corriente y tensión en diferentes cargas.
- Las condiciones en las que los sensores operan.
- Influencias externas.
- El comportamiento de los elementos activos y pasivos en diferentes condiciones (tiempo, temperatura, etc.).
- La precisión de la tensión de referencia para el ADC.
- El instrumento de medición empleado para la calibración (Amperímetro, Multímetro).

Para realizar la calibración del sensor de voltaje se emplea el multímetro “BK-PRECISION 2707B” el cual tiene un error de $\pm (2.0\%)$ en el rango de 200 voltios y 750 voltios. En el rango de 200mV-20V un error de $\pm (1.5\%)$.

En el desarrollo del presente trabajo se mide una tensión de 120 voltios y 2.5 voltios en los rangos de 200V y 20V respectivamente, por ejemplo si el valor a medir es 120 voltios se utiliza una escala en el multímetro de 200V, tomando en cuenta el error de precisión del multímetro este valor se puede convertir en 122.4 voltios o 117.6 voltios, en el caso de 2.5 voltios el voltaje de referencia utilizado es de 20V, por lo tanto el multímetro puede tomar los valores de 2.5375 voltios o 2.4625 voltios en los extremos, dichos valores son redondeos a 2 decimales, teniendo una incertidumbre de obtener los valores de 2.54 voltios o 2.46 voltios en el peor de los casos. Entonces el error de precisión con el que se mide se convierte en:

$$E\% = \frac{2.54 - 2.5}{2.5} \times 100 = 1.6\% \quad (Ec. 37)$$

Cuando se emplea la escala de 200V se mantiene el mismo error que tiene el multímetro.

$$E\% = \frac{122.4 - 120}{120} \times 100 = 2\% \quad (\text{Ec. 38})$$

Para la medición de la corriente se utilizará un amperímetro “*Digital Clamp Meter DT266C*” el cual tiene un error de (2.5%), tanto para el rango de 200 amperios como para el de 20 amperios. Es decir en los valores que se midan se tiene una incertidumbre de medición que obedecen a la siguiente ecuación:

$$xA = (xA) \pm (xA)(0.025) \quad (\text{Ec. 39})$$

Donde:

xA : Representa cualquier valor de corriente medida, en amperios.

En cuanto al error que puede tener el valor de referencia del ADC depende de la alimentación al arduino, para tener una referencia lo más precisa se debe suministrar a la entrada de alimentación del arduino una tensión de 7-12V para no forzar al regulador interno que tiene el arduino, o si se lo alimenta a través del **pin (5V)**, el voltaje debe ser el más exacto posible, cuando se lo alimenta mediante el cable USB se tiene un error de 5% es decir puede variar de 5.25V o 4.75V. Para cualquier variación de tensión se emplea el algoritmo para leer el voltaje de referencia, con lo cual se evita posibles errores. Para la alimentación del arduino se utiliza un adaptador de tensión AC/DC de 5V obteniendo a la salida del regulador interno del arduino un voltaje aproximado de 4.8V.

3.5.1 CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE TENSIÓN

Para encontrar una constante de calibración para la señal de tensión tomamos en cuenta las variaciones que se tuvieron en las medidas reales mediante el multímetro.

$$V_{Int} = 108V_{rms} \quad V_{out} = 12.3 V_{rms}$$

$$V_{Int} = 121.7V_{rms} \quad V_{out} = 13.87$$

$$V_{Int} = 128V_{rms} \quad V_{out} = 14.5$$

$$V_{Int} = 129.8V_{rms} \quad V_{out} = 14.7 V_{rms}$$

Para encontrar la constante se debe partir de la ecuación del divisor de tensión dada por la siguiente expresión matemática:

$$V_{int}(ADC) = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} V(Trafo) \quad (Ec. 40)$$

Tomando en cuenta los valores de las resistencias utilizadas en el circuito se halla una proporción, la cual está relacionada con el voltaje a la salida del transformador de tensión (V_{Trafo}), y el voltaje que se obtiene aplicando el divisor de tensión ($V_{int} ADC$), el cual va a la entrada del ADC del arduino. En la Ecuación 41 se presenta esta proporción.

$$V_{int}(ADC) = \frac{13}{113} V(Trafo) \quad (Ec. 41)$$

$$V(Trafo) = \frac{113}{13} V_{int}(ADC) \quad (Ec. 3.15)$$

Donde $133/13$ el factor de reducción de divisor de tensión.

Para hallar la constante de calibración se toma en cuenta esta proporción quedando la Ecuación 42, la cual mediante software se la utiliza para encontrar el valor real de la red eléctrica, se emplea el valor medido de la red eléctrica de 128V y el valor respectivo de la salida del transformador.

$$C_{tt.Calib} = \frac{128 \times 113}{14.5 \times 13} = 76.73 \quad (Ec. 42)$$

El valor 76.73 es la constante multiplicativa por la señal del ADC del arduino para obtener el valor real, la cual se la emplea en el código de programación con la siguiente expresión matemática:

$$V_{calib} = \frac{Ctt. Calib \times V_{ref}}{1024} \quad (Ec. 43)$$

Donde:

Ctt. Calib = Constante de Calibración.

Vref = Voltaje de referencia arduino.

1024 = 2¹⁰ Número de muestras con 10 bits.

Cabe aclarar que en la práctica esta constante puede ser ajustada, teniendo en cuenta la tolerancia de fabricación de los componentes, transformador y resistencias. En el transformador de tensión el fabricante no da ningún dato de tolerancia, se toma en cuenta un valor real medido. Una muestra mide 14.5 V a 128 V en la entrada, pero estaba sujeto a un error de 2% (error del multímetro), En el divisor de tensión se emplea una resistencia que tiene un 5% de tolerancia, y un potenciómetro de precisión de 1% de error, finalmente tendríamos un error de 8% así que la contante de calibración podría estar entre 70.59 - 82.87.

3.5.2 CALIBRACIÓN DEL SENSOR DE CORRIENTE

Un factor para la imprecisión de un transformador de corriente es que debido a su núcleo dividido, se puede producir una desalineación del núcleo, y puede introducir un espacio de aire. Un pequeño espacio de aire puede producir un error del 10% o más, que viene acompañado de un gran desplazamiento de fase, por lo que es muy importante asegurarse de que las caras de los núcleos estén limpias y bien alineadas. Por ejemplos si se introduce una pieza delgada de papel, aproximadamente de 0.004" y 0.1 mm de espesor en un lado del núcleo la salida puede caer en un 7% a 100 A, y la fase puede variar en 15°. El núcleo del transformador Yhdc CT es de ferrita, un material frágil, por lo que también se debería tener cuidado de no astillar o romper dicho núcleo.

En la salida del sensor Yhdc CT se obtiene un valor de corriente proporcional a la corriente de entrada, es necesario poner una carga para que exista una variación de voltaje, el que es medido en relación a la tensión de alimentación del microprocesador. El voltaje de entrada al ADC tiene un componente de DC sumada a la misma, pero esto se elimina mediante un filtro digital, por esta razón se la ignora al momento de hallar la constante de calibración. Se puede trabajar con valores máximos o con valores eficaces y se establece los valores con los que se realizan los cálculos matemáticos.

$$V_{ref} = 4.8V \approx 5V$$

$$V_{int}(ADC) = R_{load} \times I_{secundario} \quad (Ec. 44)$$

$$I_{secundario} = \frac{I_{primario}}{Relación\ de\ transformacion} \quad (Ec. 45)$$

La resistencia de carga es de 33Ω . La relación de transformación se la obtiene a partir del valor que especifica el fabricante, el cual está dado como la relación de la corriente primaria máxima a la corriente secundaria. El sensor Yhdc CT tiene especificado 100 A /50 mA. Al igual que en la calibración del voltaje se debe hallar una constante de calibración que se la multiplicará por la tensión eficaz de la entrada del ADC.

$$(R_{load} \times I_{secundario}) (Ctt_{Current}) = 100A \quad (Ec. 46)$$

$$(Ctt_{Current}) = \frac{100}{R_{load} \times I_{secundario}} = 60.6 \quad (Ec. 47)$$

Esta constante será el factor multiplicativo para encontrar la corriente real de la red eléctrica. La constante de calibración se la emplea en el código de programación con la siguiente expresión matemática:

$$I_{calib} = \frac{Ctt. Current \times V_{ref}}{1024} \quad (Ec. 48)$$

Donde:

Ctt.Current= Constante de calibración de la corriente.

Vref = Voltaje de referencia arduino.

1024 = 2¹⁰ Número de muestras con 10 bits

De igual manera que la tensión, tenemos que considerar el error que se puede tener, y establecer un rango para la constante de calibración. El amperímetro utilizado tiene un error de 2.5%, en la resistencia de carga (potenciómetro de precisión) se debe adicionar el 1% de error, además la salida del sensor de corriente presenta un error de 3%. Por lo que la constante de calibración para la corriente puede estar entre 56.66 – 64.54. El algoritmo implementado para la calibración se presenta en el anexo B-4

3.6 CÁLCULO DE LAS VARIABLES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Una vez realizado todo el procesamiento antes explicado se procede a realizar el cálculo de las variables de energía eléctrica, para lo cual se emplea las ecuaciones que corresponden a cada variable; para obtener el voltaje eficaz se aplica la Ecuación 10, además se toma en cuenta la constante de calibración, quedando la siguiente expresión matemática:

$$V_{rms} \equiv V_{calib} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v^2(n)} \quad (Ec. 49)$$

Donde:

La constante de calibración para hallar *Vcalib* se ajusta a 78.3.

Para el cálculo de la corriente eficaz se utiliza la Ecuación 12, así mismo se aplica la constante de calibración antes calculada. La ecuación final empleada es la siguiente:

$$I_{rms} \equiv I_{calib} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} i^2(n)} \quad (Ec. 50)$$

Donde:

La constante de calibración para hallar I_{calib} se ajusta a 58.8.

La potencia instantánea se calcula mediante la Ecuación 4, pero se emplea las muestras de voltaje desfasadas. Además se saca el valor absoluto para evitar valores de potencia erróneos en caso de que se cambie la dirección de flujo de los sensores.

$$p(n) \equiv abs(V_{\phi}(n) * i(n)) \quad (Ec. 51)$$

Donde:

V_{ϕ} Es el voltaje desfasado obtenido mediante la Ecuación 34.

La potencia real se obtiene mediante el producto de las constantes de calibración de corriente por la de voltaje y se aplica la Ecuación 6.

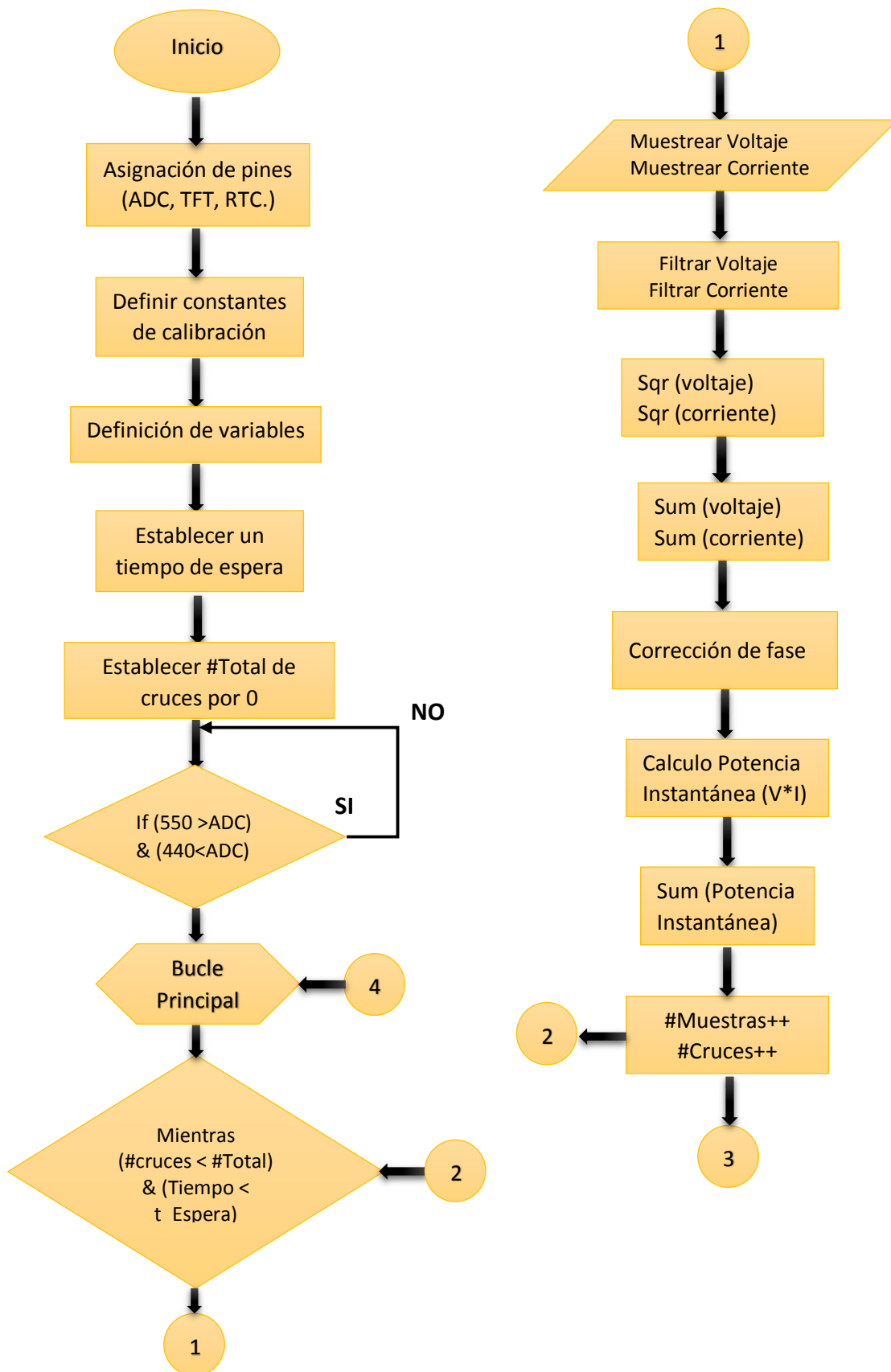
$$P \equiv I_{calib} \times V_{calib} \times \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} p(n) \quad (Ec. 52)$$

La potencia aparente se calcula mediante Ecuación 14 y finalmente el factor de potencia se obtiene a partir de Ecuación 17.

Para obtener la energía consumida se emplea la Ecuación 19. Tomando en cuenta que el intervalo con el que se realiza la medición de energía es un segundo, y que la medición se realiza en vatios/hora, la fórmula aplicada en el algoritmo es la siguiente:

$$W = \frac{P \times 1}{3600} \quad (Ec. 53)$$

Adicional a esto se realiza el cálculo del costo de energía eléctrica consumida, para lo cual se establece el precio por kilovatio/hora, el cual está determinado por la empresa eléctrica, siendo el valor para uso doméstico y residencial de 8 centavos. En la Figura 26 se presenta el diagrama de flujo del algoritmo implementado. Para ver el algoritmo implementado en arduino ir al anexo B-5.



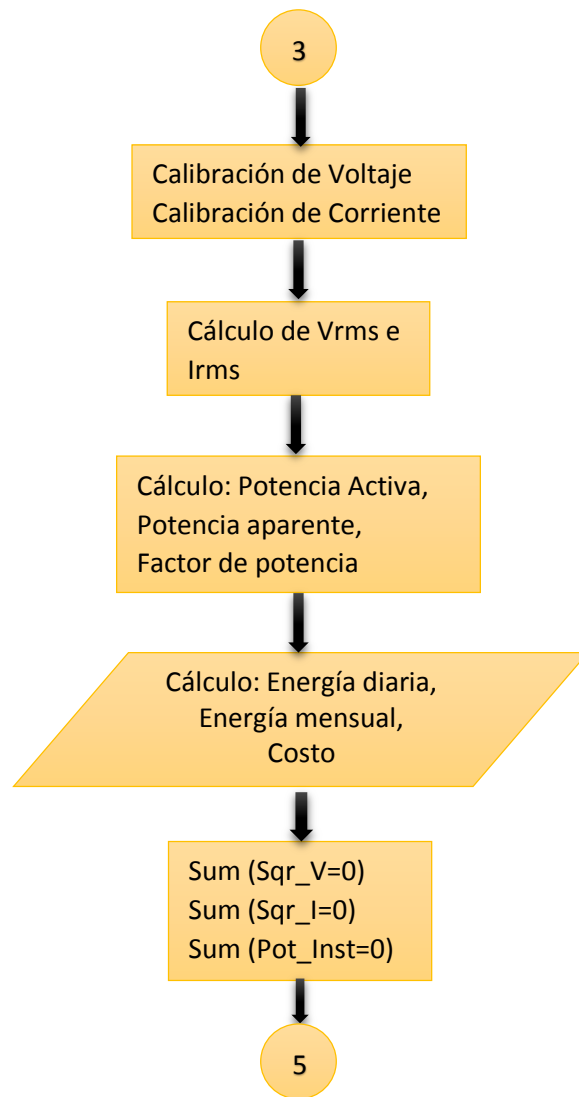


Figura 26. Diagrama de flujo para el cálculo de energía eléctrica. Fuente: [El Autor].

3.7 HISTORIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El historial se efectúa utilizando algunas variables que almacenan el valor de los últimos 7 días, al igual que de los últimos 7 meses. El consumo de energía diario es almacenado en una variable la cual se restablece todos los días a las 18:00 horas, pero antes que se restablezca, el valor medido se guarda en otra variable para mostrarlo en el historial, de la misma manera con la energía consumida mensual, en este caso se almacena el valor mensual en una variable que acumula la energía total, desde que empezó a funcionar, este procedimiento es necesario debido que las variables tienen un

límite de almacenamiento máximo, y además para calcular en unidades diferentes. El algoritmo implementado se lo presenta en el siguiente diagrama de flujo:

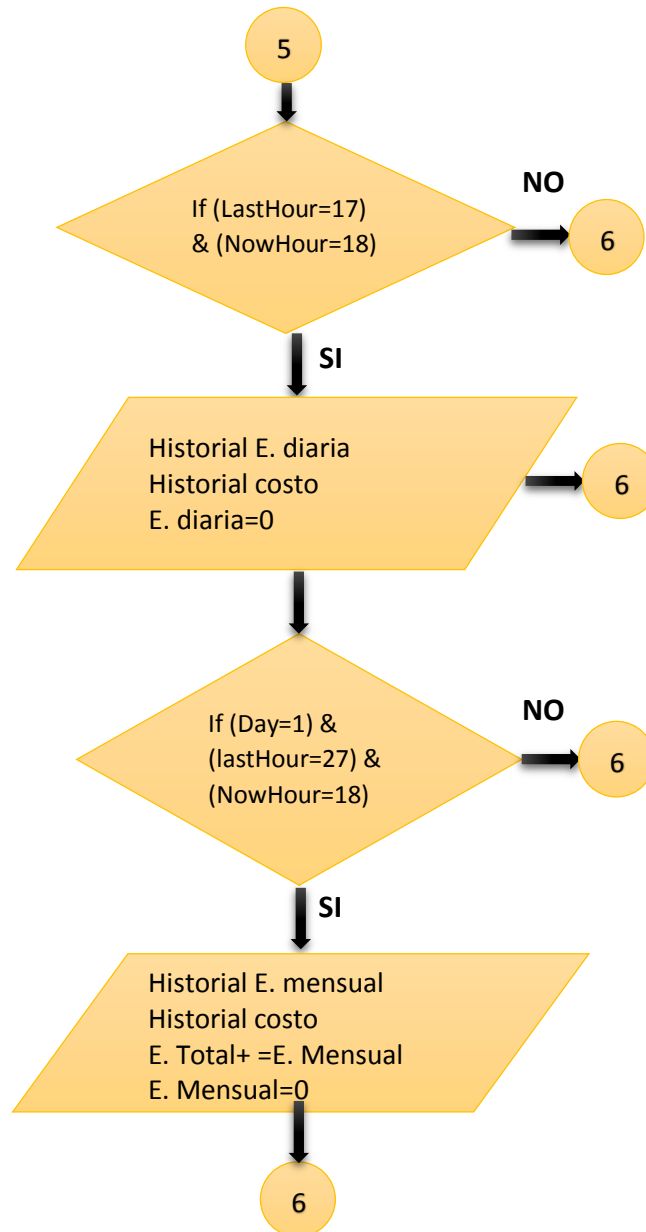


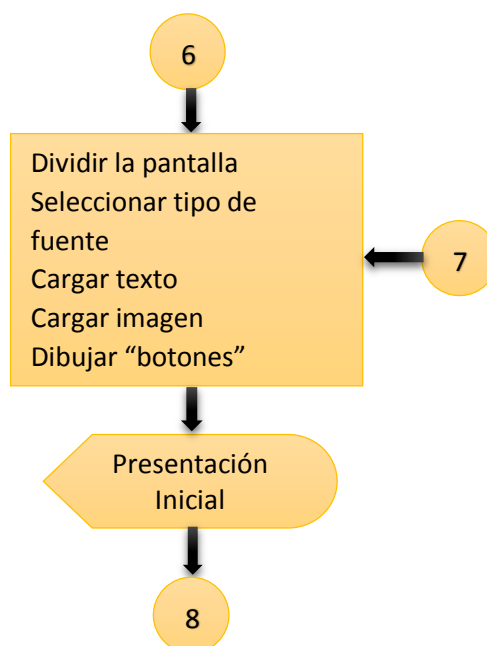
Figura 27 Diagrama de flujo para presentar el historial de energía eléctrica.

Fuente: [El Autor].

3.8 VISUALIZACIÓN EN LA PANTALLA LCD-TFT

Para la visualización de los parámetros de energía eléctrica en la pantalla táctil se presenta un menú inicial, el cual tiene varias opciones que pueden ser seleccionadas de acuerdo a las variables que el usuario desee ver. Primeramente se muestra una presentación inicial, y aparecen cuatro opciones principales que son: “ENERGY”, “HIST”, “TWEET”, y “HOME”. Si se presiona la opción “ENERGY” automáticamente muestra los valores de voltaje, corriente, potencia real, y además se muestra dos submenús “E1” y “E2”; al presionar “E1” se muestra el valor de la energía diaria, factor de potencia y potencia aparente, si se presiona “E2” se enseña los valores de energía mensual, energía total y el costo mensual de energía consumida, a esto se le agrega la visualización de fecha y hora en cada opción.

Al seleccionar la opción “HIST”, se exhibe el historial de los 7 días anteriores y la medición del día actual, éstos se presentan con el día y mes correspondiente, así mismo presenta un submenú con la opción “HM”, que al presionar nos muestra el historial de los 7 meses anteriores más la medida del actual, al igual que el anterior estos datos se presentan con el mes y año correspondiente. La opción “TWEET” permite enviar un “tweet” con información de los datos de energía, al seleccionar “HOME” retorna al menú principal. El algoritmo implementado se lo presenta en el siguiente diagrama de flujo:



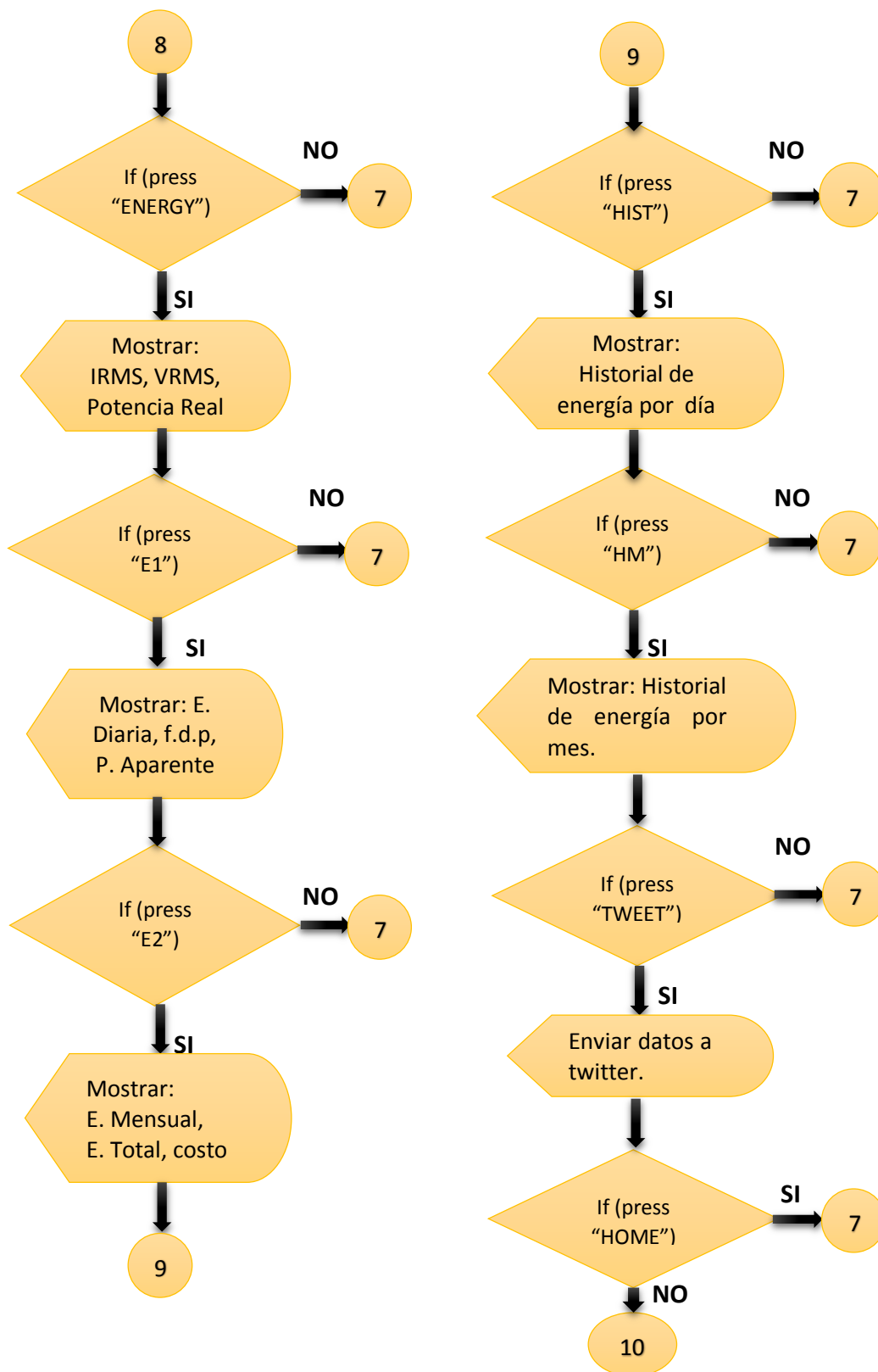


Figura 28. Diagrama de flujo para la visualización de las variables de energía eléctrica.
Fuente: [El Autor].

3.9 TRANSMISIÓN DE DATOS A INTERNET

Para establecer la comunicación a internet y enviar los datos de las variables de energía, se estableció una arquitectura cliente/servidor, entre nuestro dispositivo arduino y el servidor “emoncms.org” donde creamos una cuenta de usuario para poder tener acceso a los recursos de emoncms de manera gratuita, sin embargo los desarrolladores de emoncms planean implementar un pago por los servicios, más adelante se describe detalladamente sobre este servidor. En el arduino se configura los parámetros de red y se envía las tramas al servidor mediante el protocolo HTTP, empezaremos describiendo las configuraciones establecidas en el microprocesador arduino, y luego el interfaz desarrollado en el servidor emoncms, para el monitoreo de las variables de energía eléctrica.

3.9.1 CONFIGURACIÓN DE LA RED EN ARDUINO

En el arduino se debe configurar la dirección MAC y la IP, para lo cual hay dos opciones; si la red dispone de un servicio DHCP, se puede establecer esta opción mediante la función “Ethernet.begin ()” establecida en la librería ethernet, para que el shield de ethernet tenga automáticamente una dirección IP, aquí únicamente se configura la dirección física del shield ethernet. Sin embargo esta opción aumenta el tamaño del programa significativamente, por el procesamiento que esto implica, la opción más recomendada en programas avanzados, es la asignación de una dirección estática, además se debe configurar la máscara de subred, servidor DNS, puerta de enlace, y el nombre del servidor.

Se establece un alias para el cliente mediante la función “EthernetClient”, por ejemplo (“EthernetClient smartMeter”). Para poder establecer la conexión con el servidor debemos configurar el puerto 80, correspondiente al protocolo HTTP. Luego se realiza la petición al servidor emoncms, mediante el método GET, teniendo el mensaje de petición de la siguiente manera:

```
"GET /api/post? - apikey - &node - &json={id1:value, id2:value} - HTTP/1.1 - emoncms.org"
```

Donde GET es el método de petición,

La parte de *"/api/post? - apikey - &node - &json"* hace referencia a la URI de la petición, *"apikey"* es un código de 32 caracteres, que se lo obtiene al crear una cuenta en el servidor de emoncms, este código nos da acceso a los recursos del servidor emoncms, sin la necesidad de iniciar una sesión. *"node"* es un identificador de cada parámetro que se envía al servidor. *"json"* es un formato para el envío de datos al servidor emoncms, este permite dar un nombre a la entrada, existe otro formato (CSV), que permite enviar únicamente los valores. En el campo *{id1: value, id2: value}* hace referencia al nombre de la entrada (*id1*, puede ser corriente, voltaje, etc.) y *"value"* el valor de dicha variable, luego tenemos el campo *HTTP/1.1* que es la versión del protocolo y finalmente tenemos el nombre del servidor emoncms. Este proceso se realiza en un intervalo de tiempo de 10 segundos, para lo cual se establece un temporizador en arduino.

Como una parte adicional de investigación se realizó un algoritmo para poder enviar información de algunas variables de energía eléctrica a twitter, en un intervalo de tiempo de seis horas o cuando el usuario lo requiera. Los datos que se envían cada seis horas depende del menú que se seleccione en la pantalla manualmente; Si no se selecciona ninguna opción se envía los valores de la potencia real y la energía diaria consumida, si se selecciona en la pantalla cualquiera de las opciones de medición de energía, se envía los datos que se visualiza en la pantalla, a excepción de la medición mensual y total de energía, debido a que son variables que no varían significativamente en un periodo de seis horas, es por esto que dichos datos se pueden enviar cuando el usuario lo desee, por lo que se presentan dos opciones para enviar a twitter las variables de energía, en una se envían datos de la energía mensual, y el costo a pagar hasta el día actual, y en la otra opción se envía la energía total consumida, y la potencia real. El envío de los mensajes se hace mediante el protocolo de aplicación HTTP, con la particularidad que primero se envía a un servidor proxy, que sirve como intermediario para postear finalmente los mensajes en una cuenta de usuario. El diagrama de flujo, se presenta en la Figura 29.

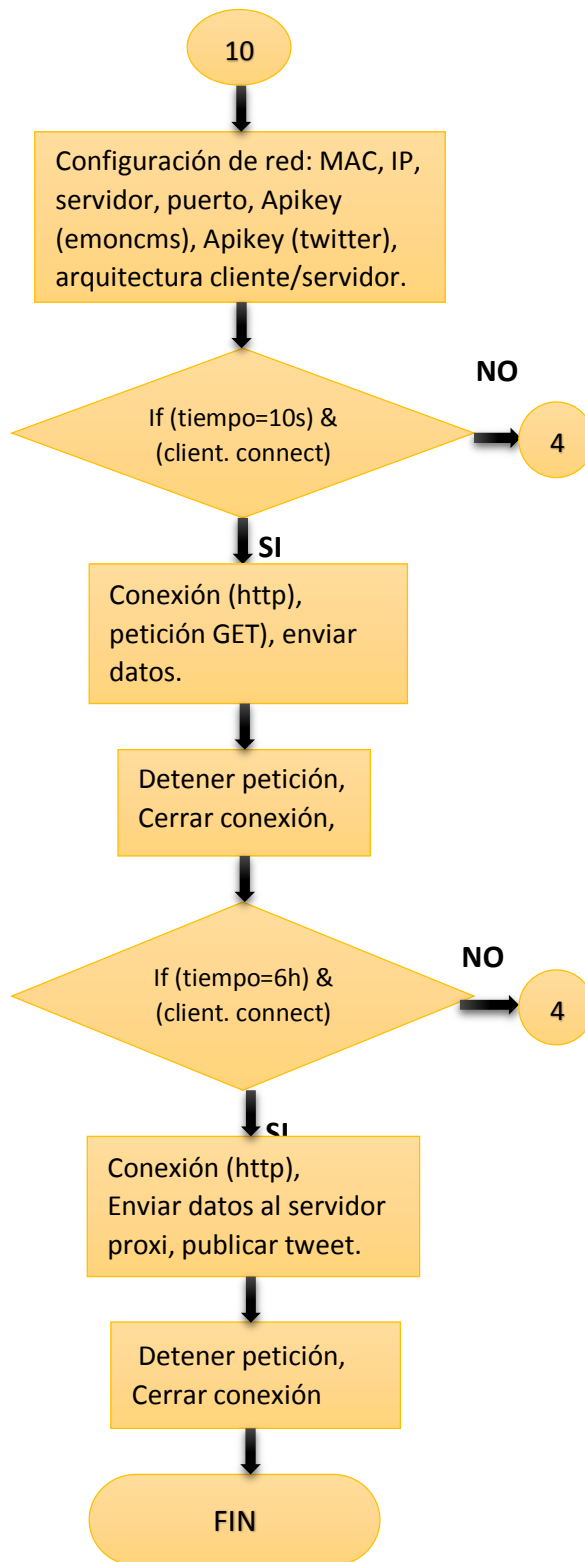


Figura 29. Diagrama de flujo para la comunicación a internet. Fuente: [El Autor].

3.9.2 CREACIÓN DE UNA INTERFAZ EN EMONCMS.ORG PARA EL REGISTRO DE DATOS

Emoncms es una poderosa herramienta “Open Source” para aplicaciones web, permitiendo el procesamiento, manipulación y visualización de datos ya sea de energía u otros datos de sensores medioambientales (temperatura, humedad, etc.). Al ser de código abierto este servidor se puede copiar y realizar las modificaciones que se requiera para tener nuestro propio servidor. El código fuente de este servidor se encuentra en el servicio de hosting basado en la web “GitHub” donde los desarrolladores de códigos de “open source” trabajan con las versiones y contribuyen en el desarrollo de diferentes códigos. Emoncms es un Sistema de Gestión de Contenidos (CMS), por lo tanto es un sitio web con una interfaz gráfica de usuario que se compone de una serie de módulos apoyándose en una base de datos MySQL para almacenar dichos datos y las diversas opciones de la propia interfaz gráfica de usuario. La interfaz de usuario es totalmente personalizable, y adaptable.

Para poder enviar datos a emoncms debemos obtener el código de autenticación, este se lo obtiene al crear una cuenta, cabe destacar que existen dos códigos uno que es solo para la lectura de datos, en caso de que se requiera compartir entradas sin que terceros puedan modificarlas, y otra clave que es de lectura y escritura, permitiendo la modificación de las entradas. Emoncms se divide en 3 módulos principales, que permiten el monitoreo de datos de manera fácil y eficiente, las cuales son: “Inputs”, “Feeds”, y “Dashboard”. A cada módulo se le delega una opción específica, y tienen la característica que las salidas de uno se convierten en la entrada de otro.

a) Inputs.- Las entradas sirven para obtener y manejar los datos monitorizados enviados desde los nodos de sensores. Una de las características principales de emoncms es que permite el procesamiento de las entradas, éstas nos sirven cuando enviemos datos “en bruto”, es decir cuando se haga la adquisición de señales de un determinado sensor y no se realice el procesamiento adecuado en el microprocesador, se puede hacer uso de las herramientas de procesamiento que ofrece emoncms, para la

calibración y obtención de datos reales. Los datos procesados son almacenados y puestos a disposición de otros módulos. La configuración de estos procesos consta de tres pasos indispensables: primero se asigna un nombre al proceso, luego se selecciona un intervalo de tiempo para el registro de datos, este tiempo debe ser mayor o igual a la velocidad con que se envían los datos, y finalmente se asigna el proceso (suma, resta, max, min, etc.). Este parámetro cuenta con 4 campos, tal como se lo muestras en la Figura 30.

Inputs				Input API Help		
Node:	name	Description	Process list			
1	3					
1	2					
1	1					

Figura 30. Entorno de las entradas de Emoncms. Fuente: [12].

- **Node.-** Hace referencia a un nodo o dispositivo que envía los datos (pueden contener distintas variables) al servidor.
- **Name.-** El sistema no sabe qué tipo de datos está recibiendo entonces se debe adecuar poniendo un nombre que se le asigna a la entrada: por ejemplo, corriente, voltaje, etc. Se debe tener en cuenta que este nombre sea el mismo que se asigna en la trama de datos creada en arduino.
- **Description.-** Es simplemente un parámetro que sirve para dar una breve representación de una variable de entrada.
- **Process list.-** En este campo se muestra el tipo de procesamiento que se le haya asignado a las variables de entrada.

b) Feeds.- Este módulo gestiona el almacenamiento de los datos de entrada y se ocupa de pasarlos al siguiente módulo. Siempre dentro de este módulo se puede visualizar la actividad de envío de datos, tiene algunos campos; el más importante de estos es el id, que corresponde al identificador del proceso, el cual se lo utiliza más adelante para la creación del interfaz gráfico, existe otro campo “Public” que se lo configura dependiendo si se desea que los datos sean público, o simplemente privados. El entorno se lo muestra en la Figura 31.

Feeds							Feed API Help
Id	Name	Tag	Datatype	Public	Updated	Value	
155	power	house	REALTIME	🔒	5s ago	100.0	✎ 🗑️ 👁️
156	kwhd	house	DAILY	🔒	5s ago	0.00	✎ 🗑️ 👁️
157	histogram	house	HISTOGRAM	🔒	5s ago	100.0	✎ 🗑️ 👁️

Figura 31. Entorno del campo “Feed” de emoncms. Fuente: [12].

c) Dashboard.- Hasta ahora hemos tratado con todo lo necesario para que el programa funcione (recuperación de datos, almacenamiento, procesos, modificación), pero todo esto solo el administrador puede ver. Sin embargo como cualquier programa este módulo permite el diseño de la interfaz gráfica, aquí se puede establecer una o más páginas que se mostrarán en la web al público. Existen tres tipos de páginas:

- **Main page.-** Página principal, es la que se muestra al entrar a la web con cualquier navegador, simplemente se debe escribir “emoncms.org/NombredeUsuario”.
- **Page Published.-** Páginas que pueden ser vistas por cualquier persona pero no se puede editar su configuración.
- **Page Private.-** Se puede acceder a estas páginas previa autenticación en el servidor emoncms.

Este módulo tiene varios campos que contienen “widgets” prediseñados entre estos tenemos; diales, textos, buttons, entre otros, además se puede hacer público los gráficos a través del nombre de usuario. Este campo está compuesto por 5 parámetros principales, los cuales contienen otros parámetros.

- **Text.-** Permite escribir un texto en el editor de dibujo, existen varios tipos.
- **Containers.-** Simplemente es un panel que se comporta como un recipiente para colocar un widget, y darle un mejor aspecto a nuestra interfaz.
- **Dials.-** Este permite una animación en tiempo real de los cambios de las entradas, los diales cambian suavemente de un valor a otro.
- **Visualisations.-** Las visualizaciones se pueden configurar de diferente manera, si se requiere gráficos en tiempo real, gráficos del valor de los datos, en estadísticas diarias, mensuales y anuales, histogramas, multigráficas, entre otros.
- **Configure.-** Este campo nos permite configurar nuestros widgets, seleccionando el widget que se requiera configurar y luego se establecen algunos parámetros, como unidades (temperatura “ $^{\circ}$ C”, potencia “W”), valores máximos a medir, la escala, entre otros.

El diseño del interfaz está compuesta por los widgets prediseñados, un “feedvalue” que nos permite adquirir y visualizar el valor numérico de un dato de entrada, se adiciona una gráfica para poder visualizar el comportamiento de estos valores en tiempo real (se actualizan cada 10 segundos). Esta gráfica muestra los valores tomados durante una hora, y se va deslizando automáticamente en el tiempo, si no se envían datos durante una hora esta gráfica se mostrará vacía, la gráfica presenta varias opciones para cambiar el intervalo de tiempo 1 min, 15 min, 30 min y 1 hora. Esta interfaz se muestra en la Figura 32.

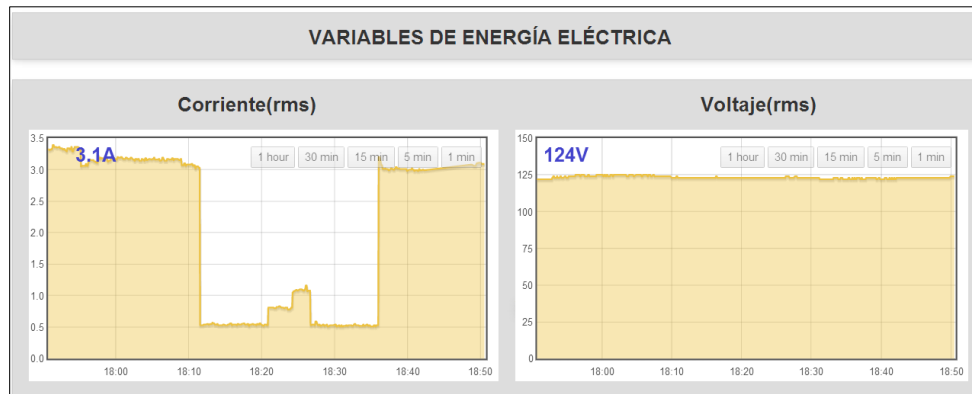


Figura 32. Gráfica para monitorear corriente y voltaje en tiempo real.
Fuente: [El Autor].

Otra gráfica que se muestra en la interfaz es la de la Figura 33 en la cual se presenta el valor medio de las variables de corriente y tensión en un periodo de tiempo determinado, se puede seleccionar el periodo de tiempo que requiera "D" (día), "W" (semana) "M" (mes), "Y" (año).

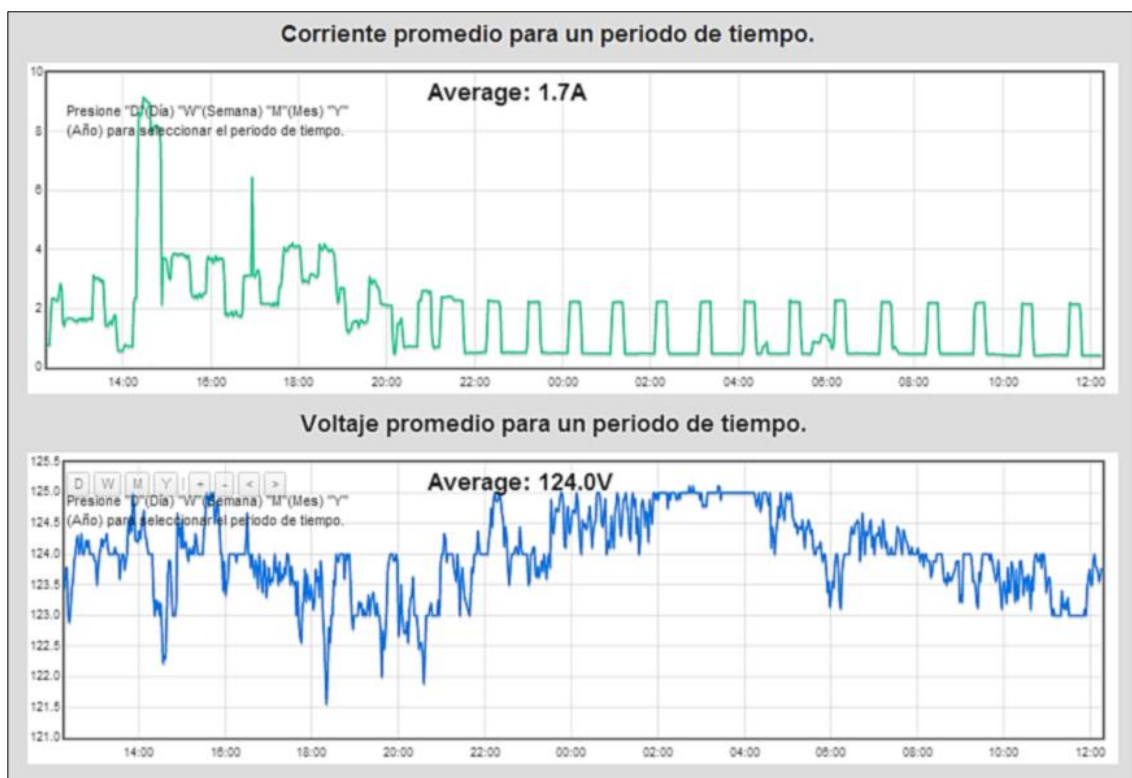


Figura 33. Gráfica que permite obtener un valor medio de las variables de corriente y tensión en un periodo de tiempo determinado. Fuente: [El Autor].

Así mismo los datos correspondientes a la potencia activa y potencia aparente también se los visualiza en tiempo real (10 segundos), en una gráfica que presenta el valor medio para un periodo de tiempo determinado.

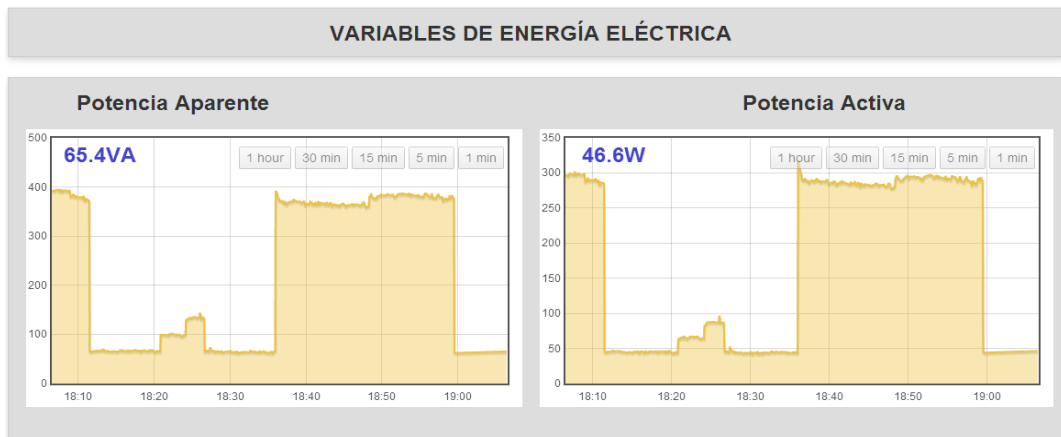


Figura 34. Gráfica para el monitoreo de potencia activa y aparente. Fuente: [El Autor].

El factor de potencia se lo presenta en la gráfica que permite obtener el valor medio para el periodo de tiempo que se requiera.

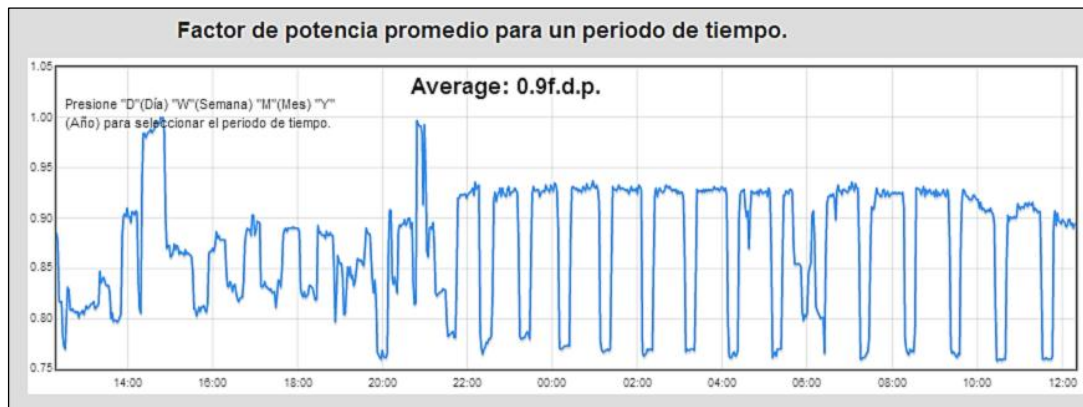


Figura 35. Gráfica para monitorear el factor de potencia. Fuente: [el Autor].

La visualización de la energía eléctrica consumida se realiza una gráfica que muestra los datos en un lapso de tiempo, desde días, semanas, meses, y años, además muestran un valor promedio, y un valor total de los datos para el periodo que se indique en la gráfica. Así mismo se muestra un diagrama de barras con el formato del valor diario

de energía consumida, al pasar el mouse por cada barra se muestra información de los datos para determinado día. Esta interfaz se lo muestra en la Figura 36.

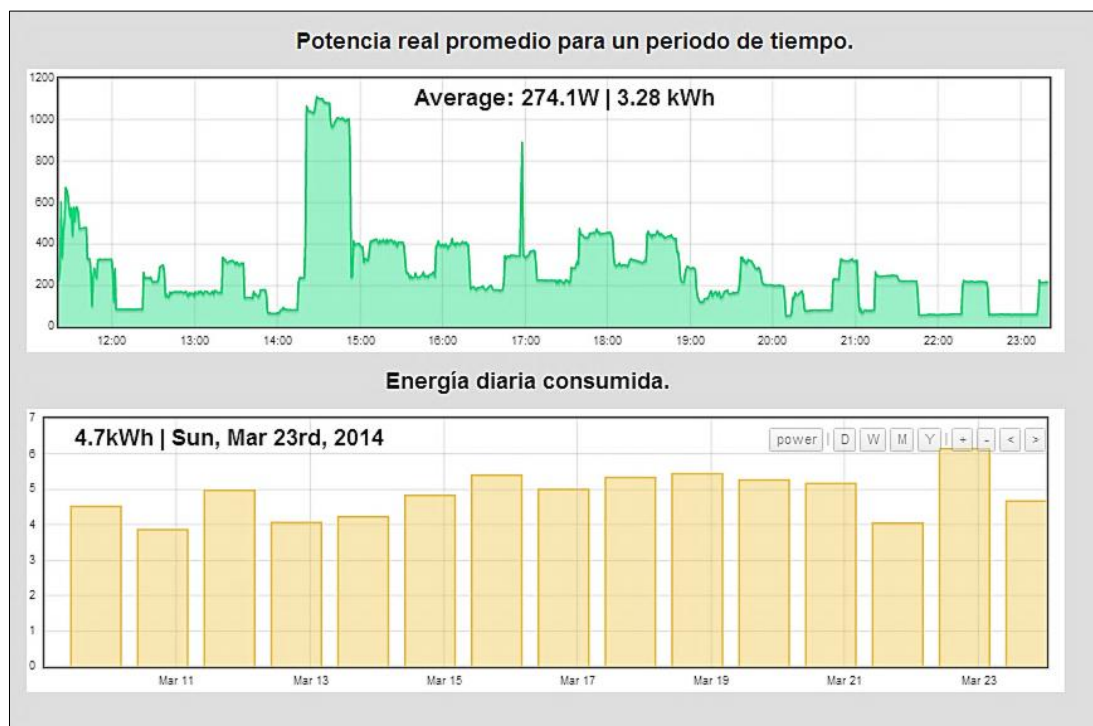


Figura 36. Gráfica para mostrar los datos de energía consumida. Fuente: [El Autor].

Finalmente se realiza una interfaz que nos permite obtener un informe del costo, y consumo de energía en el mes. Se muestran dos gráficas, en una gráfica se visualiza el costo por energía consumida pudiendo seleccionarse por día, meses o año. En otra gráfica se presenta de manera similar a las anteriores, pero en un modo simplificado, la energía diaria, mensual, y anual consumida, e incluso se puede seleccionar para que se visualicen los valores registrados en tiempo real. Esta interfaz se muestra Figura 37.

Es muy importante dar a conocer las reglas que establecen los desarrolladores de emoncms, éstas involucran el tiempo de envío de datos no debe ser inferior a 5 segundos, los datos publicados en la actual versión de emoncms no permiten una copia de seguridad (en versiones en desarrollo se incluirá esta opción), los datos publicados son propiedad del creador, pero nunca se debe utilizar con fines de publicidad o

comerciales, otra pauta que establecen los desarrolladores es evitar publicar en foros lo que se construye en emoncms, entre otras. Si se desea tener todas las reglas a nuestro favor se debe instalar un servidor local de emoncms.

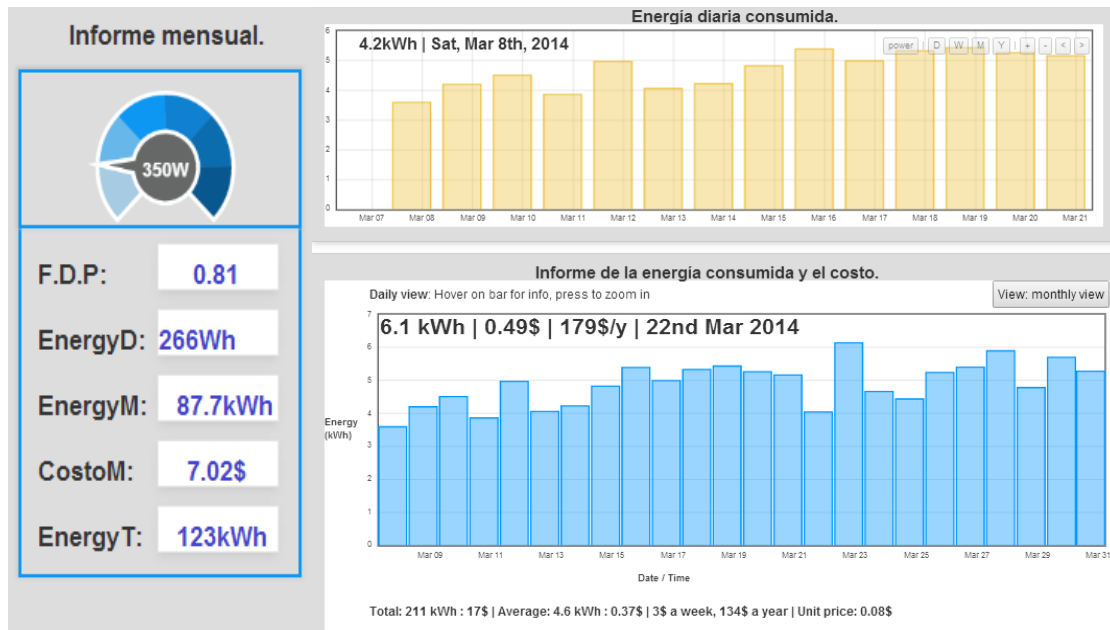


Figura 37. Interfaz para obtener un informe del costo y consumo de energía.

Fuente: [El Autor].

Adicional a esto hay la posibilidad de crear un código HTML para exportar algunas gráficas a un sitio web personalizado, en el presente proyecto se creó un diseño web mediante la herramienta web “GitHub” donde se tiene el código HTML para la presentación de estas gráficas, esta página se llamada como “jdarduino.github.io”.

Otra parte que se implementó en el presente proyecto es el envío de mensajes cortos a un usuario de twitter. El intervalo de tiempo que se envía los mensajes se lo configura para que lo haga 6 veces al día. Con los datos únicamente de energía diaria el costo por kWh.

CAPITULO IV

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

Para realizar un análisis del comportamiento del prototipo se realiza las pruebas necesarias, esto es, conectar el dispositivo a la red eléctrica en paralelo a un medidor comercial, además se realiza pruebas en la medición de corriente y voltaje, y sobre todo la medición del consumo de energía. Para las pruebas de corriente y voltaje se emplea un amperímetro y un multímetro, respectivamente, en el caso de la energía se observa el valor que marca el contador de energía de la empresa eléctrica, y a partir de ahí se toma en cuenta los valores medidos. Para realizar las pruebas del factor de potencia se somete al dispositivo a cargas resistivas, dando un valor de 0.998, y sometido a cargas parcialmente inductivas se obtuvo un valor de 0.657.

4.1 PRUEBAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE

Para las pruebas de voltaje se utilizó el multímetro “BEK-66B7000” y para las pruebas en corriente se utilizó un amperímetro “*Digital Clamp Meter DT266C*”. La forma en la que se llevó a cabo las pruebas fue mediante la comparación de las mediciones de los dispositivos anteriormente mencionados y el valor mostrado en el prototipo implementado. Para las pruebas de medición de voltaje se toma en cuenta el rango de variación que se puede tener en la red eléctrica, como se le mencionó en el capítulo II, la variación puede ser de $120\text{ V} \pm 10\%$ (desde 108V a 132 V), además el prototipo implementado nos muestra un valor entero de la medición. En las tablas 5 y 6 se indican las mediciones realizadas para esta prueba.

Tabla 5. Comparación de las medidas de tensión realizadas.

"BEK-66B7000"	PROTOTIPO IMPLEMENTADO	DESVIACIÓN	ERROR (%)
108.00V	109V	1	0.926
112.70V	113V	0.3	0.266
116.80V	115V	-1.8	-1.541
120.10V	120V	-0.1	-0,083
124.20V	124V	-0.2	-0.161
127.70V	127V	-0.7	-0.548
129.50V	128V	-1.5	-1.158
130.20V	129V	-1.2	-0.921
		ERROR	0.7005

Fuente: [El Autor].

Para realizar las pruebas de corriente, se somete al prototipo a varias cargas, producidas por electrodomésticos de una vivienda. Cabe destacar que en la vivienda que se realizó las pruebas los valores de corriente picos son de 30 amperios, por esta razón solo se muestra las pruebas hasta este rango de corriente, sin embargo el prototipo está diseñado para soportar corrientes hasta de 100 amperios. En la Tabla 6 se presenta los datos obtenidos mediante el amperímetro y el prototipo implementado.

Tabla 6. Comparación de las medidas de corriente realizadas.

"DIGITAL CLAMP METER DT266C"	PROTOTIPO IMPLEMENTADO	DESVIACIÓN	ERROR (%)
1.49 A	1.5 A	0.01	0.671
3.38 A	3.3 A	-0.08	-2.367
5.15 A	5.2 A	0.05	0.971
10.32 A	10.2 A	-0.12	-1.163
15.29 A	15.3 A	0.01	0,065
20.23 A	20.2 A	-0.03	-0.148
24.90 A	25.0 A	0.1	0.402
30.25 A	30.2 A	-0.05	-0.165
		ERROR	0.744

Fuente: [El Autor].

En las tablas 5 y 6 se puede comprobar que el error de medida se debe al redondeo, la tensión no se presenta en la visualización con ningún decimal simplemente para reducir el procesamiento del microcontrolador, además no se considera de mayor

importancia las pequeñas variaciones de voltaje. En la presentación de los valores de corriente, se trabaja con un decimal, ya que se considera importante conocer las pequeñas variación de la corriente, sin embargo estos valores únicamente son para presentarlos en la pantalla, como variables únicas, es decir que los valores redondeados no influyen en el cálculo de la energía eléctrica. En la Figura 38 se muestra una imagen realizando las pruebas respectivas.



Figura 38. Medición de corriente y voltaje con el prototipo y los instrumentos de medición respectivos. Fuente: [El Autor].

4.2 PRUEBAS DE LA MEDICIÓN DE POTENCIA ACTIVA

Para realizar las pruebas de los valores de potencia se procede a medir con el prototipo niveles de potencia establecidos por los fabricantes de ciertos equipos, en este caso se utilizó bombillas incandescentes. Sin embargo este es un valor aproximado ya que los valores que indican los fabricantes se alteran de acuerdo a las variaciones de la red eléctrica (tensión nominal), y al deterioro de los mismos. Los valores obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Comparación de la medición de potencia activa.

BOMBILLAS INCANDESCENTES	PROTOTIPO IMPLEMENTADO	DESVIACIÓN	ERROR (%)
23W	25W	2	8.69
50W	52W	2	4
60 W	61W	1	1.66
100W	98 W	-2	-2
150W	148W	-2	-1.33
200W	195 W	-5	-2.5
ERROR			3.366

Fuente: [El Autor].

Se debe tener presente que los valores medidos pueden variar debido a las condiciones (deterioro, modelo, temperatura, etc.) de los equipos sometidos a pruebas, por lo tanto el error de 3.363 puede ser mayor o menor.

4.3 PRUEBAS DE LA MEDICIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Las pruebas se realizan en una vivienda que cuenta con varios departamentos, donde se tienen implementado, un medidor de energía eléctrica por cada departamento, las personas que habitan dicho departamento cuentan con los electrodomésticos básicos por lo tanto se puede predecir que el consumo de energía será moderado. Para realizar las pruebas de la medición del consumo de energía eléctrica se compara la medición obtenida mediante el dispositivo implementado, con el contador de energía de la empresa eléctrica, el cual es un medidor monofásico, que presenta el consumo de energía en kilovatios/hora. Este contador se lo muestra en la Figura 39.



Figura 39. Medidor de energía de la empresa eléctrica para la realización de pruebas.

Fuente: [El Autor].

En la figura anterior se observa que el contador tiene una medida registrada de 1383kWh, a partir de ese valor se realiza la medición, sin embargo este valor solo servirá como referencia ya que se desconoce la medida exacta en unidades más perceptibles. Las pruebas se realizaron durante una semana (del 7 de marzo del 2014, desde las 18:00 hasta las 18:00 del 14 de marzo del mismo año), y se tomaron en cuenta el incremento de cada 1 kWh en el contador comercial, durante un día, y el incremento total de kWh de cada día durante una semana, la medida que se presenta en el prototipo estará dada en Wh. En la Tabla 8 se muestra las medidas realizadas, con el prototipo implementado y la medición del contador de la empresa eléctrica.

Tabla 8. Comparación de la medición de energía eléctrica.

CONTADOR (EERSSA)	PROTOTIPO IMPLEMENTADO	DESVIACIÓN	ERROR (%)
Incremento de 1 kWh			
1383 kWh	0 Wh	0	0
1384 kWh	1146.5 Wh	0.1465	14.65
1385 kWh	2259.8 Wh	0.2598	12.99
1386 kWh	3598.8 Wh	0.5988	19.96
		ERROR	15.865
MEDIDA DIARIA DE ENERGÍA			
1383 kWh	0 Wh	0	0
1386 kWh	3598.8 Wh	0.5988	19.96
1390 kWh	4212.4 Wh	0.2124	5.31
1395 kWh	4495.8 Wh	-0.5042	-10.084
1399 kWh	3916.4 Wh	-0.0836	-2.09
1404 kWh	5018.6 Wh	0.0186	0.372
1408 kWh	4105.4 Wh	0.1054	2.635
1412.8 kWh	4197.7 Wh	-0.6023	-12.55
CONSUMO TOTAL			
29.8 kWh	29545.1 Wh	-0.2549	-0.855

Fuente: [El Autor].

Mediante la Tabla 8 se puede analizar que los valores medidos por el prototipo son muy aceptables, la diferencia entre la medida del contador de la empresa y el sistema de medición implementado, se debe a que no se puede sincronizar los dos

equipos en una medida exacta, es decir que cuando se observó que el contador marcaba 1383kWh, puede que ya estaba midiendo unos cuantos vatios/hora para llegar a 1384kWh, al igual que cuando se tomó la medida del último día, sin embargo la variación en proporción por cada kWh es la misma. En la Figura 40 se muestra el historial de los valores diarios medidos en el prototipo implementado con el respectivo costo, además se adjunta una imagen con la medida que tuvo el contador de la empresa eléctrica después de una semana, donde se puede observar que el último dígito (2) está desapareciendo para dar paso al siguiente número (3).

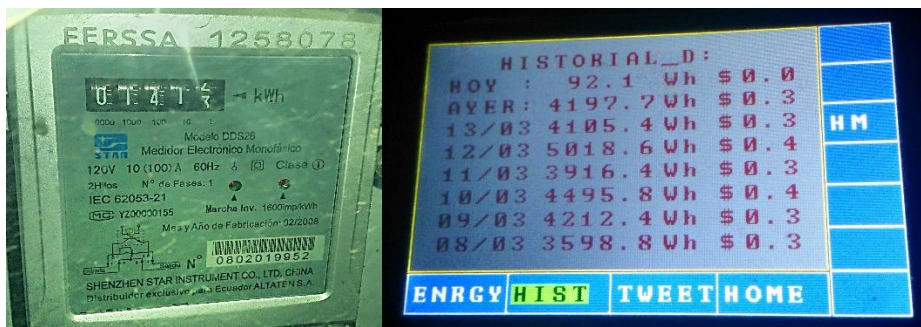


Figura 40. Historial de energía consumida desde 7 de marzo del 2014 hasta el 14 de marzo del 2014. Fuente: [El Autor].

En la Figura 41 se muestra el valor registrado dentro del parámetro de energía mensual consumida, con el costo correspondiente. Así mismo se presenta el historial mensual, en este caso solo existirá un valor en el mes actual, de los meses anteriores se muestra por defecto 0 kWh.

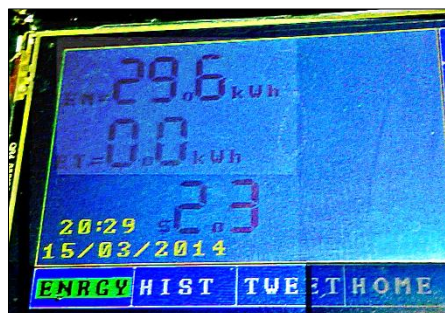


Figura 41. Medida de energía mensual tomada después de una semana. Fuente: [El Autor].

4.4 PRUEBAS DE LA TRANSMISIÓN Y REGISTRO DE DATOS

El registro de datos se lo hace cada 10 segundos dando como resultado 8640 muestras por día y 60480 muestras en una semana, el periodo de pruebas se realiza igualmente durante una semana. Se realiza el análisis de las variables durante un día, y se presenta los valores de energía obtenidos en una semana. En la Figura 42 se muestra el registro de datos de la corriente de carga durante el primer día.

Raw data: Corriente

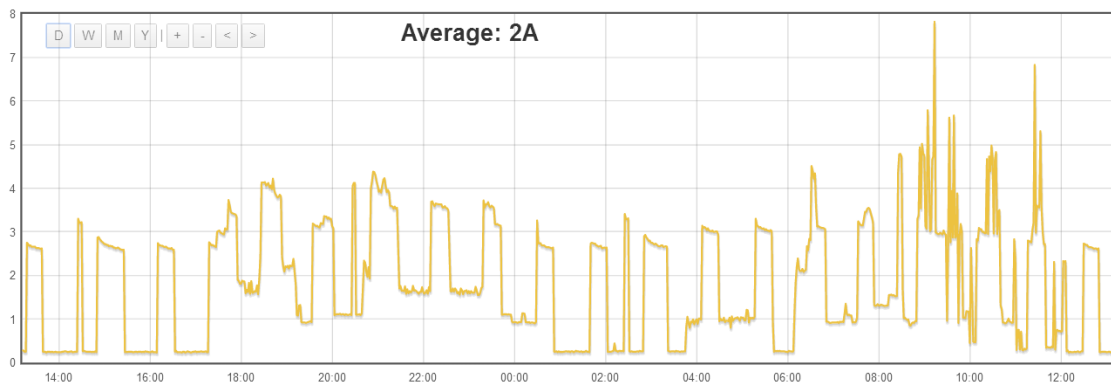


Figura 42. Registro de datos de corriente durante un día. Fuente: [El Autor].

En la gráfica se muestra los datos registrados, desde las 13:30 hasta las 13:30 del siguiente día, el intervalo de tiempo mostrado es de 2 horas, el valor promedio de corriente carga es 2 amperios, se observan valores picos a las 9:00 am, llegando a valores de 8 amperios, y los valores mínimos se producen en la madrugada, con una corriente de 0.3 amperios aproximadamente.

En la Figura 43 se muestra el comportamiento de la señal de voltaje de la red eléctrica.

Raw data: Voltaje

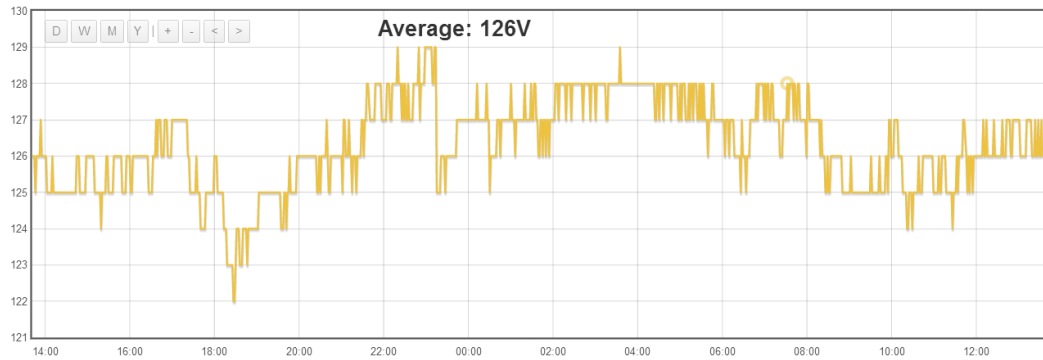


Figura 43. Registro de datos de voltaje durante un día. Fuente: [El Autor].

Al igual que la gráfica de corriente el número de muestras tomadas para la tensión es de 8640, desde las 13:45 hasta las 13:45 del siguiente día. En la gráfica se puede observar las transiciones de tensión durante un día, llegando a valores mínimos de 122 voltios y a valores máximos de 129 voltios dando un valor medio de 126 voltios.

A continuación en la gráfica 4.7 se muestra los datos obtenidos de la potencia real.

Raw data: P_Activa

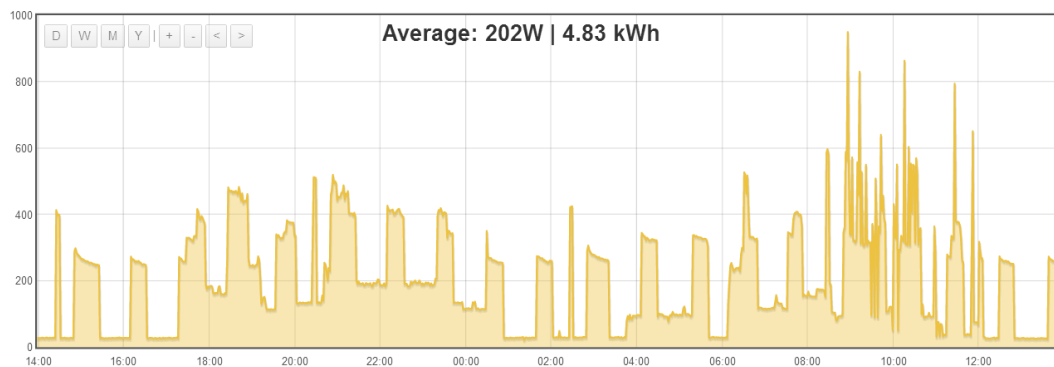


Figura 44. Registro de datos de la potencia activa durante un día. Fuente: [El Autor].

La gráfica presenta los datos registrados desde las 14:00 hasta las 14:00 del siguiente día, con el mismo número de muestras que las anteriores, los valores máximos de consumo se registran en la mañana de 8:00 am a 10:00 am, como la variación de la

potencia en función del tiempo es la energía consumida, se tiene un valor medio de potencia de 202W dando como resultado un valor medio de energía de 4.83kWh durante un día.

En la gráfica 4.8 se observa los valores de la potencia aparente igualmente en un periodo de 24 horas.

Raw data: P_Aparente

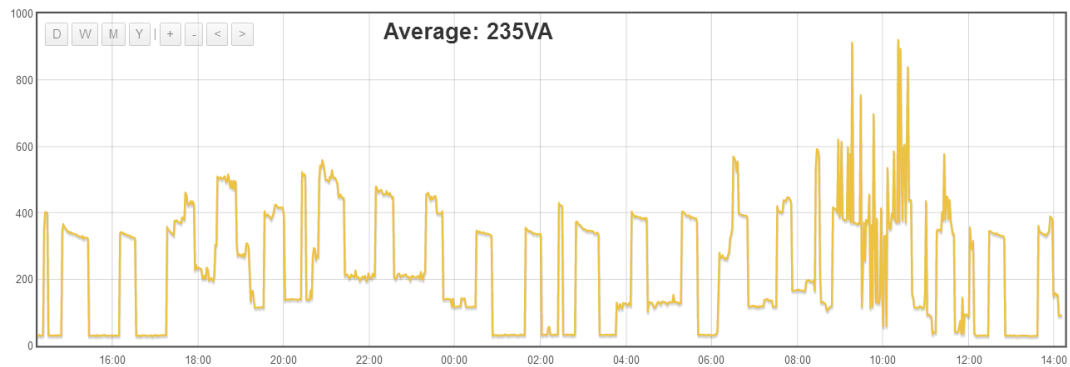


Figura 45. Registro de datos de la potencia aparente en un periodo de 24 horas. Fuente: [El Autor].

Como se puede observar en la gráfica anterior la señal presentada es muy similar a la de la potencia activa, debido a que las cargas (electrodomésticos), no son puramente reactivos. En la Figura 46 se muestra el comportamiento de estas gráficas conjuntamente con el factor de potencia.

Multigraph

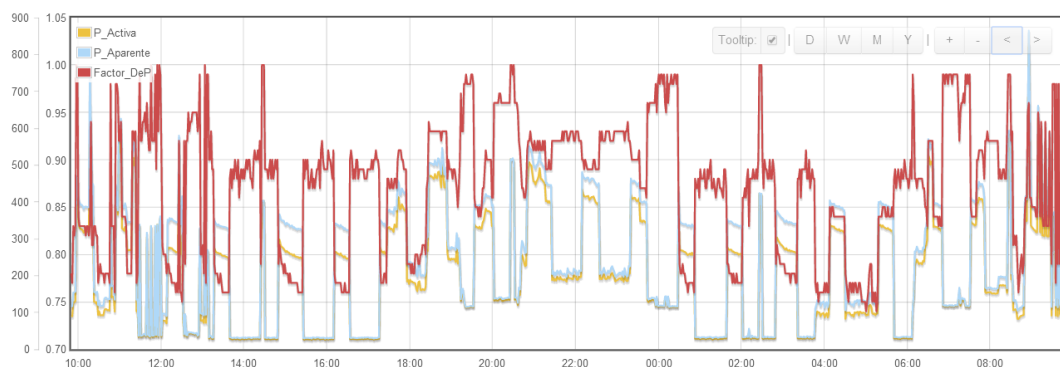


Figura 46. Comparación de los datos de potencia activa aparente y factor de potencia durante un día. Fuente: [El Autor].

En la gráfica presentada se muestra los valores registrados de la potencia real (amarillo), potencia aparente (azul), y factor de potencia (rojo). En el eje y se presenta la amplitud con un rango de 0 a 900 para la potencia activa y la potencia aparente y de un rango de 0 a 1.5 para el factor de potencia (parte izquierda). En el eje x se muestra el tiempo (cada 2 horas). Aquí se puede observar que la potencia aparente siempre es mayor o igual que la potencia real, el factor de potencia tiene una transición que varía desde 0.75 a 1, con lo cual nos da un valor promedio en el tiempo de 0.998.

En la Figura 47 se presenta el diagrama de barras correspondiente a una semana del consumo diario registrado en la web.

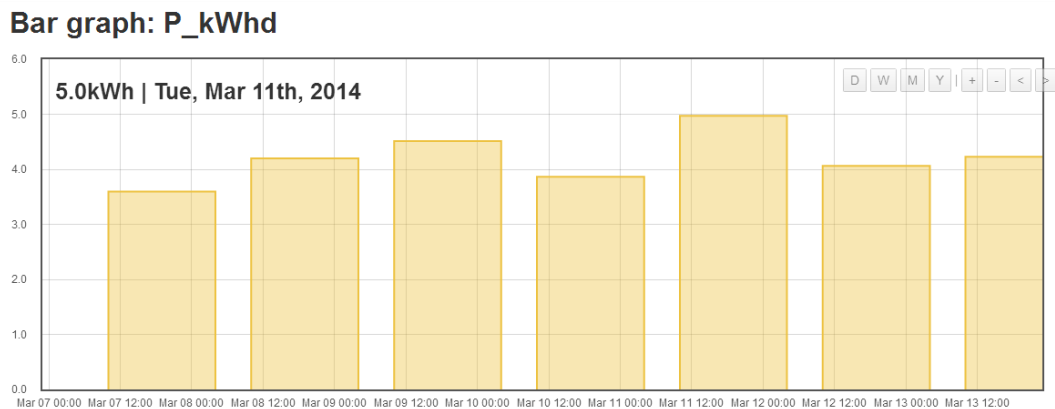


Figura 47. Diagrama de barras correspondiente al consumo de energía eléctrica diario.
Fuente: [El Autor].

En la figura anterior se observa el consumo de energía registrado durante una semana, desde el 7 de marzo del 2014 hasta el 14 de marzo del 2014, cada barra ocupa un intervalo de tiempo que es desde las 10:00 am hasta las 04:00 am del siguiente día, es decir tienen una banda de 18 horas, únicamente por dejar una banda de guarda, para que las barras no se solapen. Las medidas que se toman son correspondientes a 24 horas, restableciéndose los valores todos los días a las 18:00. Para obtener la información diaria únicamente hace “click” sobre la barra que se desee, como se puede ver en la Figura 74 el valor de 5.0 kWh corresponde al consumo desde las 18:00 del día martes 11 de marzo hasta las 18:00 del día miércoles 12 de marzo del 2014.

En la Figura 48 se presenta una gráfica similar a la anterior, que además presenta un informe completo del consumo de energía y el costo.

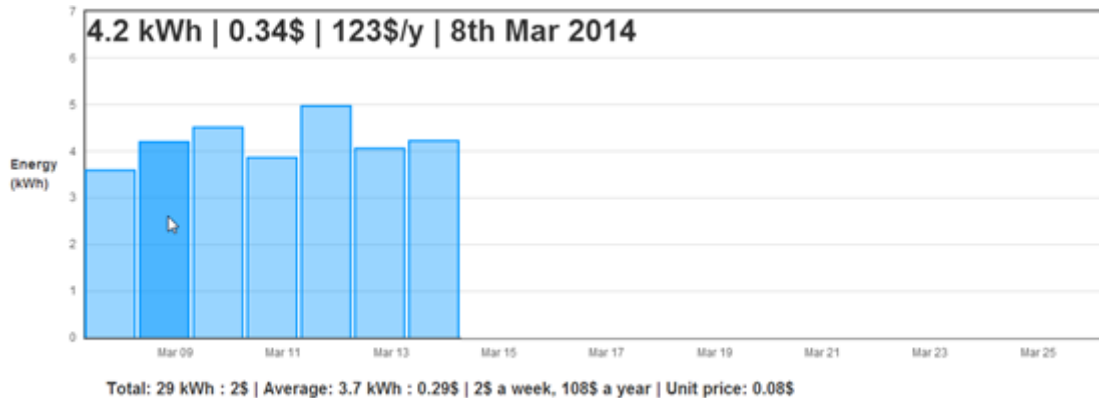


Figura 48. Diagrama de barras con el correspondiente informe de energía consumida y costo diario. Fuente: [El Autor].

La gráfica anterior nos permite tener una información del consumo de energía diaria, con el respectivo costo, un valor promedio de consumo de energía eléctrica, el precio que se tendría en el año si se mantuviera dicho valor promedio, consumo mensual y anual de energía con el precio correspondiente. El informe que presenta en la gráfica corresponde a la semana de pruebas, donde el valor total consumido es de 29.5 kWh, que corresponde a un precio de 2.36 dólares, con un valor medio de energía diaria consumida de 3.7 kWh, lo que equivale a un costo medio diario de 0.29 dólares, y 108 dólares anuales. Al hacer “click” sobre una cualquier barra se obtiene la información que pertenece a ese día, en este caso se muestra el informe del 8 de marzo del 2014, donde el consumo de energía ha sido de 4.2 kWh, con un costo de 0.34 dólares, que corresponde a costo anual de 123 dólares. Algo muy importante que se debe tomar en cuenta es que el costo que se calcula es únicamente del consumo de energía. En el presente proyecto no se incluye los impuesto adicionales que la empresa eléctrica factura al final de cada mes.

CAPITULO V

5 ANÁLISIS DEL COSTO Y COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN IMPLEMENTADO CON UN MEDIDOR COMERCIAL

El análisis del costo del dispositivo está basado en los precios actuales de los elementos y dispositivos utilizados. La comparación del prototipo se realiza con medidores comerciales que tienen la capacidad de realizar tele-medicación, así mismo se destacan las ventajas y desventajas del dispositivo implementado, y se realizan algunas sugerencias que pueden ser implementadas en el sistema de medición.

5.1 ANÁLISIS DEL COSTO DEL DISPOSITIVO IMPLEMENTADO

Tabla 9. Presupuesto del sistema de medición de energía eléctrica implementado.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Sensor de corriente sct-013-000	1	\$ 30	\$ 30
Sensor de tensión	1	\$ 10	\$ 10
Arduino ATmega 2560 R3	1	\$ 50	\$ 50
TFT-LCD 3.2" 240*400	1	\$ 30	\$ 30
Shield TFT-LCD	1	\$ 5	\$ 5
Shield Ethernet	1	\$ 35	\$ 35
Placa del reloj	1	\$ 8	\$ 8
Placa para el acondicionamiento de la señal,	1	\$ 30	\$ 30
Cable y conectores rj45	20 m	\$ 10	\$ 10
Caja para el montaje del medidor	1	\$30	\$ 30
Fuente de energía para el prototipo	1	\$10	\$ 10
Diseño y construcción del hardware	No aplica	\$200	\$200
Diseño e implementación de software	No aplica	\$500	\$ 1000
TOTAL			\$ 1448




Fuente: [El Autor].

En la Tabla 9 se detalla los materiales y elementos utilizados, con su respectivo precio, así mismo se presenta el costo del diseño e implementación del hardware y software, además se tuvieron costos adicionales, entre estos tenemos los siguientes: equipos de medición (amperímetro), alquiler de osciloscopio utilizado para el acondicionamiento de las señales, y más equipos utilizados en el proceso de construcción de las diferentes etapas del sistema.

5.2 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN IMPLEMENTADO CON UN MEDIDOR COMERCIAL

La comparación del sistema de medición de energía eléctrica implementado se realiza con contadores comerciales considerados como “Smart Meters”. En la Tabla 10 se presenta la comparación de las principales características de estos medidores.

Tabla 10. Comparación del sistema de medición implementado con medidores inteligentes comerciales.

Parámetro	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3
Marca	No aplica	Itrón	Discar
Modelo	No aplica	OpenWay CENTRON	DIMET-G
Imagen			
Voltaje nominal	120V	120V	110 V
Frecuencia	50/60 Hz	60 Hz	50/60Hz
Tecnología para la transmisión de datos	Ethernet	ZigBee	GSM/GPRS
Tipo de comunicación	Unidireccional	Unidireccional	Bidireccional
Muestra reloj (RTC)	si	no	si
Puerto de comunicación local	USB-RS232	No disponible	No disponible
Software utilizado para la lectura de datos	Interfaz en Emoncms server.	Itron Analytics	MR. DIMS
Periodo de transmisión	10 segundos	15 minutos	15 minutos

Tipo de energía que mide	Activa	Activa	Activa
Admite tarifas prepago.	No	No	Si
Tipo de pantalla LCD	Táctil TFT-LCD 3.2" 240*400	LCD 16*2	LCD 16*2
Otros parámetros que registra.	Historial del consumo de energía de 7 días anteriores y de 7 meses, anteriores, medición de las variables de energía, factor de potencia, potencia aparente, potencia real, tensión y corriente, visualización de energía diaria, mensual y acumulada, y costo de energía, envío de información de las variables de energía una cuenta de twitter, si se invierte la conexión sigue registrando el consumo real de energía.	Detección de manipulación incluyendo la inversión del medidor, y revertir el flujo de energía.	Conexión y reconexión remota, Registro de eventos (apertura de gabinete, conexión al revés, terminal sin consumo, etc.). Programación remota de umbrales de demanda permitida, y umbrales de tensión máxima y mínima.
Hecho en:	Ecuador	EE.UU.	Argentina.

Fuente: [El Autor].

A partir de esta tabla comparativa se pueden presentar algunas ventajas y desventajas del sistema implementado.

5.3 VENTAJAS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

- La principal ventaja del sistema de medición de energía eléctrica implementado es la capacidad de medir la energía eléctrica consumida en tiempo real, y en unidades que el usuario puede percibir, esto le da la información necesaria para tomar decisiones de ahorro de energía y elegir el mejor momento para su consumo, además le permite conocer como está utilizando la energía y lo que está pagando por ella, para que pueda tener una planificación adecuada de su consumo.

- Presenta una interfaz muy amigable para el usuario basada en una pantalla táctil, permitiéndole seleccionar los parámetros de energía que requiera observar en cualquier momento.
- Almacena un historial de energía diaria consumida, y de la energía mensual consumida, permitiéndole al usuario tener su propio registro de datos, y saber qué días o meses se ha producido el mayor consumo.
- Al transmitir los datos en tiempo real a un servidor, se evita las lecturas manuales y precios estimados, además ya no se requiere que el medidor de energía sea instalado en la parte externa de una vivienda.
- No presenta problemas de conexión inversa, es decir que si se manipula e invierte las conexiones, siempre registrará el consumo de energía real.

5.4 DESVENTAJAS DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

- La principal desventaja es que el prototipo implementado no cuenta con baterías de respaldo ni almacenamiento de los datos en la memoria EEPROM del microcontrolador de arduino, por lo tanto cuando exista una corte de energía los valores medidos se pierden.
- Una de las desventajas que presenta frente a los equipos comerciales es que no posee la capacidad de comunicación bidireccional, sin embargo esto está limitado por el servidor utilizado para la lectura de datos, pero en la actualidad se están realizando pruebas por parte de los desarrolladores, para establecer la comunicación bidireccional, e incluso la capacidad de controlar la carga.

- Otra cuestión a tomar en cuenta es que el software utilizado para la lectura de datos está montado en un servidor preestablecido, por lo cual se limita a las políticas de los desarrolladores de este servidor, sin embargo, al ser este servidor de código abierto, se tiene las herramientas necesarias para implementar un propio servidor para la gestión y administración de los datos, según nuestros requerimientos. Se realizó una investigación moderada de esta posibilidad y creemos que estamos al nivel de conseguirlo.
- Algo que es importante recalcar es que el sistema implementado, mide valores de corriente erróneas cuando existe una corriente de carga inferior a 300mA, debido al ruido producido por el sensor de corriente y el ruido digital que puede tener el propio arduino. Sin embargo este error no es muy considerable en el momento de la implementación debido a que el dispositivo implementado tiene un consumo máximo de 300mA.
- Se puede considerar al sensor de corriente como una limitante, no en el aspecto técnico, sino en cuanto a la seguridad, es decir si no se encuentra en un lugar bien seguro, este puede ser fácilmente manipulado (desconectado).
- Considerando como se toma el tiempo para restablecer los valores de energía diaria, éstos no se restablecen todos los días a media noche como sería el caso ideal, sino que para poder sincronizarlo con la hora del servidor donde se envían los datos (tiene otra zona horaria), los valores de energía se restablecen todos los días a las 18:00 horas.
- Finalmente y una desventaja no solo para nuestro diseño, sino para todos los medidores inteligentes es que se puede mal utilizar la información, ocasionando problemas de seguridad e invadir la privacidad de los usuarios.

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El sistema de medición de consumo de energía eléctrica implementado cumple satisfactoriamente con las principales características de un medidor inteligente, haciendo posible la medición del consumo de energía de manera eficiente, además presenta muchas ventajas en comparación a los medidores mecánicos.
- Según los resultados obtenidos se puede concluir que los métodos establecidos para el cálculo de las variables de energía eléctrica son adecuados.
- Los sensores utilizados cumplen con los requerimientos técnicos necesarios para poder realizar mediciones con un nivel de exactitud aceptable, teniendo un error menor a 1%.
- La tecnología utilizada para la construcción del medidor de energía eléctrica se basa en arduino, el cual es de hardware y software libre, por lo tanto no se requiere ningún tipo de licencia para la implementación del dispositivo, así mismo para la presentación de datos se utiliza una pantalla táctil desplegando una interfaz amigable para el usuario.
- Para la lectura remota de los datos se realizó varias pruebas en diferentes herramientas web, que permiten el registro de datos basados en la nube, tales como; Xively, Nimbits, OpenSense, Emoncms, de las cuales se ha elegido la plataforma web “Emoncms”, ya que se ha considerado como la más adecuada para el monitoreo de las variables de energía.

- La disponibilidad y eficiencia del envío de los datos está sujeta a la calidad del servicio y de los equipos de comunicación instalados por parte de la empresa proveedora de internet al usuario.
- El presente proyecto de investigación puede ser tomado en cuenta como un primer paso en nuestra ciudad hacia el internet de las cosas “IoT” donde se puede implementar una red de sensores, para reunir, analizar, y distribuir datos, y de esta manera controlar nuestros objetos o cosas.
- Mediante los resultados y la comparación respectiva con medidores inteligentes se concluye que el prototipo implementado tiene un alto grado de funcionalidad, y precisión muy aceptable, pudiendo ser este tomado en cuenta como una alternativa de medidores comerciales. Si bien es cierto este solo es un prototipo y para su uso comercial falta un considerable análisis, y restringirse a normas de calidad, pero la idea presentada puede ser considerada como un punto de partida para el diseño de un medidor inteligente comercial, con todas las normas de calidad.

6.2 RECOMENDACIONES

- Es importante el uso de equipos y herramientas, adecuadas para la calibración y construcción del dispositivo, particularmente se recomienda, utilizar un osciloscopio para visualizar las señales obtenidas de los sensores, y a partir de ahí establecer los métodos de calibración y corrección de fase.
- Para la calibración de sensores, éstos se deben someter a diferentes cargas y en diferentes condiciones para poder observar su comportamiento, además se debe tomar en cuenta las peores condiciones, para que no exista un posible problema de saturación de los mismos.

- Es de vital importancia no limitarse a funciones y librerías preestablecidas en el software de programación de arduino, ya que éstas son diseñadas muchas de las veces para un solo fin, además pueden consumir demasiados recursos de memoria del microprocesador, por lo que es conveniente crear líneas de código propias que puedan reemplazar a dichas funciones o librerías.
- Se recomienda realizar una investigación profunda de los aspectos técnicos de los elementos utilizados, particularmente del “Arduino Mega 2560 R3” adquirido para el presente proyecto, presentó problemas en el cargador de arranque (Bootloader), cuando se tiene dentro del código que se está cargando más de tres signos de exclamación (!!!), también presenta problemas con el temporizador de vigilancia (watch dog timer) que se queda estancado en un bucle infinito. Para corregir el error es necesario volver a cargar el gestor de arranque o bootloader, se puede realizar esto utilizando otra placa arduino como un AVR ISP (In System Programmer). Sin embargo es posible que estos errores de fábrica ya hayan sido corregidos en la actualidad.
- Como un aspecto adicional se recomienda montar un propio servidor basado en la plataforma “Emoncms” que pueda ser personalizado, pudiendo tener el control total de la gestión y administración del registro de datos.
- Ya que es un dispositivo de medición que generalmente se encuentra ubicado en lugares donde las condiciones ambientales no son tan favorables, se recomienda montar el prototipo en una estructura que esté apta para soportar las inclemencias medioambientales. Además se puede mejorar la parte de las conexiones poniendo borneras más adecuadas, para conectar todo tipo de cable.
- Se puede implementar una subrutina de grabación en una memoria EEPROM externa o utilizar baterías de respaldo para guardar los datos cuando exista fallas eléctricas, y a su vez falle la conexión TCP/IP.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- [1] W. Hart. (2001). *Electrónica de Potencia*. Madrid. Pearson Educación. (Cap.2. p.20-50).
- [2] N. Mohan, M. Undeland, y P. Robbins. (2009) *Electrónica de potencia: Convertidores, aplicaciones y diseño, 3ra Edición*. México, D. F. McGraw-Hill.
- [3] H. Rashid. (2001). *Electrónica de potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones, 2da Edición*. México-Nueva York.

TESIS

- [4] J. Alvarado. *Servicios de Medición Avanzada (AMI) para Redes Inteligentes y su adaptabilidad en el marco de la Legislación Ecuatoriana*. Tesis de maestría en sistemas eléctricos de potencia, Universidad de Cuenca. (2011).
- [5] M. Milton. R. José. (2013). *Implementación de un medidor de consumo eléctrico residencial para facturación vía internet*. Tesis de Ingeniería en Electrónica y Control, Escuela Politécnica Nacional.
- [6] L. Gustavo. (2013). *Diseño e implementación de software y hardware de un registrador de variables eléctricas con comunicación ethernet basado en tecnología arduino y sistema de supervisión HMI*. Tesis de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación, Escuela Politécnica del Ejército.

PÁGINAS WEB

- [7] It's Your Smart Grid. (2013 Julio 2). An Energy Internet. [En línea]. Disponible en: http://www.itsyoursmartgrid.com/solutions/energy_internet.html
- [8] Connected Planet. (2013 Julio 2). Smart grid: Definition, road map and breadth of this grand challenge. [En línea]. Disponible en: <http://connectedplanetonline.com/home/commentary/smart-grid-road-map-0105/>
- [9] Endesa. (2013 Julio 2). Las redes inteligentes. [En línea]. Disponible en: <http://www.endesasmartgrids.com/index.php/es/las-redes-inteligentes>
- [10] DW.DE. *Smart Grid, la red eléctrica inteligente del futuro*. (2013 Julio 2). [En línea]. Disponible en: <http://www.dw.de/smart-grid-la-red-el%C3%A9ctrica-inteligente-del-futuro/a-16781949>
- [11] Electric Power Research Institute. (2013 Julio 2). Smart Grid. [En línea]. Disponible en: <http://www.epri.com>
- [12] G. Rojas. (2013 Abril 10). Infraestructura de medición avanzada aplicada a la gestión comercial de una empresa de energía. [En línea]. Disponible en: http://www.cocme.org/ac/images/stories/mesa_u/06-%20gr.pdf

- [13] *SMART GRIDS Y LA EVOLUCIÓN DE LA RED ELÉCTRICA*. Fedit. (2011). [En línea]. Disponible en: http://www.minetur.gob.es/industria/observatorios/sectorelectronica/actividades/2010/federaci%C3%B3n%20de%20entidades%20de%20innovaci%C3%B3n%20y%20tecnolog%C3%ADa/smart_grids_y_evolucion_de_la_red_electrica.pdf
- [14] I. Vargas et al. (2010). Automatización de procesos industriales, sensores de corriente. [En línea]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/71225213/Sensores-de-Corriente>
- [15] *Nuevos desarrollos en sensores de corriente en medidores de estado sólido*. (2013). [En línea]. Disponible en: http://www.analog.com/static/importedfiles/tech_articles/16792408482720MI_Issue3_2001_pg52-53_analog_Spanish.pdf
- [16] Ecamec Tecnología. (2009). Tecnología Rogowski. [En línea]. Disponible en: <http://www.ecamec.com/newsletter/bajarnotab0609.pdf>
- [17] Open Energy Monitor (2013 Abril 18). Medición de voltaje de CA con una toma de CA con el adaptador de alimentación de CA. [En línea]. Disponible en: <http://openenergymonitor.org/emon/buildingblocks/measuring-voltage-with-an-acac-power-adapter>
- [18] Potencia de señales eléctricas en estado estable. Ingeniería eléctrica teoría y problemas. (2001). [En línea]. Disponible en: <http://robles.mayo.uson.mx/IngElectrica/Capitulo8potenciaCA.pdf>
- [19] *Arduino Team. What Arduino can do*. (2014). [En línea]. Disponible en: <http://www.arduino.cc/>
- [20] M. James. *Que es Wiring*. (2012). [En línea]. Disponible en: <http://www.marlonj.com/blog/2011/06/ques-es-wiring/>
- [21] A. Trujillo. (2010). *Los protocolos de capa Física y Enlace de datos definen a Ethernet*. [En línea]. Disponible en: <http://trujillosoft.blogspot.com/2010/05/ethernet.html>.
- [22] Arduino Mega2560 R3. *Overview*. (2014). [En línea]. Disponible en: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
- [23] *ITDB02-3.2WD*. (2013). [En línea]. Disponible en: <http://imall.iteadstudio.com/im120419006.html>
- [24] *Wiznet W5100 Datasheet. Versión 1.1.6*. (2008). [En línea]. Disponible en: https://www.sparkfun.com/datasheets/DevTools/Arduino/W5100_Datasheet_v1_1_6.pdf
- [25] High-pass filter. (2010). [En línea]. Disponible en: http://en.wikipedia.org/wiki/High-pass_filter

- [26] X. Dave. Desert Home (2013). *How I Monitor Power*. [En línea]. Disponible en: <http://www.desert-home.com/p/test-html-code.html>.
- [27] G. Hudson. T. Lea. (2013). *OpenEnergyMonitor Sistem*. [En línea]. Disponible en: <http://openenergymonitor.org/emon/sites/default/files/OEM%20System%20Overview%20Nov%202013.pdf>
- [28] Tweet Library for Arduino. (2012). *Post messages to twitter (tweet) from Arduino with Ethernet Shield*. [En línea]. Disponible en: <http://arduino-tweet.appspot.com/>
- [29] W. Paul. IEEE SPECTRUM. Putting the Meter Under the Microscope. (2013). *How a smart/meter kit changed my energy habits*. [En línea]. Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/putting-the-meter-under-the-microscope>.
- [30] S. William. IEEE SPECTRUM. (2009). *How Smart Can You and Your Local Electricity Grid Get?*. [En línea]. Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/energy/the-smarter-grid/smart-local-electricity-grid>
- [31] M. Gracia. *Guía de compra Arduino: Versiones de placas Arduino (Parte 1 de 2)*. (2013). [En línea]. Disponible en: <http://unpocodejava.wordpress.com/2013/03/05/guia-de-compra-de-arduino-versiones-de-placas-arduino-parte-1-de-2/>
- [32] S. Sabey. SmartEnergy. *Build your SEGmeter*. (2010). [En línea]. Disponible en: <http://smartenergygroups.com/samotage/posts/75-Build-your-SEGmeter>
- [33] O. Constanza. *¿Sabes cuánta electricidad consume tu casa?*. (2009). [En línea]. Disponible en: <http://blog.toprural.com/sabes-cuanta-electricidad-consume-tu-casa/>
- [34] Salao et al. (2013). Catálogo Digital. *Redes de distribución de energía eléctrica*. [En línea]. Disponible en: http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=158&Itemid=299
- [35] P. Torrone. *Tweet-a-watt-our entry for the Core77 & Greener Gadgets design competition*. (2009). [En línea]. Disponible en: <http://makezine.com/2009/01/18/tweetawatt-our-entry-for-the-core77/>
- [36] B. Evens. *Arduino programing notebook*. (2007). [En línea]. Disponible en: http://www.sullivan-county.com/ele/pdf/arduino_notebook.pdf
- [37] J. Winters. *Real-time Web Based Power Charting*. (2009). [En línea]. Disponible en: <http://www.picobay.com/projects/2009/01/real-time-web-based-power-charting.html>

ANEXOS

ANEXO A. CIRCUITO IMPLEMENTADOS

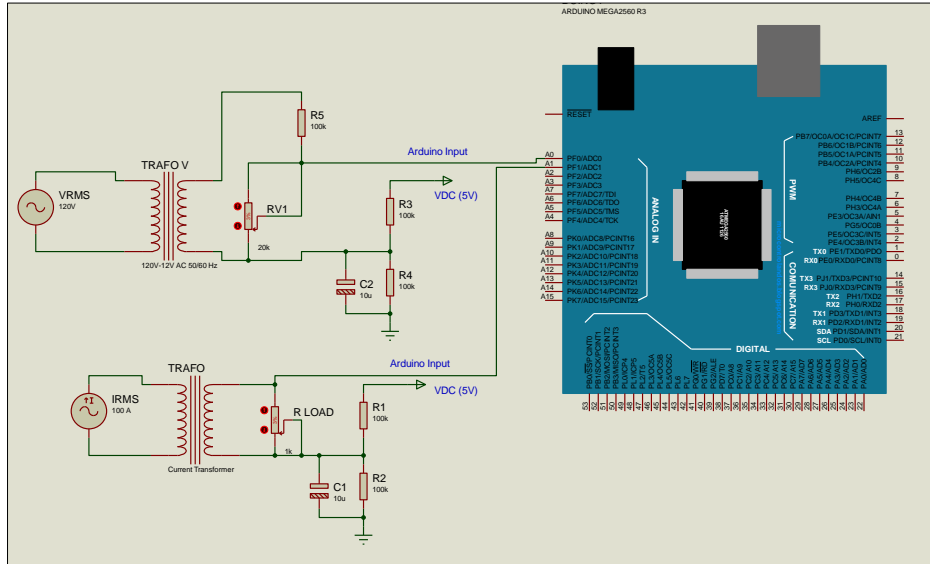


Fig. A.1 Esquema Utilizado para la adquisición de las señales de corriente y voltaje, simulado en Proteus 8.0.

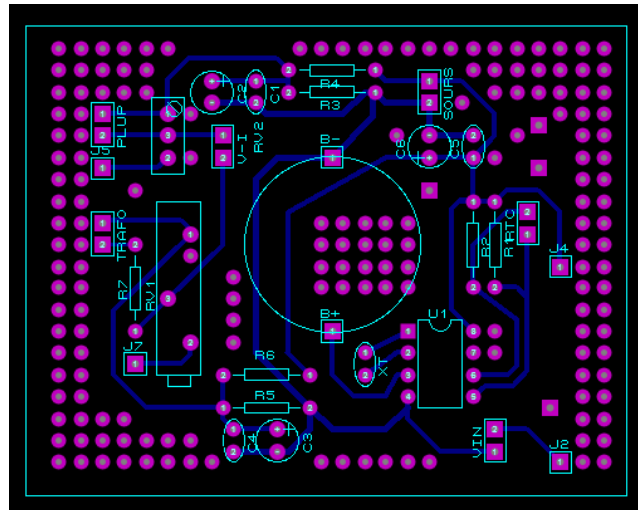


Fig. A.2. Diseño del circuito impreso para la adquisición de la señal de los sensores realizado en ARES.

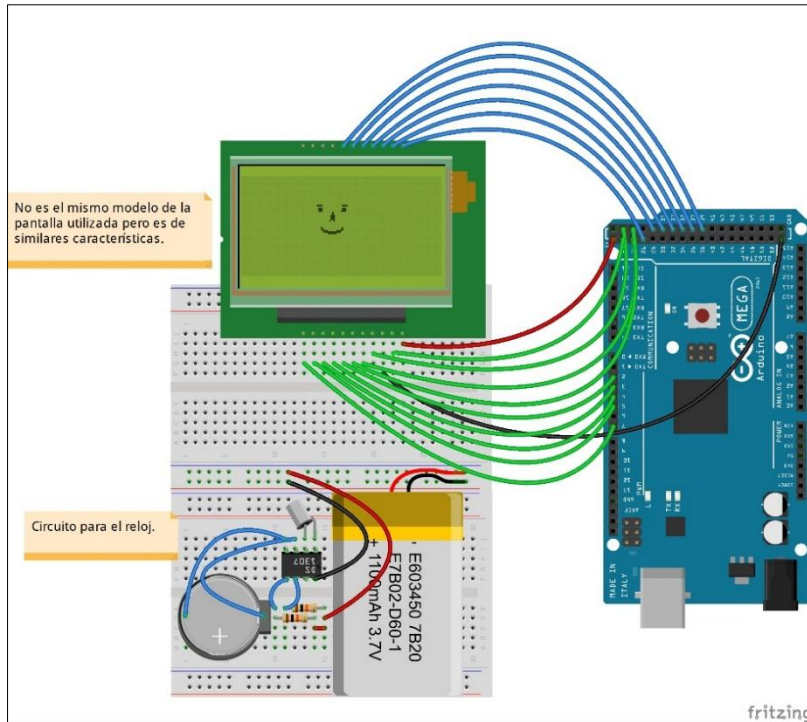


Fig. A.3. Diagrama del circuito implementado para la presentación de los datos en la TFT-LCD simulado en Fritzing.

ANEXO B. ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN EN ARDUINO

ANEXO B-1. ALGORITMO PARA EL FILTRO PASA ALTO

```

AntMuestraV=muestraV; // La muestra actual de corriente se convierte en una muestra pasada
AntMuestral=muestral; // La muestra actual de voltaje se convierte en una muestra pasada
FilterInitV = FilterUltV; // La muestra de voltaje filtrada actual se convierte en muestra pasada
FilterInitI = FilterUltI; // La muestra de corriente filtrada actual se convierte en muestra pasada
muestraV = analogRead(analogPinV); // Empieza a tomar muestras de voltaje
muestral = analogRead(analogPinI); // Empieza a tomar muestras de corriente
FilterUltV = 0.996*(FilterInitV+(muestraV-AntMuestraV)); // Filtro pasa alto de para Vrms
FilterUltI = 0.996*(FilterInitI+(muestral-AntMuestral)); //Filtro pasa alto para Irms

```

ANEXO B-2. ALGORITMO PARA LA CORRECCIÓN DE FASE

```

correctPhaseV = FilterInitV + PhaseCalib*(FilterUltV-FilterInitV); // Fórmula para la corrección de fase

```

ANEXO B-3. ALGORITMO PARA LA LECTURA AUTOMÁTICA DEL VOLTAJE DE REFERENCIA

```
long readVcc() {
long result;
// Se selecciona canal de entrada analógica (ADMUX)
// Se activa el ADC mediante el modo de disparo automático registro ADCSRB
// Lectura de Vcc mediante la referencia interna (1.1V)
ADMUX = _BV(REFS0) | _BV(MUX4) | _BV(MUX3) | _BV(MUX2) | _BV(MUX1); ADCSRB &= ~_BV(MUX5);
delay(2); // Espera a que Vref se estabilice
ADCSRA |= _BV(ADSC); // Se realiza una conversión y se desactiva el ADC mediante el registro ADCSRA
while (bit_is_set(ADCSRA,ADSC)); // Mientras se realice la conversión
result = ADCL; // Se completa el ADC, el resultado de 10 bits estará disponible en los registros ADCH
y ADCL.
result |= ADCH<<8;
result = 1126400L / result; // calcula Vcc en mili voltios mediante la ecuación
return result;
} //End readVcc
```

ANEXO B-4. ALGORITMO PARA LA CALIBRACIÓN DE SENSORES.

```
SupplyVolt = readVcc()/1000.0; // Se lee el voltaje suministrado a la placa arduino
VCalib = ((78.329*SupplyVolt)/ 1023.0); // Se aplica la fórmula para la calibración del voltaje
ICalib = ((58.8*SupplyVolt)/ 1023.0); // Se aplica la fórmula para la calibración del corriente
powerCalib = ICalib*VCalib; // Constante para calibrar la potencia
```

ANEXO B-5. ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DE LAS VARIABLES DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

```
Vrms = VCalib * sqrt(sumV / NumMuestras);           // Cálculo de voltaje eficaz
Irms = ICalib * sqrt(sumI / NumMuestras);           // Cálculo de corriente eficaz
realPower = (powerCalib * sumP) / NumMuestras;      // Cálculo de la potencia real
aparentPower = Vrms * Irms;                         // Cálculo de la potencia aparente
powerFactor=(realPower / aparentPower);             // Cálculo del factor de potencia
ISR(TIMER1_COMPA_vect){                             // Timer cada segundo para calcular energía en Julios.
whDay += realPower/ 3600;    // Cálculo de la energía cada día se guarda en otra variable
kwhMonth+=realPower/3600000;
costo = 0.08*kwhMonth;
} //End interrupción
```

ANEXO C. MONTAJE DEL PROTOTIPO



Fig. C.1. Montaje del prototipo y el interfaz para el registro de datos.



Fig. C.2. Adecuación de las entradas y salidas del prototipo implementado.



Fig. C.3. Pantalla de presentación del menú “HOME” del contador de energía implementado.



Fig. C.4. Pantalla de presentación del menú “ENERGY”. Corriente, voltaje, y potencia real.



Fig. C.5. Pantalla de presentación del submenú “E1” Energía diaria, factor de potencia, y potencia aparente.



Fig. C.6. Pantalla de presentación del submenú “E2” Energía mensual, energía total, y costo de energía mensual.



Fig. C.7. Pantalla de presentación del menú “HIST”, historial de energía diaria consumida, con fecha y el respectivo costo.



Fig. C.8. Pantalla de presentación del submenú “HM”, historial de energía mensual consumida, con fecha y su respectivo costo.

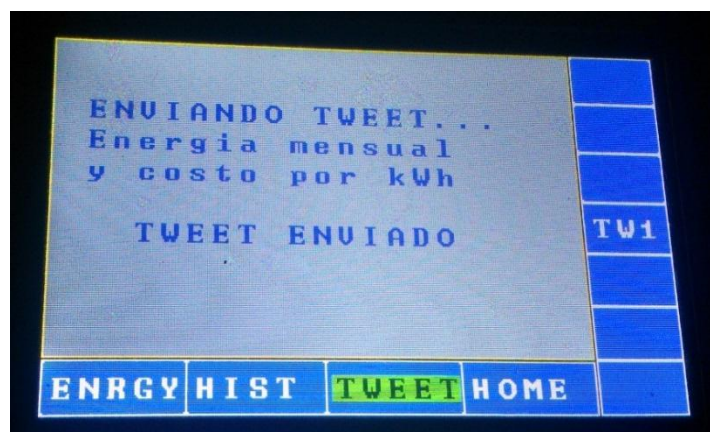


Fig. C.9. Pantalla de presentación del menú “TWEET”, Se postea un tuit con el valor de la energía mensual y el costo por kWh.

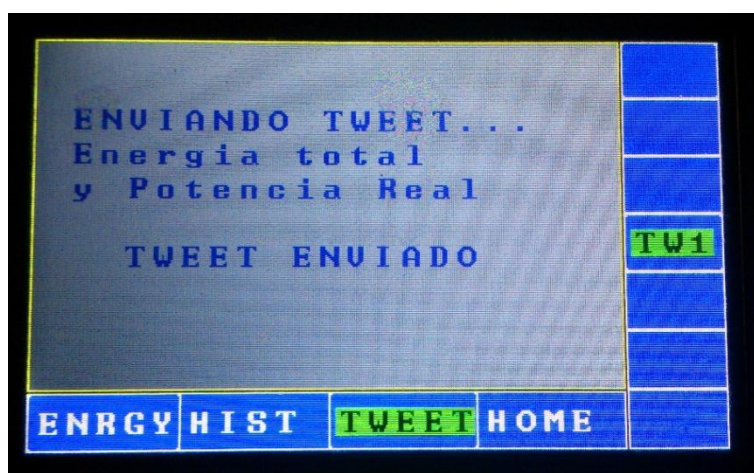


Fig. C.10. Pantalla de presentación del submenú “TW1”, Se postea un tuit con el valor de la energía total y la potencia real.



Fig. C.11. Datos enviados por medidor de energía a twitter.

ANEXO D. MANUAL DE USUARIO DEL MEDIDOR ELECTRÓNICO DE ENERGÍA

ANEXO D-1 PARTES DEL MEDIDOR

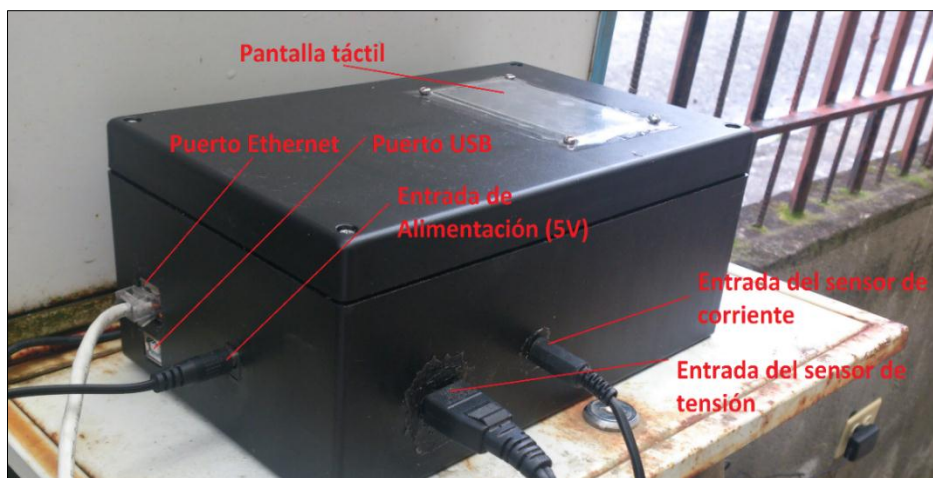


Fig. D.1. Partes del medidor de energía.

Entrada del sensor de corriente: El sensor de corriente siempre se lo debe conectar primero a una línea de la red eléctrica, ya sea fase o neutro, simplemente se debe enganchar el sensor en la línea sin importar el sentido en el que se lo conecte. El límite máximo de corriente que puede sensor es de 100 amperios.

Entrada del sensor de tensión: La salida del sensor de tensión se conecta a la línea de la red eléctrica, un cable a la fase y otro al neutro.

Puerto ethernet: Permite conectar el medidor eléctrico a la red de internet para el envío de datos, se debe conectar un cable UDP con un conector RJ45 al router.

Puerto USB: Permite conectar al medidor de energía a un computador, para su programación.

Pantalla táctil: Permite visualizar el menú y submenús que permiten presentar todos los parámetros de energía eléctrica medidos, además de la fecha, hora y presenta mensajes de confirmación de envío de datos a twitter.

Alimentación: La fuente de alimentación del medidor en lo posible no debe excederse de los 5 voltios, es preciso utiliza un adaptador de tensión AC/DC de 110V/5V.

Consumo de corriente: Tomando en cuenta la corriente que máxima que los pines del arduino pueden suministrar y el consumo de corriente de los circuitos implementados se establece que la corriente máxima de consumo es aproximadamente de 300 mA por lo tanto se lo debe alimentar con un adaptador que tenga una corriente superior a 300mA.

ANEXO D-2. PROGRAMACIÓN

La programación permite configurar la fecha, hora, valor inicial del consumo de energía eléctrico y si el usuario requiere puede cambiar el intervalo de tiempo para el envío de datos (siempre debe ser mayor a 5 segundos). También se puede configurar las variables que se envían a un cliente twitter y cada que tiempo se envían (2 horas, 4 horas, etc.).

Para poder comunicarse con el medidor electrónico se debe seguir los siguientes pasos:

- Conectar el cable USB.
- Ejecutar el programa "Arduino 1.0.5".
- Seleccionar el puerto de comunicación (COM1, COM2, etc.).
- Establecer los valores, que se desee seleccionar.

- Compilar el programa.

Para el monitorear los datos desde cualquier parte del mundo y en el momento que el usuario desee, hay dos opciones: la primera opción nos permite ir a una página web donde se muestra un resumen de lo que trata el presente proyecto, además se incluyen posibles modificaciones o mejoras que se le puede dar al mismo. Aquí puede encontrar información de posteriores proyectos que se puede realizar, Además esta página está vinculada con twitter, y se puede observar los datos que el medidor de energía envía periódicamente, adicional a esto se presenta una galería, y la información personal del desarrollador del presente proyecto.

Para ir a esta página simplemente, en nuestro navegador web preferido escribimos la URL: <http://jdarduino.github.io/> . De esta página también se puede redireccionar a la página “emoncms.org”.

La segunda opción nos lleva directo a la interfaz creada en el servidor emoncms, donde se muestran todas las gráficas de los parámetros medidos. Para lo cual escribimos en nuestro navegador la dirección URL <http://emoncms.org/JDArduino>. En esta página se presentan tres opciones, “V-I”, “Potencia”, “Energy” que corresponden a las gráficas de las diferentes variables de medición.

Para los usuarios que deseen monitorear sus datos desde su dispositivo Android se creó una aplicación denominada “EnergyJD.apk”. Simplemente se la instala, se la ejecuta y se obtiene la interfaz con el valor de la potencia y la energía diaria consumida.