



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Diseño y construcción de un hub de medición de consumo de energía eléctrica para uso doméstico.

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTORES: Pérez Acaro, Víctor Fernando

DIRECTOR: Castillo Calvas, Tuesman Daniel, Mgtr.

LOJA – ECUADOR

2019



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2019

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Mgtr.

Tuesman Daniel Castillo Calvas.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Diseño y construcción de un hub de medición de consumo de energía eléctrica para uso doméstico**, realizado por **Víctor Fernando Pérez Acaro**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, enero de 2019

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo **Víctor Fernando Pérez Acaro**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Diseño y construcción de un hub de medición de consumo de energía eléctrica para uso doméstico”, de la Titulación de Electrónica y Telecomunicaciones, siendo **Tuesman Daniel Castillo Calvas** director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.

Autor: Víctor Fernando Pérez Acaro

Cédula: 1105648370

DEDICATORIA

A mis padres Víctor y Rosa, por ser mi pilar fundamental y saber guiarme en mi vida, dándome su amor y apoyo para seguir adelante durante mis estudios.

A mi tía Teresa, por brindarme su apoyo y darme sus consejos, para seguir adelante con mis estudios.

A mis hermanos Jorge y Cristhian, que siempre me han estado apoyado dándome aliento para seguir adelante en mi vida y estudios.

Víctor Pérez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud y sabiduría para terminar mis estudios satisfactoriamente en mi vida profesional.

A mis padres, por darme su amor, su apoyo e inculcarme ser una persona de bien, dándome sus consejos para seguir adelante y agradezco por su esfuerzo para darme los estudios.

A mi tía Teresa, por brindarme su apoyo incondicional y con sus consejos que me dio en todo momento para no rendirme.

A mis hermanos Jorge y Cristhian, por brindarme su apoyo y sus consejos para culminar con éxito mi carrera estudiantil.

A mi amigo Alex Moreno por su amistad y la colaboración para realizar este proyecto.

A mi director de tesis, Mgtr. Tiesman Daniel Castillo Calvas, quien me supo brindar su apoyo y compartir sus conocimientos para realizar este trabajo de titulación.

Víctor Pérez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
CAPÍTULO I.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
1.1. Introducción.....	7
1.2. Dispositivos no comerciales.	7
1.3. Dispositivos comerciales.	8
1.3.1. Medidor de energía inteligente-Mirubee Mirubox.	8
1.3.2. Medidor de electricidad inteligente Wemeter BEYWEMC100.	9
1.3.3. Medidor inteligente de una sola fase emlite ASL & Gsm.....	9
1.3.4. KIT DAE P204-200-S, Polaris submeter inteligente UL kWh, 3P4W.....	10
1.4. Sistemas de gestión de energía.	10
1.5. Redes de sensores inalámbricos.....	12
1.6. Nodos.....	12
1.7. Topología de red.	13
1.7.1. Topología en estrella.	13
1.7.2. Topología en malla.	14

1.8. Funcionamiento del sistema.....	14
CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. Introducción.....	17
2.2. Conceptos	17
2.2.1. Medidores tradicionales.....	17
2.2.2. Medidores inteligentes.....	17
2.2.3. Consumo eléctrico.....	17
2.2.4. Potencia.	18
2.2.5. Potencia Aparente (S).	18
2.2.6. Potencia Activa (P).	18
2.2.7. Potencia Reactiva (Q).....	18
2.2.8. Factor de Potencia.....	19
2.2.9. Corriente.....	19
2.2.10. Voltaje.	19
2.2.11. I2C.....	20
2.2.12. MySQL.	20
2.2.13. PHP.....	20
2.2.14. HTML.....	21
2.3. Hardware.....	21
2.3.1. Raspberry pi zero w.....	21
2.3.2. Arduino uno R3.....	22
2.3.3. NodeMCU esp8266.	23
2.3.3.1. Chip ESP8266.	24
2.3.4. Sensor ACS712.....	25
2.3.5. Sensor sct-030-100.	26
2.3.6. ADS1115.	29
CAPÍTULO III.....	30
DISEÑO.....	30
3.1. Introducción.....	31
3.2. Prediseño.	31
3.2.1. Prediseño con Arduino Uno R3.....	31
3.2.2. Prediseño con raspberry pi zero w.....	32
3.2.3. Prediseño con nodeMCU esp8266.	33

3.3. Selección de Hardware.	34
3.4. Diseño del circuito.	34
3.4.1. Diagrama de medición de corriente.	34
3.4.2. Diagrama de medición de voltaje.	36
3.4.3. Diseño del esquema general.	37
3.4.4. Diseño del diagrama general.	38
3.4.5. Diseño en PCB.	39
3.4.6. Diseño 3D.	39
3.5. Programación de la placa de desarrollo.	40
3.6. Cálculos realizados en el software.	42
3.6.1. Cálculo de los valores de las potencias.	42
3.6.1.1. Cálculo de V_{rms}	42
3.6.1.2. Cálculo de I_{rms}	43
3.6.1.3. Cálculo de la potencia activa.	43
3.6.1.4. Cálculo de la potencia aparente.	44
3.6.1.5. Cálculo de la potencia reactiva.	44
3.6.1.6. Cálculo del factor de potencia.	44
3.6.2. Cálculo de kWh y dólares.	45
3.6.2.1. Cálculo en kWh.	45
3.6.2.2. Cálculo en dólares.	46
3.7. Envío de datos y creación de la base de datos.	46
3.8. Diseño y programación de la página web.	47
 CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS 4.1. Introducción. 4.2. Implementación del circuito en una placa. 4.3. Conexión del medidor inteligente a la red de energía eléctrica de la vivienda. 4.4. Validación del medidor inteligente. 4.5. Visualización de resultados en la página web. 4.6. Presupuesto. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES	 50 50 51 51 52 53 55 61 62 63

BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS.....	68
ANEXO A.....	69
Diagrama de flujo de conexión a la base de datos	70
Diagrama de flujo filtro digital	71
Diagrama de flujo conversión de voltajes y corrientes	72
ANEXO B.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medidor Mirubee Mirubox con aplicación móvil.....	8
Figura 2. Medidor Wemeter conectado a tablero eléctrico	9
Figura 3. Medidor emlite con GSM una sola fase.....	9
Figura 4. Medidor polaris de 3 fases	10
Figura 5. Diseño de Sistema de gestión energético	12
Figura 6. Diagrama de bloques de las partes de un nodo	13
Figura 7. Topología estrella	13
Figura 8. Topología en malla	14
Figura 9. Esquema del funcionamiento del medidor inteligente	14
Figura 10. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema	15
Figura 11. Triángulo de potencias.....	19
Figura 12. Raspberry pi zero w	21
Figura 13. Arduino Uno R3	22
Figura 14. Pines del nodeMCU esp8266.....	23
Figura 15. Esquema general de la placa de desarrollo nodeMCU esp8266	24
Figura 16. Diagrama de bloques funcional.....	24
Figura 17. Sensor de efecto hall ACS712	25
Figura 18. Sensor de corriente no invasivo sct-030-100	26
Figura 19. Diagrama de conexión del sensor no invasivo	27
Figura 20. Embobinado del sensor no invasivo.....	28
Figura 21. Convertidor de analógico a digital de 4 entradas ADS1116	29
Figura 22. Prediseño del medidor inteligente con la placa Arduino Uno R3	32
Figura 23. Diagrama de funcionamiento del medidor inteligente con Arduino Uno R3	32
Figura 24. Prediseño del medidor inteligente con raspberry pi zero w	33
Figura 25. Diagrama de bloques de funcionamiento con raspberry pi zero w	33
Figura 26. Prediseño del medidor inteligente con la placa de desarrollo nodeMCU esp8266.....	33
Figura 27. Diagrama del funcionamiento del medidor inteligente con el nodeMCU esp8266.....	34
Figura 28. Esquema de acoplamiento del sensor CST-013 (Tensión) en Proteus	35
Figura 29. Esquema de conexión para medición del voltaje en Proteus	37
Figura 30. Esquema de conexión del medidor inteligente	38
Figura 31. Diagrama general de conexión del medidor inteligente en Proteus	39
Figura 32. Diseño del circuito general para imprimir en Proteus	39
Figura 33. Diseño del medidor inteligente 3D en Proteus	40
Figura 34. Diagrama de flujo del funcionamiento del medidor inteligente.....	41
Figura 35. Tabla de mediciones de la base de datos	46
Figura 36. Diagrama de flujo del funcionamiento de la página web.....	47
Figura 37. Tabla de usuarios de la base de datos.....	48
Figura 38. Diseño de página para iniciar sesión.....	48
Figura 39. Diseño de página me indicadores de medición en tiempo real.....	48
Figura 40. Diseño de menú de la página web	49
Figura 41. Placa del circuito del medidor inteligente	51
Figura 42. Placa conectada al sensor de corriente y de voltaje.....	52
Figura 43. Conexión del medidor inteligente en la vivienda	52
Figura 44. Gráfica de voltaje del medidor industrial y medidor doméstico	54
Figura 45. Gráfica de error del voltaje.....	54
Figura 46. Gráfica de corriente del Fluke y del medidor inteligente doméstico.....	55

Figura 47. Gráfica de error de la corriente	55
Figura 48. Visualización de datos en tiempo real de las diferentes variables a medir .	56
Figura 49. Gráfica de resultados de mediciones en tiempo real de los kWh	56
Figura 50. Gráfica de barras de resultados del consumo en kWh por meses.....	57
Figura 51. Gráfica de resultados en tiempo real del consumo en dólares	57
Figura 52. Gráfica de barras de resultados en dólares de cada mes	58
Figura 53. Gráfica del consumo de corriente de la vivienda	58
Figura 54. Gráfica del consumo de corriente de varios electrodomésticos	59
Figura 55. Gráfica del consumo de potencia de la vivienda	59
Figura 56. Gráfica de medición de potencia con diferentes electrodomésticos con el enchufe inteligente.....	60
Figura 57. Diseño Final del medidor inteligente	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medidas de calibración del medidor inteligente con respecto al industrial.....	53
Tabla 2. Costo de materiales y dispositivos a utilizar	61

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realiza un prototipo de un medidor inteligente que, al conectarlo a la red eléctrica de la vivienda, se puede obtener el consumo eléctrico tanto en dólares como en kWh. También se obtienen las medidas de diferentes potencias, las cuales sirven para informar al usuario sobre el consumo eléctrico de la vivienda. El medidor inteligente se conecta a una red Wifi para enviar los datos medidos a una base de datos, estos datos se pueden visualizar desde una página web. Los dispositivos utilizados para el desarrollo son de bajo costo, como la placa de desarrollo nodeMCU esp8266, en la cual se realiza la programación. Para la medición de voltaje eléctrico se utiliza un transformador a 12 voltios AC, este se conecta a un divisor de voltaje para adecuar el voltaje al ADC. Para la medición de la corriente eléctrica se utiliza un sensor tipo pinza, el cual es no invasivo, solo se conecta alrededor del cable, esto facilita la conexión en cualquier vivienda, sin necesidad de realizar alguna configuración adicional a la red eléctrica. El medidor inteligente se lo encapsula en un case, el cual es impreso en una impresora 3D.

PALABRAS CLAVES: Voltaje, corriente, potencia, potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva, factor de potencia, consumo de energía, consumo en dólares, medidor eléctrico.

ABSTRACT

In the present work of degree, a prototype of an intelligent meter is realized that, when connecting it to the electrical grid of the house, it can get the electricity consumption in both dollars and kWh. This also obtains the measurements of different powers, which serve to inform the user about the electricity consumption of the house. The smart meter connects to a Wi-Fi network to send the measured data to a database, this data can be viewed from a web page. The devices used for development are low cost, such as the development board nodeMCU esp8266, in which programming is carried out. A 12-volt AC transformer is used for the electrical voltage measurement, this is connected to a voltage divider to adapt the voltage to the ADC. For the measurement of electrical current, a clamp-type sensor is used, which is non-invasive, this facilitates the connection in any dwelling, without having to make any additional configuration to the electrical network. The smart meter is encapsulated in a case, which is printed on a 3D printer.

KEYWORDS: Voltage, current, power, active power, apparent power, reactive power, power factor, energy consumption, consumption in dollars, electric meter.

INTRODUCCIÓN

Los medidores de consumo eléctrico tradicionales en los hogares permiten cuantificar cuanta energía eléctrica activa se ha consumido en un determinado periodo. Los valores medidos solo se los puede visualizar en el contador físico del medidor. Para poder generar una factura por consumo eléctrico, los operadores de las empresas eléctricas deben contratar personal, quienes se encargan de tomar el valor medido para luego realizar los respectivos cálculos y obtener el valor del consumo en dólares, esto implica que el usuario conozca el valor a cancelar una sola vez al mes al momento de cancelar por el servicio.

El modelo de medición y facturación tradicional no permite que el consumidor conozca en tiempo real cuánto está consumiendo su hogar. El consumidor no cuenta con las herramientas que le permitan autorregularse ni detectar consumos parásitos (stand-by, cargadores, etc.) Debido a esto surgen en el mercado dispositivos llamados “medidores inteligentes”

Aquellas iniciativas “Medidores inteligentes” y “Enchufes inteligentes” no han sido integradas totalmente, desaprovechando la funcionalidad que puede ofrecer para la predicción del consumo, la autorregulación, la información y el control energético en un hogar o edificio, es así, que en el siguiente proyecto de fin de titulación se desarrollará un prototipo de medidor inteligente principal para el hogar, el cual formará parte de una red doméstica con enchufes inteligentes secundarios comunicados por una red inalámbrica wifi; el dispositivo será de bajo costo al considerar hardware abierto.

Este prototipo se lo desarrolla con el fin de informar sobre el consumo eléctrico tanto en kWh como en dólares y para gestionar los dispositivos eléctricos conectados a cada enchufe inteligente secundario, también podemos controlar el encendido y apagado de los dispositivos conectados a los enchufes, y permite el envío de notificaciones a él o los usuarios de la casa.

Se fabricó el prototipo usando las placas nodeMCU 8266 y un sensor de corriente ACS712, las placas de desarrollo se las programa para leer el sensor de corriente y se envía los datos a una base de datos. En la programación se realiza los respectivos cálculos para obtener los valores de energía que consume cada dispositivo que cuenta con un enchufe inteligente y la totalidad de consumo del hogar o edificio ya que el medidor inteligente estará conectado al tablero de distribución principal. En la placa también se programará el encendido y apagado de los dispositivos conectados,

funcionando como actuador, también es posible realizarlo de forma automática (programar un calendario).

Se creó una página web en php en la cual es posible hacer la consulta de los datos de una base de datos MySQL y también se podrá hacer el control, además para ingresar a la página web se debe ingresar con un usuario y contraseña para tener seguridad de la información y el control del hogar.

Para el desarrollo se utilizará la metodología experimental.

En el primer capítulo se realizará una investigación sobre los dispositivos existentes como son los comerciales y no comerciales también se hace una breve investigación de sistemas de gestión de energía y algunas topologías para la conexión. Además, se describe el funcionamiento del medidor inteligente.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico en el cual se describe sobre todos los conceptos generales que son necesarios para entender sus significados de los conceptos y las características de los dispositivos y elementos que se podrían utilizar para desarrollar el prototipo del medidor inteligente.

En el tercer capítulo se muestra el diseño del medidor inteligente tanto en hardware como en software. Se realiza todos los cálculos respectivos para que el funcionamiento del dispositivo electrónico sea el más adecuado para su funcionamiento. También se desarrolla el diseño de la página web donde podemos observar todos los datos obtenidos del medidor.

En el cuarto capítulo se realiza la implementación y resultados de todo el medidor inteligente en el cual realizamos el montaje de los dispositivos electrónicos en una placa de fibra de vidrio. También se realizan las respectivas pruebas del medidor y la página web.

Objetivo general

Diseño e implementación de un medidor inteligente para uso doméstico, de bajo costo y con plataforma web para visualización de resultados.

Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte de los dispositivos de medición de energía eléctrica (smart meters).
- Diseñar un hub de medición de consumo de potencia activa y reactiva basado en hardware libre.
- Construir el prototipo, analizar el desempeño y porcentaje de error con respecto a un medidor de energía calibrado.
- Implementar la funcionalidad de la aplicación móvil de control y configuración del prototipo.
- Procesar y almacenar los datos en una plataforma para el internet de las cosas.

CAPÍTULO I
REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Introducción.

En el siguiente capítulo se hace un preámbulo sobre los dispositivos comerciales y no comerciales ya existentes y sobre algunos sistemas de gestión energética y sus conexiones, lo cual servirá para informarse sobre los avances y diferentes hardware utilizado para la construcción de estos dispositivos.

1.2. Dispositivos no comerciales.

En (Zaldaña, 2011) se construye un medidor inalámbrico de consumo de energía de bajo costo con comunicación inalámbrica Wi-Fi, el dispositivo mide la potencia y energía eléctrica consumida en la red eléctrica, los datos se envían a un servidor web para ser procesados. Para la programación utiliza un microcontrolador PIC16F876A, un reloj de tiempo real el DS1307 y un transductor de corriente AC a voltaje DC (Pinza de corriente) el cual es un sensor no invasivo y para la comunicación inalámbrica utilizan un router DIR-300 al cual le instalan un sistema operativo Open Wrt.

En (Susana, 2014) se realizó un Enchufe doméstica Smartplug, el cual es un sistema que es controlado a través de una web a cuatro enchufes independientes, está conformado por una placa Arduino Yún, y una placa de relees para el control, los cuales se los programa para el funcionamiento en intervalos de tiempo para el control, este dispositivo solo tiene la función de control de encendido y apagado del mismo.

En (Betancor, 2014) se desarrolla un Sistema doméstico de monitorización del consumo eléctrico, para su desarrollo se utiliza una placa principal Arduino Mini Pro para la programación y para el censado de corriente se utiliza un sensor STC-013-00 el cual es tipo pinza es no invasivo el cual solo se lo coloca en una fase de la línea del medidor que se va a censar, y para enviar los datos una página web es inalámbricamente por la red wifi donde se ocupa un módulo wifi.

En (Aritz & Álvarez Javier, 2015) se realizó la Monitorización del consumo eléctrico de un hogar el cual hace el censado de la corriente y se puede visualizar los datos en una página web, el procesado de datos mediante se realizó mediante Raspberry Pi el que hace el procesado de datos el que realiza la lectura de la corriente instantánea y cada 10 minutos hace el promedio de la corriente eficaz que se ha censado durante los 10 minutos y por último hace el proceso de los datos para enviarlos al servidor en la nube, para hacer el censado de la corriente se realiza un circuito acondicionado con una pinza el cual es un sensor de corriente no invasivo.

En (Blanco, 2016) se desarrolla un sistema un sistema de gestión energética inteligente para el hogar que sea auto configurable y fácil de implementar basado en una red de enchufes inteligentes conectados a una red wifi, para la medición de la corriente se utiliza un sensor de intensidad y los datos recolectados se envían a una central para generar estadísticas y realizar las respectivas funciones según los datos obtenidos.

Cada enchufe tiene un relé que funciona como actuador para poder realizar el control desde la central, con los datos obtenidos se planificara el encendido de los dispositivos según el coste horario de energía así para poder ahorrar, también hace el uso de un módulo ESP8266 para la comunicación inalámbrica (Blanco, 2016).

En (Jorge, 2015) se diseña y se construye un sistema de medición y monitorización de uso doméstico y comercial de bajo costo, los datos se visualizan en una aplicación móvil, el dispositivo permite obtener las diferentes variables medidas en tiempo real las cuales son: temperatura, humedad relativa, intensidad lumínica, consumo de energía eléctrica y el gas monóxido de carbono.

Los dispositivos utilizados son un Arduino mini el cual sirve para la programación de los sensores, un módulo Wifi el cual sirve para la comunicación con la red inalámbrica del hogar, y para le medición de la corriente se utiliza un medidor electrónico monofásico SCORPION el cual ya realiza toda la medición de la corriente y del consumo lo cual solo se envían los datos a la aplicación (Jorge, 2015).

1.3. Dispositivos comerciales.

1.3.1. Medidor de energía inteligente-Mirubee Mirubox.



Figura 1. Medidor Mirubee Mirubox con aplicación móvil
Fuente: (efimarket.com, 2017)
Elaboración: (efimarket.com, 2017)

Este dispositivo es un medidor inteligente que obteniendo el consumo global de la vivienda sugiere medidas de ahorro energético, permite saber el consumo por separado como: la iluminación, electrodomésticos, dispositivos en stand-by. Utiliza una tecnología “inspectee” se basa en el reconocimiento de patrones basado de la señal mediante

algoritmo matemático. El dispositivo se conecta a la red wifi por la cual se envía los datos a la nube para poder visualizar todos los datos obtenidos. (efimarket.com, 2017)

1.3.2. Medidor de electricidad inteligente Wemeter BEYWEMC100.



Figura 2. Medidor Wemeter conectado a tablero eléctrico
Fuente: (Wemeter, 2017)
Elaboración: (Wemeter, 2017)

Es un dispositivo de fácil uso el cual se conecta una pinza a una fase de la línea eléctrica que va al medidor, utilizando un teléfono inteligente para poder visualizar el uso de la electricidad en el hogar a través de una aplicación, el dispositivo de energía inalámbrica permite registrar el consumo de energía y permite a ayudar a ahorrar energía y dinero, el dispositivo puede medir hasta 100 Amperios y se puede agregar hasta 3 fases para medir, se puede configurar como la alarma, seguridad eléctrica y también se puede controlar el apagado y encendido y además tiene un temporizador (Wemeter, 2017).

1.3.3. Medidor inteligente de una sola fase emlite ASL & Gsm.



Figura 3. Medidor emlite con GSM una sola fase
Fuente: (mosselec & Ebay, 2018)
Elaboración: (mosselec & Ebay, 2018)

Es un dispositivo diseñado especialmente para la recopilación de datos de medición de microgeneración, el módulo ASLH382 recopila los datos remotamente de los

dispositivos a través de GPRS de la red telefónica móvil, también mide energía activa y reactiva tanto en importación como exportación y además da información de calidad de energía: voltios, corriente, potencia (mosselec & Ebay, 2018).

1.3.4. KIT DAE P204-200-S, Polaris submeter inteligente UL kWh, 3P4W.



Figura 4. Medidor polaris de 3 fases
Fuente: (Polaris, n.d.)
Elaboración: (Polaris, n.d.)

El dispositivo tiene una capacidad máxima hasta 200 Amperios de medida y tiene 3 hilos de medición los datos los enviará a la nube (servidor DAE) a través de Ethernet, para visualizar los datos se puede hacer desde un Pc o dispositivo móvil conectado al internet los cuales puede obtener los datos en tiempo real y luego obtener informes mensuales del consumo y la facturación en KWH (Polaris, n.d.).

1.4. Sistemas de gestión de energía.

El sistema de gestión de energía provee una mejora continua en el uso de la energía como en la calidad la seguridad y el medio ambiente. Para la comunicación del sistema de gestión de energía se utilizan diferentes tecnologías como la red inalámbrica IEEE 802.15 la cual tiene diferentes estándares para comunicarse con diferentes aplicaciones. La red doméstica se ha acoplado rápidamente en la vida cotidiana. Con este sistema se puede unir de forma transparente varios dispositivos como los electrodomésticos, sensores inteligentes y tecnologías energéticas. Para la comunicación del sistema de gestión de energía se lo hace con ZigBee para el control de dispositivos y gestión de energía. Sin embargo, actualmente las empresas hacen el

uso de IEEE 802.15.4 y ZigBee para dar soluciones de manera rápida y efectiva para diferentes áreas de control y administración de los dispositivos de consumo, automatización de casas y también de plantas comerciales e industriales y eficiencia energética. En este trabajo se hace el diseño de una aplicación de actuación y sistema de sensores múltiples, calefacción y aire acondicionado a los usuarios domésticos, el funcionamiento del sistema de control inteligente de la luz el cual se basa en la red de sensores para el control inteligente del hogar y la energía (Han & Lim, 2010).

(Han & Lim, 2010) realiza diseños de la red de los dispositivos domésticos inteligentes y aplicaciones de respuesta de demanda y administración de cargas necesarias en el entorno residencial o comercial.

La comunicación de dispositivo a dispositivo se ha ido convirtiendo en una tecnología avanzada para las comunicaciones de la próxima generación, y esta tecnología cada vez mejora al igual las aplicaciones para comunicarse con la red inteligente. Para el diseño del sistema de administración de energía en el hogar en la red inteligente debe haber una arquitectura de la red para poder recopilar el estado y la demanda del consumo de energía de los electrodomésticos conectados (Niyato, Xiao, & Wang, 2011).

Los avances en las tecnologías inalámbricas nos permiten que los dispositivos conectados sean móviles es decir sin la necesidad de cables para la transmisión o recepción de los datos, esto ha ido impulsando el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas (Niyato et al., 2011).

Hay diferentes dispositivos que varían en tipos y tamaños estos pueden estar ubicados en áreas remotas con acceso limitado, y la comunicación se la realiza inalámbricamente ya que es más rentable y flexible para el despliegue (Niyato et al., 2011).

Existen diferentes modelos de diseño y operación del sistema de energía eléctrica con el objetivo de mejorar la eficiencia, mejorar la calidad del servicio y ahorrar costos en la generación, distribución y consumo de energía (Niyato et al., 2011).

Dentro de los sistemas de gestión de energía hay varios diseños, los cuales se adaptan a cada entorno. En este diseño las casas estarían equipadas con generadores de energía solar y energía eólica, los dispositivos de la casa están controlados por la comunicación de la línea eléctrica y un medidor inteligente, el cual proporcionara cada determinado tiempo en este caso es cada 15 minutos enviara informes sobre el consumo de energía a través de un portal de servicios de energía sobre una conexión de internet de banda ancha, y la información estaría lista para visualizar en una interfaz web, el sistema de gestión energético depende de un historial de consumo de energía

para poder controlar los dispositivos que se encuentran en la vivienda, en la siguiente figura (5) podemos observar el diseño (Son, Pulkkinen, Moon, & Kim, 2010).

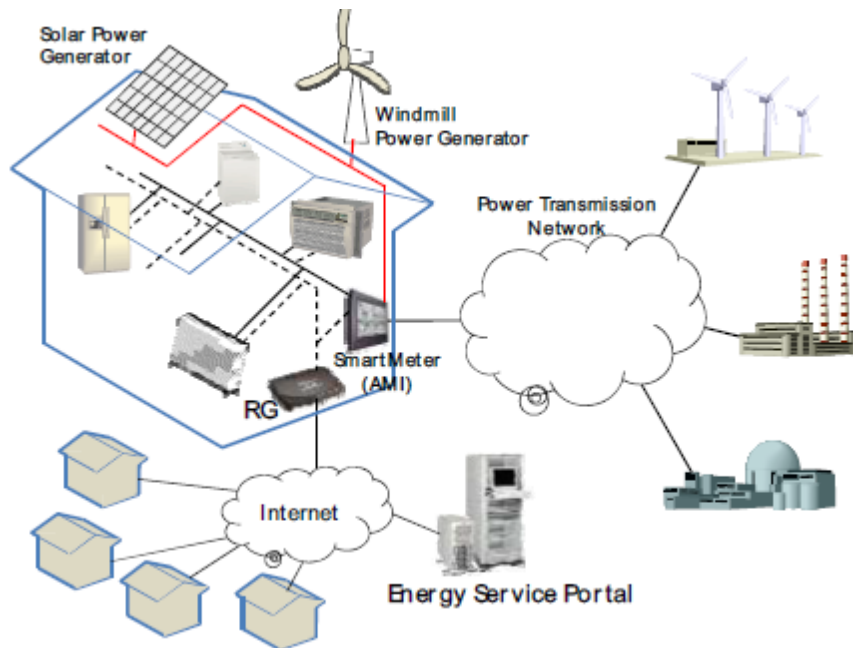


Figura 5. Diseño de Sistema de gestión energético
Fuente: (Son et al., 2010)
Elaboración: (Son et al., 2010)

1.5. Redes de sensores inalámbricos.

Es una red con numerosos nodos distribuidos estratégicamente, los cuales utilizan sensores para controlar o monitorear diversas condiciones en diferentes puntos, una red de sensores inalámbricos puede basarse en una estación base que realiza la recolección de los datos que se han censado en todos los nodos de manera sincronizada y estructurada (Aakvaag & Frey, 2006).

1.6. Nodos.

Los nodos inalámbricos son dispositivos electrónicos capaces de captar información procedente del medio que se encuentran y luego la procesan y la transmiten inalámbricamente al lugar de destino, los nodos son diseñados y programados para ser parte de una red con una tarea particular, el hardware de cada nodo tiene varias partes como podemos observar en la figura 6 (Fernández Martínez, Ordieres Meré, Martínez de Pisón Ascacibar, González Marcos, & Alba Elías, 2009).



Figura 6. Diagrama de bloques de las partes de un nodo
 Fuente: (Fernández Martínez et al., 2009)
 Elaboración: (Fernández Martínez et al., 2009)

1.7. Topología de red.

La topología es la distribución de los componentes electrónicos. Para realizar el envío de datos se transmiten a través de dicha configuración, hay diferentes arquitecturas que se puede usar para realizar una red de sensores inalámbricos como pueden ser estrella, malla e híbrida que es la unión de la estrella y malla (Fernández Martínez et al., 2009).

1.7.1. Topología en estrella.

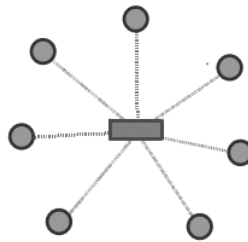


Figura 7. Topología estrella
 Fuente: (Fernández Martínez et al., 2009)
 Elaboración: (Fernández Martínez et al., 2009)

Esta topología es un sistema que envía la información con un solo salto del nodo a un nodo central y todos los nodos se comunican directamente con el nodo principal o puerta de enlace, usualmente a una distancia de 30 a 100 metros, los nodos no se comunican entre ellos (Fernández Martínez et al., 2009).

Esta topología tiene menor consumo de energía, pero se tiene una limitación en la comunicación inalámbrica entre los nodos y el nodo central, también solo tiene un camino de comunicación, en caso de que algún nodo tenga obstruido el camino de comunicación este puede perder la información enviada (Fernández Martínez et al., 2009).

1.7.2. Topología en malla.

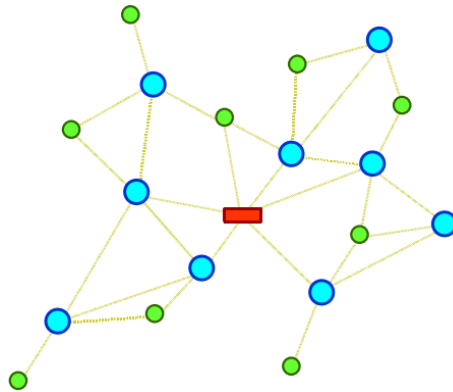


Figura 8. Topología en malla
Fuente: (Fernández Martínez et al., 2009)
Elaboración: (Fernández Martínez et al., 2009)

Es un sistema multisalto, donde todos los nodos son routers y cada nodo puede enviar y recibir información es decir los nodos pueden enviarse mensajes entre ellos, el alcance de la red con los nodos es más extenso ya que los nodos se comunican entre ellos, el nodo tiene varios caminos para poder enviar la información al router central y pueden ahorrar energía ya que se comunican con el nodo más cercano (Fernández Martínez et al., 2009).

1.8. Funcionamiento del sistema.

La placa de desarrollo está conectada a dos sensores para medir corriente y voltaje en tiempo real. Los datos obtenidos por los sensores son procesados por la placa de desarrollo, y luego enviados a un servidor web para poder ser visualizador en una página web. El funcionamiento del sistema se lo puede visualizar en la figura 9.

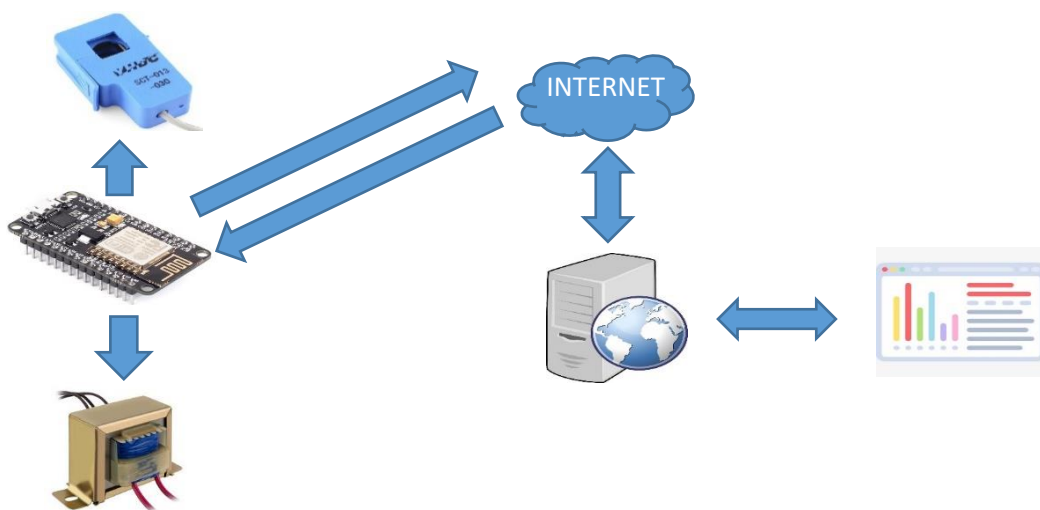


Figura 9. Esquema del funcionamiento del medidor inteligente
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

El medidor inteligente se conectará a la red local de la vivienda (Wi Fi) para enviar datos al servidor web. Y para medir la corriente con el sensor tipo pinza se coloca en una línea que está conectado el medidor o el tablero eléctrico de la vivienda. Para medir el voltaje se debe conectar el medidor en un tomacorriente y el cual también sirve para alimentar el circuito electrónico.

En la programación de la placa de desarrollo se hace los respectivos cálculos para obtener las variables requeridas las cuales son; Potencia activa, Potencia reactiva, Factor de potencia. Los datos son enviados a una base de datos MySQL para ser visualizados en una página web.

El proceso de conexión y visualización de los datos podemos observar en la figura 10.



Figura 10. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción.

En el siguiente capítulo se hará un preámbulo sobre los conceptos básicos sobre los medidores tradicionales y los inteligentes, además sobre las diferentes variables que se utilizan para la medición del medidor inteligente, asimismo sobre la base de datos y el diferente lenguaje de programación para realizar la página web. Y también sobre el diferente hardware que se podría utilizar para realizar el medidor inteligente.

2.2. Conceptos

2.2.1. Medidores tradicionales.

Los medidores clásicos o tradicionales tienen la característica de tener ruedas con números que giran como los relojes de agujas, su funcionamiento se basa en la creación de campos magnéticos por dos bobinas, los cuales intervienen directamente sobre el disco giratorio para producir corrientes parasitas, cada giro es directamente proporcional a la potencia consumida por el circuito. El disco giratorio se encarga de transmitir a través del sistema de engranajes el movimiento necesario a las agujas que cuenten el número de vueltas del contador, el cual permite saber el consumo eléctrico. (Maugard, 2015).

2.2.2. Medidores inteligentes.

Estos medidores pueden tener o no una pantalla que informa el consumo eléctrico del hogar, y para contar el consumo lo hacen por medio de un led rojo que se enciende durante un instante cada vez que se supera una cantidad determinada de energía, para que sea considerado medidor inteligente debe ser operable por telegestión, estos dispositivos poseen tecnología para ser conectados a una red. Esto permite que las empresas encargadas de suministro de energía lleven un control más preciso y en tiempo real a una larga distancia (Maugard, 2015).

2.2.3. Consumo eléctrico.

Es la cantidad de energía demandada por un determinado tiempo el cual se mide en kWh. El consumo eléctrico depende de la potencia que consumen los aparatos eléctricos por ejemplo a mayor consumo de potencia se obtendrá mayor consumo eléctrico. Cada empresa eléctrica realiza la factura con el respectivo costo de cada kWh el cual determina la cantidad de consumo en dinero que debe pagar cada cliente por su consumo (Selectra, 2015).

2.2.4. Potencia.

Es la capacidad de realizar un trabajo en un determinado tiempo, también muestra la cantidad de energía eléctrica transportada del generador al consumidor por unidad de tiempo. La unidad de medida es el vatio (W). Los dispositivos y equipos que funcionan con corriente alterna y su funcionamiento se basen en el electromagnetismo como los motores, transformadores, bobina, etc (Energía, 2009). Utilizan tres diferentes tipos de potencia los cuales son:

- Potencia Aparente (S)
- Potencia Activa (P)
- Potencia Reactiva (Q)

2.2.5. Potencia Aparente (S).

La potencia aparente o total se la representa con la letra S y su unidad de medida es el volt-ampere (VA). Es el resultado de la suma geométrica de las potencias activa y reactiva o también el producto de la corriente y el voltaje (Llumiquinga, 2012).

La potencia activa y reactiva representa la potencia por unidad de tiempo que se adquiere de la red de distribución eléctrica que también es igual a toda la potencia que entregan los generadores en las plantas eléctricas (InforTel Comunicaciones, 2015).

2.2.6. Potencia Activa (P).

La potencia activa también conocida como potencia efectiva y potencia real, se la representa con la letra P y su unidad de medida es el watt (W). Esta potencia es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo es decir la convierten en calor. Esta energía es la cantidad útil que consumen los dispositivos eléctricos (Llumiquinga, 2012).

2.2.7. Potencia Reactiva (Q).

Esta potencia se la representa con la letra Q, y es expresada en voltamperios (VAr), esta potencia no produce ningún trabajo útil más bien perjudica a la transmisión de la energía causando pérdidas en los equipos de transmisión. Esta potencia resulta necesaria para el funcionamiento de ciertas máquinas y dispositivos eléctricos como: (motores, transformadores o algún dispositivo que tenga una bobina que genere campos electromagnéticos), pero no puede transformarse en potencia útil (InforTel Comunicaciones, 2015; Llumiquinga, 2012).

Las tres potencias se pueden relacionar con el triángulo de potencias de la figura 11. El ángulo formado entre la potencia activa y la potencia aparente define el desfase entre la tensión y la intensidad, y su coseno es equivalente al factor de potencia (Energía, 2009).

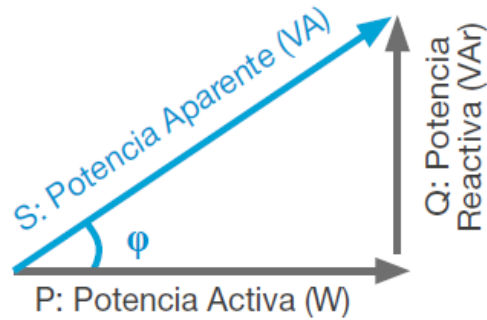


Figura 11. Triángulo de potencias
Fuente: (Energía, 2009)
Elaboración: (Energía, 2009)

2.2.8. Factor de Potencia.

Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente.

El factor de potencia es el desfase entre la corriente y el voltaje y es utilizado como el indicador del adecuado aprovechamiento de la energía eléctrica el cual puede tomar valores entre 0 y 1, siendo la unidad el valor máximo del Factor de Potencia y por tanto indica mejor aprovechamiento de la energía. Y mientras el valor se acerca más a cero indica que no se aprovecha toda la energía útil por ejemplo si el valor del Factor de potencia es 0.85 indica que del total de la energía solo el 85% es aprovechado en la red (Llumiquinga, 2012).

2.2.9. Corriente.

La corriente eléctrica se define como la cantidad de carga eléctrica que atraviesa por un conductor en un determinado tiempo. A la corriente eléctrica se la representa con la letra I y la unidad de medida es (A) amperios (Raposo, 2016).

2.2.10. Voltaje.

El voltaje es energía potencial eléctrica por unidad de carga. Es una magnitud física la cual impulsa a los electrones a través del conductor en un circuito cerrado (Hernández. Francisco Manuel, 2016).

2.2.11. I2C.

El bus I2C es una interfaz bidireccional estándar que utiliza un controlador conocido como maestro, para comunicarse con dispositivos esclavos. Un esclavo no puede transmitir datos a salvo que el maestro lo haya direccionado. Cada dispositivo en el bus I2C tiene una dirección de dispositivo específica para diferenciar entre otros dispositivos que están en el mismo bus I2C (Valdez & Becker, 2015).

La simplicidad del sistema se debe principalmente al diseño bidireccional de dos hilos, una línea de datos en serie (SDA) y una línea de reloj en serie (SCL). No es necesario seleccionar un chip o lógica de arbitraje, por lo que es barato y simple de implementar en el hardware. Las dos señales I2C son datos seriales (SDA) y reloj serie (SCL). Estas señales permiten admitir la transmisión en serie de bytes de 8 bits de direcciones de dispositivos de datos 7 bits más bits de control a través del bus serie de dos hilos (Renesas, 2003).

2.2.12. MySQL.

MySQL (Database Management System) es el sistema de administración de base de datos más popular de código abierto basado en lenguaje de consulta estructurado (SQL) desarrollado por MySQL AB. Es un sistema de gestión de base de datos relacional, multihilo y multiusuario (Pérez, 2007).

Se destaca por su gran adaptación a distintos entornos de desarrollo permitiendo su interacción con los lenguajes de programación más utilizados y su integración en varios sistemas operativos por lo que se puede instalar en cualquier sistema operativo (Pérez, 2007).

Pueden conectarse muchos usuarios simultáneamente al servidor. Se puede utilizar varias bases de datos simultáneamente (Pérez, 2007).

2.2.13. PHP.

PHP (Hypertext Preprocessor) es un lenguaje de código abierto muy popular especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML del lado del servidor o creación de contenido dinámico para sitios web. Su interpretación se realiza en el servidor web en el cual se encuentra almacenado el script y el cliente solo recibe los resultados de su ejecución (Pérez, 2007).

También permite la ejecución en diferentes bases de datos como es MySQL, Oracle entre otras.

2.2.14. HTML.

El lenguaje HTML (Hyper Text Markup Language), Lenguaje de Marcas Hipertexto es un lenguaje muy sencillo que permite describir documentos hipertexto. El cual se basa en especificar en el texto la estructura lógica del contenido (títulos, párrafos de texto normal, enumeraciones, definiciones, citas, etc.), así como los diferentes modificaciones o ediciones que se quieren dar (especificar los lugares del documento donde se debe poner cursiva, negrita o algún grafico determinado) (Universidad de Murcia, 2011).

Es el lenguaje que se utiliza para el diseño de páginas web. El cual se compone de una serie de comandos que son interpretados por programas para navegar en la web (Universidad de Murcia, 2011).

2.3. Hardware.

Se describe los dispositivos que se podrían utilizar para hacer un medidor inteligente, se describirá los más comunes y de bajo costo.

2.3.1. Raspberry pi zero w.



Figura 12. Raspberry pi zero w
Fuente: (Raspberry, 2017)
Elaboración: (Raspberry, 2017)

Raspberry Pi es un mini ordenador de pequeño tamaño, bajo coste y bajo consumo. Generalmente este tipo de mini ordenadores ejecutan sistemas operativos basados en Linux y están íntimamente relacionados con el Open Software.

Además de un ordenador, Raspberry pi incorpora funciones de electrónica como pines GPIO (General Purpose Input/Output), y de comunicación como UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), y SPI (Serial Peripheral Interface), I²C (Inter-Integrated Circuit)(Llamas, 2017a).

El Raspberry Pi Zero W amplía la familia Pi Zero y viene con conectividad WIFI y Bluetooth adicionales.

Características

- LAN inalámbrica 802.11 b / g / n
- 512 MB de RAM
- Bluetooth 4.1
- Puerto Mini HDMI y USB On-The-Go
- Cabezal de 40 pines compatible con HAT
- Micro USB de energía
- Video compuesto y reinicio de encabezados
- Conector de cámara CSI

2.3.2. Arduino uno R3.



Figura 13. Arduino Uno R3
Fuente: (arduino.cl, 2013)
Elaboración: (arduino.cl, 2013)

El Arduino es una plataforma computacional física open-source basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. El Arduino Uno R3 puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado a software de tu computadora (por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP). El IDE open-source puede ser descargado gratuitamente (actualmente para Mac OS X, Windows y Linux) (arduino.cl, 2013).

Características:

- Voltaje de operación: 5V
- Microcontrolador: ATmega328P-PU
- Digital I/O Pines: 14
- Entradas analógicas (pines): 6
- PWM Digital I/O Pins: 6
- Corriente máxima por pin I/O: 20mA

- Memoria Flash: 32 KB (0.5KB ocupados por el bootloader)
- Corriente máxima por pin 3.3V: 50mA
- SRAM: 2KB
- Frecuencia del Clock: 16MHz
- USB: Tipo B
- EEPROM: 1KB
- Dimensiones: 68.6 x 53.4 mm

2.3.3. NodeMCU esp8266.

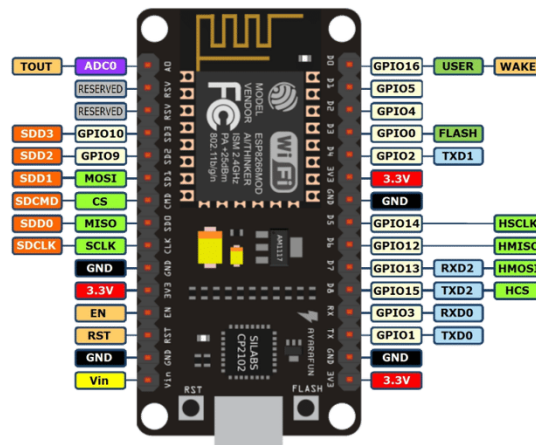


Figura 14. Pines del nodeMCU esp8266
Fuente: (Hernández, 2017)
Elaboración: (Hernández, 2017)

Es una placa de desarrollo totalmente abierta a nivel de software y hardware, el cual facilita la programación de un microcontrolador o MCU (Hernández, 2017).

Esta placa tiene incorporado un chip SoC (System on a Chip), que dentro tiene un microcontrolador como se puede observar en la figura 15 (Hernández, 2017).

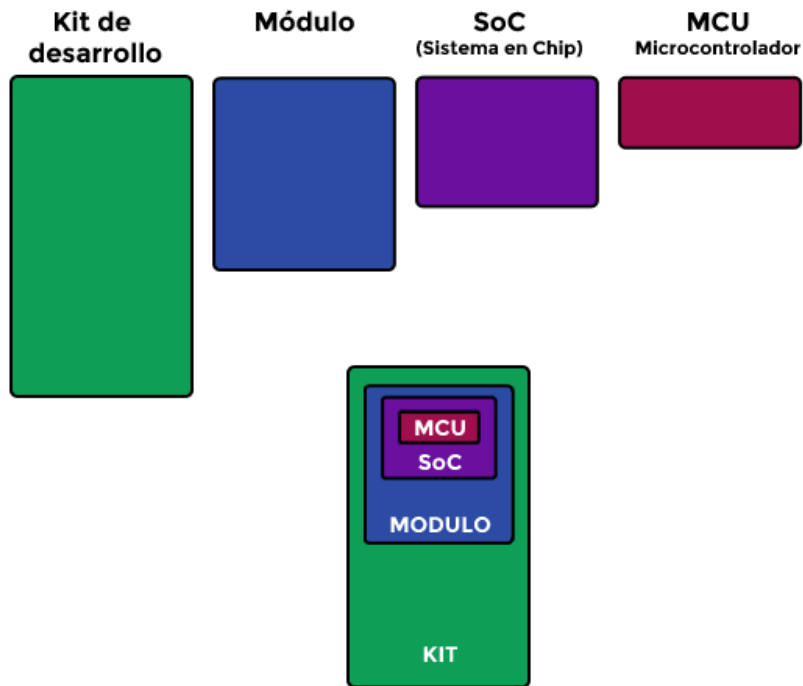


Figura 15. Esquema general de la placa de desarrollo nodeMCU esp8266
 Fuente: (Hernández, 2017)
 Elaboración: (Hernández, 2017)

2.3.3.1. Chip ESP8266.

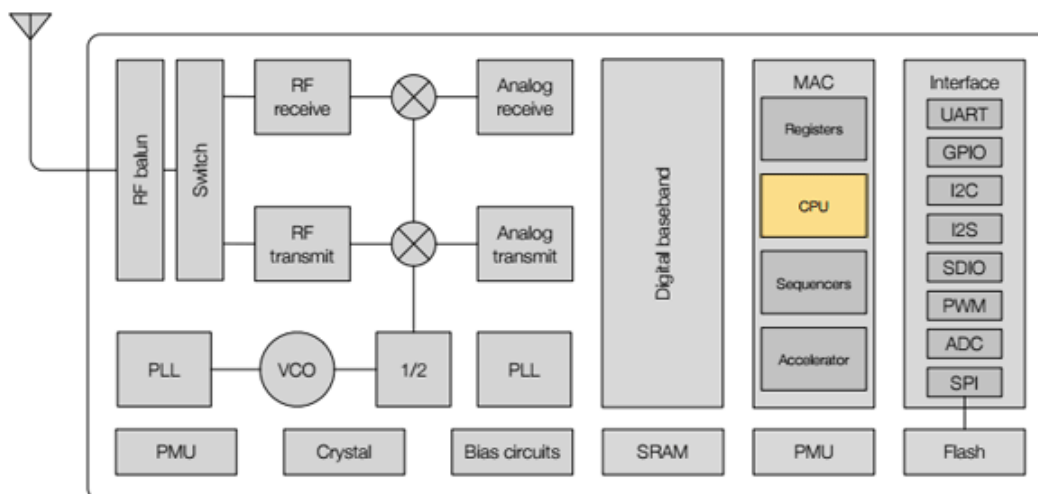


Figura 16. Diagrama de bloques funcional
 Fuente: (ESP8266 Datasheet, 2015)
 Elaboración: (ESP8266 Datasheet, 2015)

El sistema en Chip se lo conoce como ESP8266 el cual tiene incorporado el microcontrolador Tensilica L106 de 32-bit. El microcontrolador puede realizar operaciones de 0-4.294.967.295 o de -2.147.483.648 a 2.174.483.647 (Hernández, 2017).

La placa de desarrollo nodeMCU 8266 tiene incorporado componentes que nos facilitan la conexión para su programación. Se puede programar con el lenguaje Arduino o Lua (Hernández, 2017).

Esta placa incorpora WIFI la cual nos permite realizar proyectos de IoT o sistemas inalámbricos (Hernández, 2017).

Características:

- Voltaje de Alimentación 5V DC
- SoC, ESP8266 (Módulo ESP-12)
- CPU: Tensilica Xtensa LX3 de (32 bit)
- Voltaje de Entradas y Salidas 3.3V DC
- Frecuencia de Reloj de 80MHz/160MHz
- Memoria Flash Externa: 4MB
- RAM: 32KB
- Pin Analógico ADC: 1 (0-1V)
- Chip USB-Serial: CP2102
- 802.11 b/g/n
- Potencia de salida de +19.5dBm en modo 802.11b
- Consumo de potencia Standby < 1.0mW (DTIM3)

Esta placa está desarrollada para trabajar en protoboard (Amica, 2017).

2.3.4. Sensor ACS712.

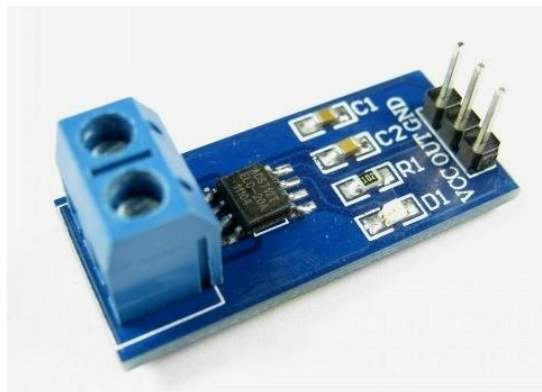


Figura 17. Sensor de efecto hall ACS712
Fuente: (Llamas, 2017b)
Elaboración: (Llamas, 2017b)

Es un sensor de corriente invasivo que mide corriente alterna como continua. Permite medir la intensidad eléctrica que atraviesa un conductor (Llamas, 2017b).

El ACS712 se basa en el principio del efecto Hall, cuando en un conductor circula corriente el cual genera un campo magnético que es detectado por el dispositivo Hall. En la salida se genera un voltaje proporcional en sus bordes. (Bhatt, 2012).

Consiste en un circuito de sensor Hall lineal, preciso y de baja compensación.

La salida del dispositivo tiene una pendiente positiva cuando una corriente creciente fluye a través del conductor (Bhatt, 2012).

El sensor ACS712 tiene tres modelos que son: ACS712ELCTR-05B-T que mide hasta 5A, el ACS712ELCTR-20A-T que mide hasta 20A y el ACS712ELCTR-30A-T que mide hasta 30A (Bhatt, 2012).

Características:

- Ruta de señal analógica de bajo ruido
- Ancho de banda de 80 kHz
- Error de salida total 1.5% a TA = 25 ° C
- Resistencia del conductor interno de 1,2 mΩ
- 5.0 V, operación de suministro único
- Sensibilidad de salida de 66 a 185 mV / A
- Voltaje de salida proporcional a las corrientes de CA o CC
- Voltaje de aislamiento mínimo de 2.1 kVRMS desde los pines 1-4 a los pines 5-8
- Voltaje de salida de salida extremadamente estable

Este sensor provee un solución económica y precisa (Fardjome, 2016).

2.3.5. Sensor sct-030-100.



Figura 18. Sensor de corriente no invasivo sct-030-100
Fuente: (Llamas, 2017c)
Elaboración: (Llamas, 2017c)

Es un sensor de corriente no invasivo que permite medir corriente hasta altos amperajes sin modificar el cable que se va a medir (Naylamp Mechatronics, 2016).

La cantidad de espiras representa la relación entre corriente que circula por el cable y la que el sensor nos entrega, esta relación o proporción es la que diferencia entre los diferentes modelos de sensores SCT-013, adicionalmente pueden tener una resistencia de carga en la salida de esta forma en lugar de corriente se trabaja con una salida voltaje (Naylamp Mechatronics, 2016).

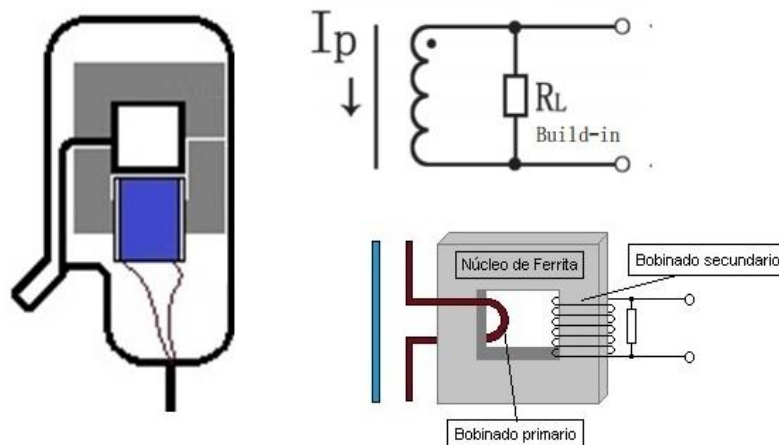


Figura 19. Diagrama de conexión del sensor no invasivo
Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2016)
Elaboración: (Naylamp Mechatronics, 2016)

Para hacer la medición con el sct-013 no es necesario cortar el cable, sino solo rodear el cable con el sensor que es igual a una pinza amperimétrica. El sensor tiene el núcleo partido para su fácil conexión (Naylamp Mechatronics, 2016).

Para la realización de este trabajo se utilizará el sensor sct-013-100, con el cual podemos medir hasta 100 amperios (Naylamp Mechatronics, 2016).

El sensor tiene el mismo principio de un transformador eléctrico, el sensor tiene un solo embobinado secundario de 2000 espiras, el cable que se atraviesa en el sensor hace de embobinado primario. El embobinado secundario capta el flujo magnético generado, el cual es proporcional a la intensidad del cable del embobinado primario. La señal obtenida en función del consumo suministra una tensión proporcional a la salida del sensor en los bornes del resistor (Salas, 2016).

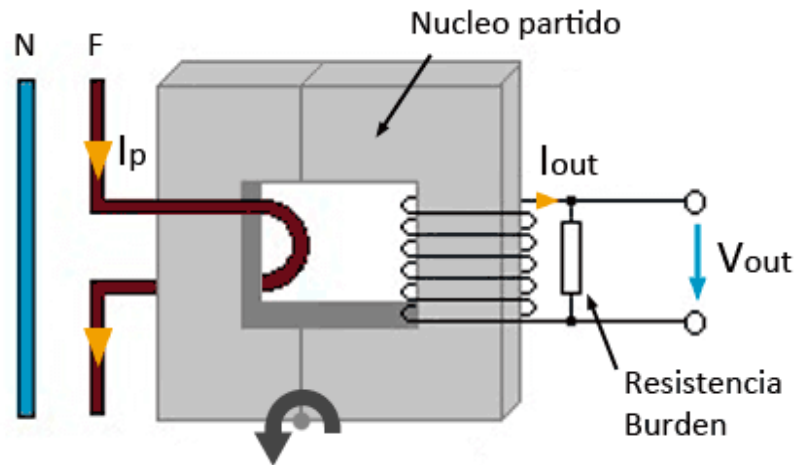


Figura 20. Embobinado del sensor no invasivo
 Fuente: (Llamas, 2017c)
 Elaboración: (Llamas, 2017b)

Características:

- Sensor de corriente tipo pinza para medición no invasiva. Transformador de corriente con núcleo de ferrita
- Rango de medición: 0 A a 100 A
- Relación de transformación: 2000:1 (100 A: 50 mA)
- No linealidad: $\pm 3\%$ (En el rango 10 A a 120 A)
- Medición de corriente AC
- Resistencia del dieléctrico (Entre la carcasa y la salida): 1000 VAC / 1 min
- Incorpora diodo TVS de protección contra transitorios, incluyendo la desconexión súbita cuando el transformador está energizado
- Incluye cable de conexión de 1 metro aprox. con conector de audio estéreo estándar de 3.5 mm (Plug) (La conexión central o anillo (Ring) no está conectada)
- Salida analógica en corriente. Requiere un circuito de conversión de corriente a voltaje (El más sencillo es una simple resistencia de carga).
- Resistencia al fuego: UL94-V0
- Temperatura de operación: $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Diámetro interior de la pinza: 1.3 cm aprox.

El fabricante del sensor es YHDC, el cual también sirve para diferentes aplicaciones como: Monitoreo de cargas, monitoreo de motores, medición de magnitudes eléctricas, etc. (ElectronicosCaldas, 2013).

2.3.6. ADS1115.

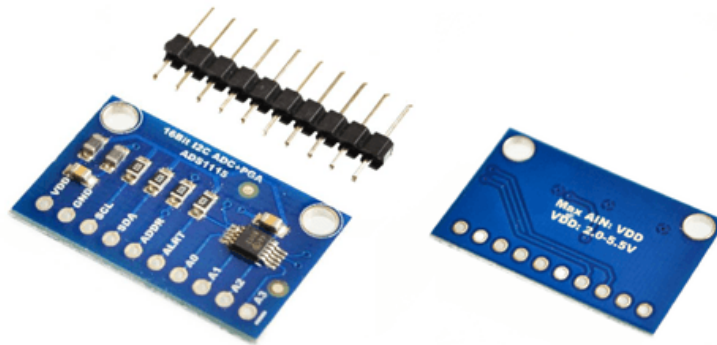


Figura 21. Convertidor de analógico a digital de 4 entradas ADS1116
Fuente: (Llamas, 2016)
Elaboración: (Llamas, 2016)

Es un convertidor analógico digital (ADC), tiene una precisión de 16 bits, realiza conversiones a velocidades de datos hasta 860 muestras por segundo compatibles con I2C. Al ADS115 se lo puede configurar como 4 canales de entrada de un solo extremo o dos canales diferenciales. Tiene incluido un amplificador de ganancia programable (PGA) y un comparador digital (Adafruit, 2016).

El ADS115 tiene rangos de entrada de ± 256 mV a ± 6.144 V lo que permite mediciones precisas de señales grandes y pequeñas. Además, tiene un multiplexor de entrada (MUX) que permite dos mediciones diferenciales o cuatro de entrada de extremo único (Adafruit, 2016; Instruments, 2016).

Características:

- Consumo de baja corriente: Modo continuo: solo $150\mu\text{A}$ Modo de disparo único: apagado automático
- Tasa de datos programable: 8SPS a 860SPS
- Referencia interna de voltaje de baja-derivación
- PGA intern
- Amplia gama de suministro: 2.0V a 5.5V
- Interfaz I2C: Direcciones seleccionables por pines
- Cuatro entradas de un solo fin o dos diferenciales
- Comparador programable
- Oscilador interno
- Esta placa / chip utiliza direcciones I2C de 7 bits entre 0x48-0x4B, seleccionables con puentes

CAPÍTULO III

DISEÑO

3.1. Introducción.

En el siguiente capítulo se realizará el diseño del medidor inteligente, donde se realiza tres prediseños diferentes de la caja contenedora y cada uno con diferentes tecnologías de hardware. Luego se selecciona un solo diseño el cual se realizará la implementación del prototipo, después de escoger un solo diseño se realiza los respectivos cálculos para el diseño del circuito y el acoplamiento de los sensores de corriente y de voltaje.

Las señales de los sensores necesitan un circuito de acoplamiento para ser leídas por la placa de desarrollo, por lo cual se realiza el circuito en el software Proteus para luego implementarlo. También se realiza el diseño de todo el circuito para luego imprimir y pasarlo a una placa. El diseño de la placa se lo puede visualizar en 3D donde se ve la placa terminada.

También se realiza la programación y el diseño de la plataforma web, donde se visualizan los datos en tiempo real. En la programación de la placa de desarrollo se realiza todos los cálculos de la variable a medir. Y en el diseño de la página web se utiliza varios lenguajes de programación como: php, html, css, JavaScript.

3.2. Prediseño.

El prediseño se lo realiza para obtener varios diseños de modelos con diferentes tecnologías de hardware del medidor inteligente. Luego se escoge el mejor diseño el cual sea funcional y eficiente y se adapte al proyecto que se va a realizar. En el prediseño se realiza tres tipos los cuales se tiene a continuación:

3.2.1. Prediseño con Arduino Uno R3.

El siguiente prediseño utiliza como placa de desarrollo el Arduino Uno R3, el cual para la comunicación a internet se lo realiza por cable ethernet. El diseño de la caja contenedora se lo puede observar en la Figura 22.

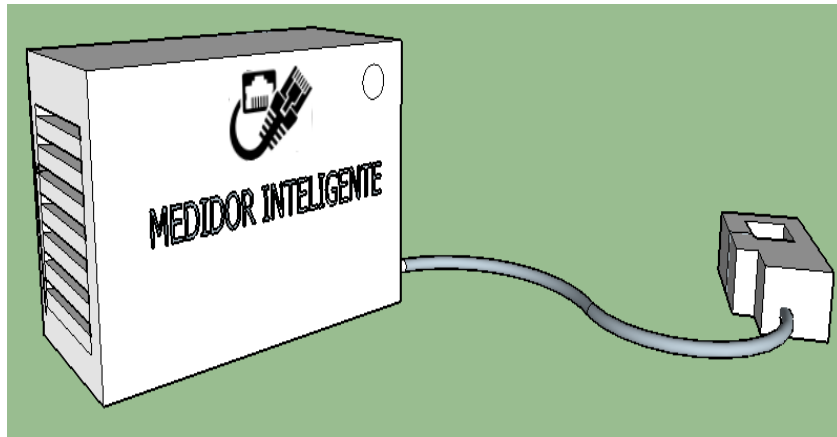


Figura 22. Prediseño del medidor inteligente con la placa Arduino Uno R3
Fuente Autor
Elaboración Autor

Para el desarrollo del medidor inteligente se utiliza el Arduino Uno R3, para el procesamiento de datos y para la medición de corriente se utiliza el sensor de corriente tipo pinza y para medir el voltaje el transformador. Para hacer el envío de datos se debe conectar por medio de un cable ethernet, para conectarse a la red local de la vivienda y poder enviar los datos al servidor web. El diagrama de conexión se lo puede observar en la Figura 23.

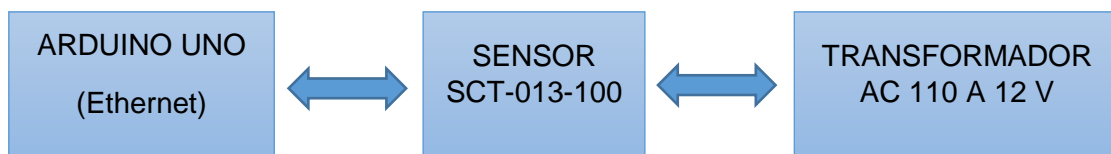


Figura 23. Diagrama de funcionamiento del medidor inteligente con Arduino Uno R3
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

3.2.2. Prediseño con raspberry pi zero w.

En el segundo prediseño se utiliza como placa de desarrollo la raspberry pi zero w, la cual para la programación se desarrolla con lenguaje Python, la placa tiene las siguientes dimensiones 6.5 cm x 3.0 cm, es una placa pequeña que tiene comunicación inalámbrica Wi-Fi, pero carece de entradas analógicas. El diseño de la caja contenedora se lo puede observar en la Figura 24.

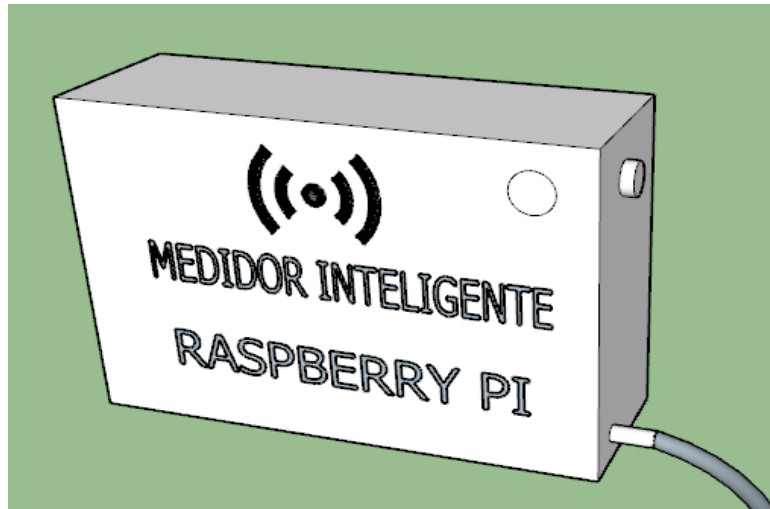


Figura 24. Prediseño del medidor inteligente con raspberry pi zero w
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

Para adaptar las señales de corriente se necesita adaptar un circuito adicional, para ser leídas por la raspberry pi zero w. El proceso de conexión debe ser de forma ordenada como se puede ver el orden en la Figura 25.

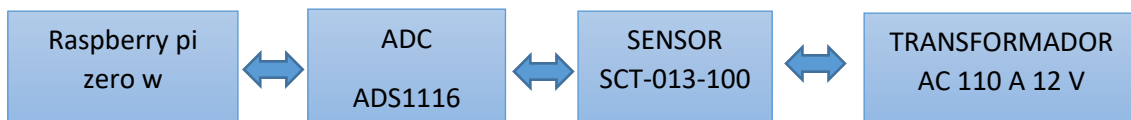


Figura 25. Diagrama de bloques de funcionamiento con raspberry pi zero w
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

3.2.3. Prediseño con nodeMCU esp8266.

En el tercer prediseño tiene como placa desarrolladora el nodeMCU ESP8266, la cual tiene conexión WI-Fi y la placa es más pequeña y económica, por lo que el tamaño del medidor sería de 8cm x 7.5cm x 2.5 cm.

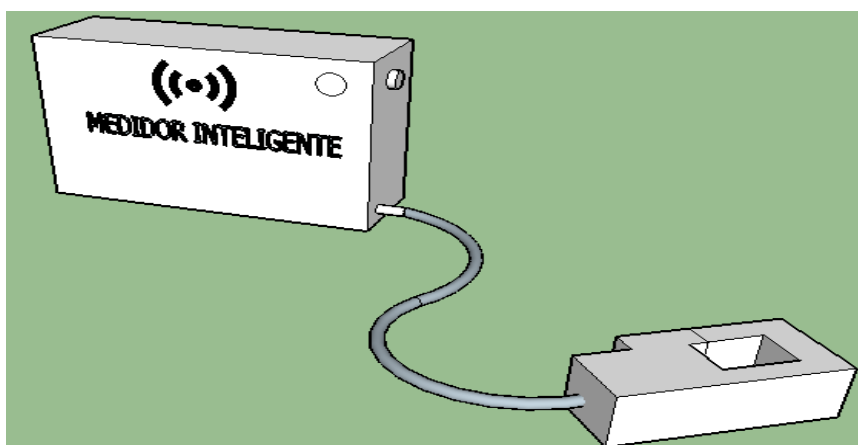


Figura 26. Prediseño del medidor inteligente con la placa de desarrollo nodeMCU esp8266
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

Para la conexión con la placa de desarrollo nodeMCU esp8266, se realiza la adaptación de un convertidor ADC porque esta placa de desarrollo solo tiene una entrada analógica y para leer las dos señales de los sensores se necesitan 4 entradas analógicas. El orden de conexión se puede ver en la Figura 27.

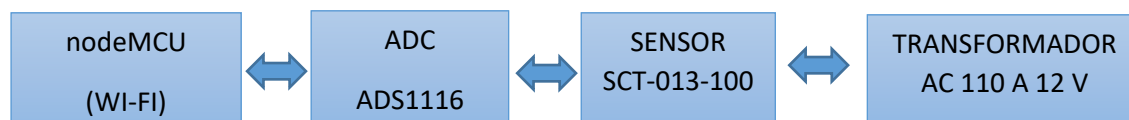


Figura 27. Diagrama del funcionamiento del medidor inteligente con el nodeMCU esp8266

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.3. Selección de Hardware.

Para realizar el medidor inteligente se utiliza los siguientes dispositivos:

Placa de desarrollo nodeMCU ESP8266, se la utiliza por su tamaño pequeño, por ser económico y por incluir un módulo WI-FI para conectarse a cualquier red.

Como la placa de desarrollo solo tiene una entrada analógica, y para el proyecto se necesitan 2 señales analógicas la tensión y la corriente por lo cual se utilizará el convertidor analógico ADS1115, que tiene 4 entradas analógicas y tiene comunicación I2C.

Y para la medición de las variables analógicas se utilizará un sensor de corriente SCT-013-100, que tiene un rango de medición máximo de 100 Amperios. Y para medir la variable de tensión con el transformador de 110 a 12 voltios AC y se le implementa un divisor de voltaje para adaptar la señal al ADC.

3.4. Diseño del circuito.

Para el diseño del circuito primero se realiza los cálculos respectivos para encontrar las resistencias adecuadas.

3.4.1. Diagrama de medición de corriente.

Se utiliza el sensor CST-013-100, el cual tiene un rango de medición máximo 100 Amperios. En la salida del sensor se tiene un valor de 50 miliamperios, el cual no se puede ingresar directamente a la placa desarrollador. Para poder leer el valor del sensor se coloca una resistencia de carga en paralelo a la salida del sensor. El resistor que se

coloca dependerá del valor máximo que se requiere medir, en este caso es hasta 100 Amperios y para saber qué valor del resistor se utiliza, se realiza lo siguientes cálculos.

$$I_{\text{max primaria}} = I_{\text{RMS}} \times \sqrt{2} \quad (1)$$

$$I_{\text{max primaria}} = 100\text{A} \times \sqrt{2}$$

$$I_{\text{max primaria}} = 141.4\text{A}$$

$$I_{\text{pico secundaria}} = \frac{I_{\text{max primaria}}}{n \text{ vueltas}}$$

$$I_{\text{pico secundaria}} = \frac{141.4\text{A}}{2000}$$

$$I_{\text{pico secundaria}} = 0.0707\text{A}$$

Al utilizar el nodeMCU esp8266, tiene un voltaje de salida de 3.3 voltios

$$\text{Resistencia de carga} = \frac{A_{\text{REF}}/2}{I_{\text{pico secundaria}}} \quad (2)$$

$$\text{Resistencia de carga} = \frac{3.3\text{V}/2}{0.0707\text{A}}$$

$$\text{Resistencia de carga} = \frac{1.65\text{V}}{0.0707\text{A}}$$

$$\text{Resistencia de carga} = 23.33\Omega$$

El valor del resistor de carga es 23.33Ω , y para colocar el resistor adecuado se busca un resistor comercial que sea cercano al valor calculado, el cual es de 22Ω

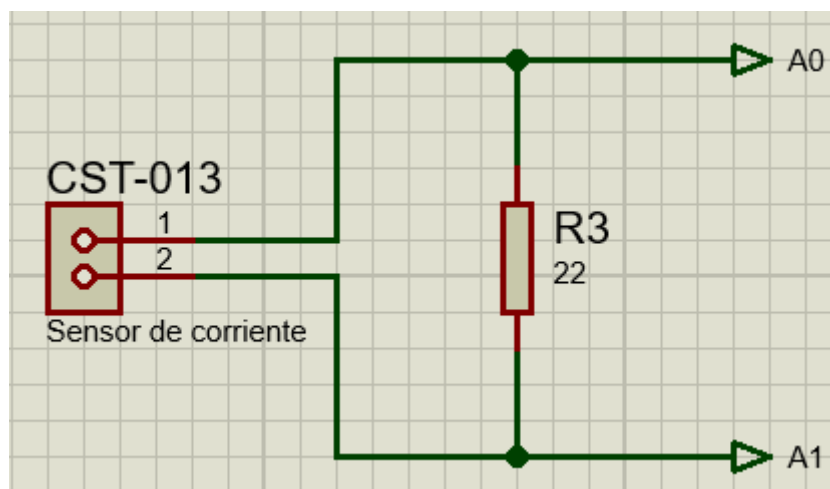


Figura 28. Esquema de acoplamiento del sensor CST-013 (Tensión) en Proteus

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.4.2. Diagrama de medición de voltaje.

Para medir la tensión en tiempo real se realiza el diseño de un divisor de voltaje el cual se obtiene una salida de 1.15 Voltios. Para realizar los cálculos se toma los valores del voltaje medidos con el multímetro, los cuales se tomó en la vivienda. El voltaje de la red eléctrica es 124 Voltios. Se utiliza un transformador de 110 a 12 voltios, a la salida del transformador se conecta un divisor de voltaje para reducir el voltaje a valores aceptables que sean leídos por el ADC.

Al medir la salida del transformador con el multímetro se obtiene 14.4 voltios y para realizar el cálculo se debe utilizar el valor máximo el cual es 20.3 voltios.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_{in} \quad (3)$$

$$1.15V = \frac{10k}{10k + R_1} \times 20.3V$$

$$(10k + R_1)1.15V = 10K \times 20.3V$$

$$(11500) + 1.15VR_1 = 203000$$

$$1.15VR_1 = 203000 - 11500$$

$$1.15VR_1 = 191500$$

$$R_1 = \frac{191500}{1.15V}$$

$$R_1 = 166k\Omega$$

Para armar el circuito se utiliza el resistor de 10 k Ω y el resistor de 165 k Ω los cuales son valores comerciales como se puede ver en la figura 29.

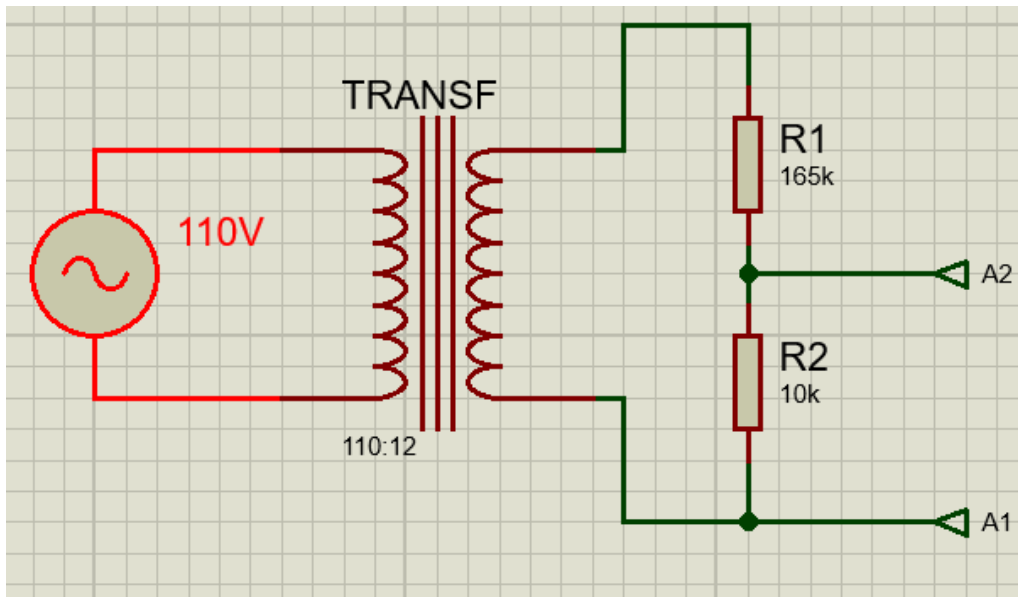


Figura 29. Esquema de conexión para medición del voltaje en Proteus
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

Con el transformador de voltaje se reduce de 110 voltios a 12 voltios. Al cual se le acopla un divisor de voltaje el que permite reducir el voltaje adecuado para ser leído por el ADC y enviar los datos a la placa de desarrollo.

3.4.3. Diseño del esquema general.

En la figura 30 se observa los dispositivos físicamente los que serán necesarios para este proyecto, y sus respectivas conexiones para su funcionamiento. El ADC (ADS1115) tiene cuatro entradas analógicas, y la configuración utilizada para la medición de las señales de voltaje y corriente el ADS1115 tiene la posibilidad de medir en modo diferencial, el cual se ingresa dos señales en las entradas analógicas A0 Y A1. El cual lee señales positivas y negativas y mayor inmunidad al ruido.

Y las conexiones de los sensores, se observan que de cada sensor ingresan dos señales al ADC, porque las dos señales deberán ser leídas en positivo y negativo para después poder sacar los resultados finales.

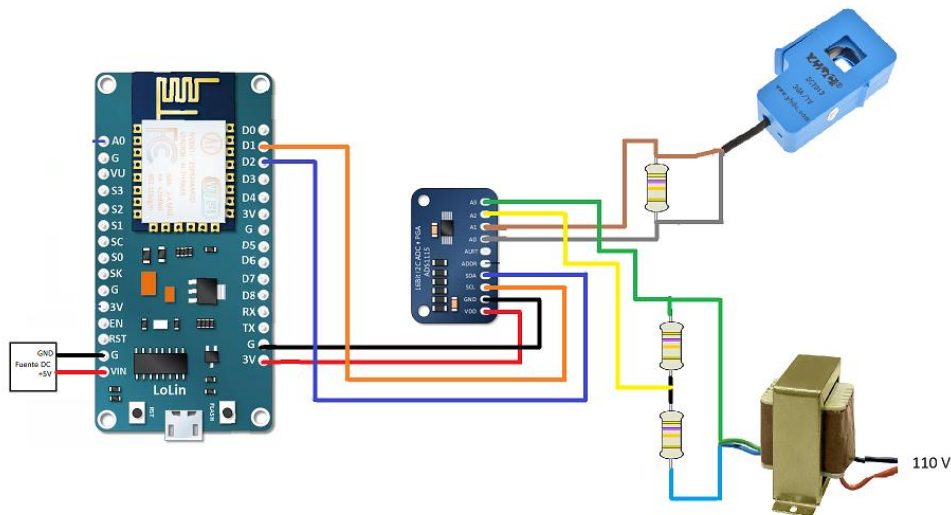


Figura 30. Esquema de conexión del medidor inteligente
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

3.4.4. Diseño del diagrama general.

En la figura 31 se puede observar el diagrama realizado en el software Proteus, en donde J1 es la entrada del sensor de corriente y R3 es el resistor de carga calculado anteriormente y las salidas van conectadas al ADS1115 en el pin A0 y A1.

La conexión para medir el voltaje se utiliza un transformador, que está conectado a la red eléctrica de 110 voltios y como salida de obtiene 12 voltios, luego se implementa un divisor de voltaje en el cual se utiliza dos resistores R1 y R2, para reducir aún más el voltaje el cual es permitido por el ADC. Las salidas del divisor de voltaje se colocan fusibles para proteger el ADC y la placa de desarrollo. Para la conexión se realiza de la siguiente manera entre R1 y R2 se coloca un fusible de protección el cual se conecta al pin A2 y la siguiente señal va desde R2 e igualmente tiene un fusible de protección y este se conecta al pin A3 del ADS1115.

El ADS1115 está conectado al nodeMCU 8266 por comunicación I2C, por lo que se hace su respectiva conexión para la alimentación y para la transmisión solo se conecta dos cables a la placa de desarrollo.

La placa de desarrollo es alimentada por una fuente externa de 5 voltios, para este proyecto se utiliza un cargador de celular para la alimentación.

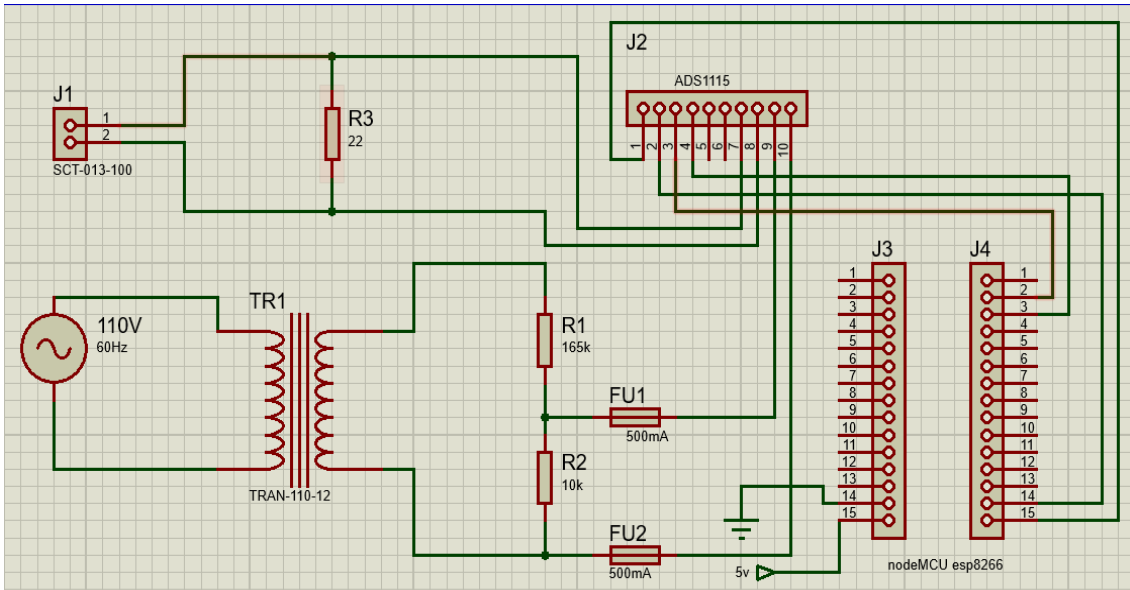


Figura 31. Diagrama general de conexión del medidor inteligente en Proteus
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

3.4.5. Diseño en PCB.

En la figura 32 se muestra el diseño de la placa lista para imprimir, la cual fue realizada en el software Proteus.

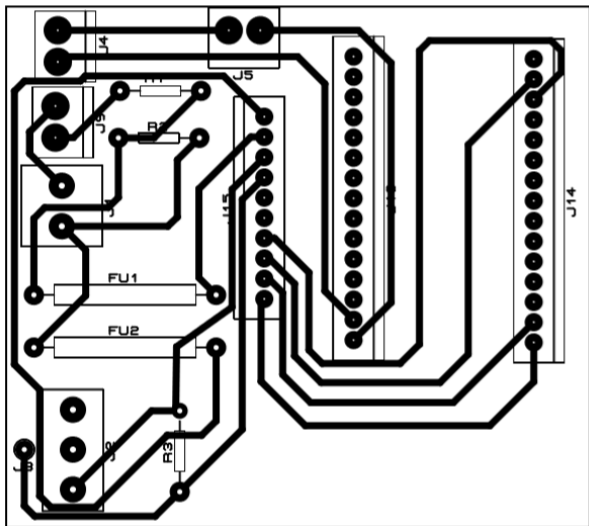


Figura 32. Diseño del circuito general para imprimir en Proteus
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

3.4.6. Diseño 3D.

En la figura 33 se muestra el diseño de toda la placa en 3D en la que se observa que se coloca borneras para el ADS1115 y nodeMCU8266, la cual permitirá colocar las placas sin soldarlas.

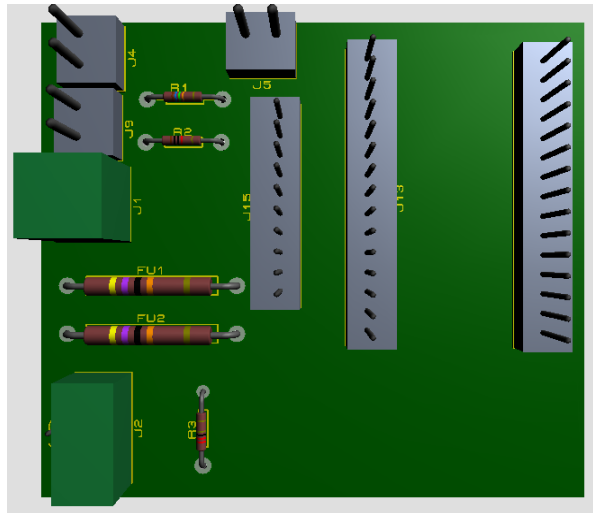


Figura 33. Diseño del medidor inteligente 3D en Proteus
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

3.5. Programación de la placa de desarrollo.

Para programar la placa de desarrollo se utiliza el IDE de Arduino, que facilita para su programación. Hay que instalar diferentes librerías esp8266 para Arduino, que permite realizar la programación desde la IDE de Arduino. También se instala la siguiente librería “Adafruit_ADS1X15” que permite controlar el ADS1115.

En la figura 34 se puede observar el diagrama de flujo general de la placa de desarrollo.

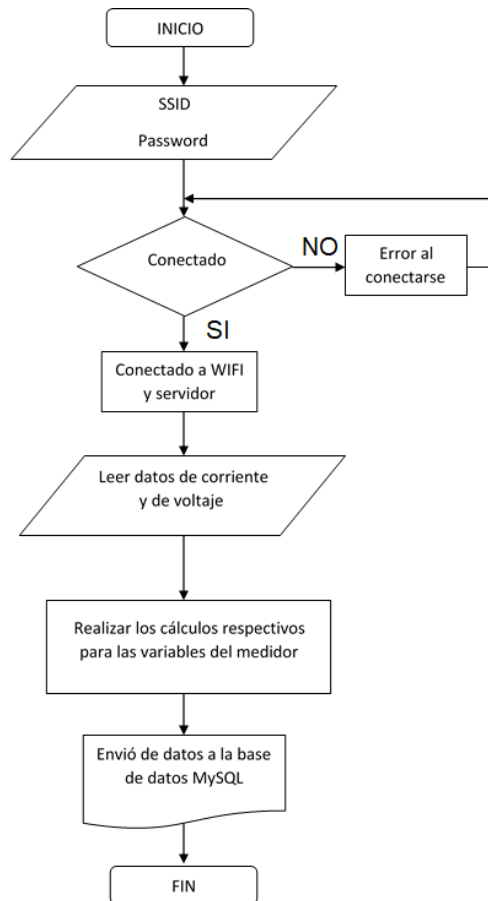


Figura 34. Diagrama de flujo del funcionamiento del medidor inteligente
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Para conectarse a la red Wifi, se debe realizar manualmente la configuración, en el cual se debe escribir el nombre de la red y su contraseña para conectarse. Las variables que modificar son “ssid” y “password”.

Al nodeMCU se le da una dirección IP fija que tiene como variable IPAddress.

Y para conectarse a una base de datos, se debe ingresar la dirección IP del servidor, en donde se encuentra instalada la base de datos. Para ingresar la dirección del servidor se la escribe en la constante “strhost”, y para hacer el envío de datos se debe ingresar la dirección del archivo .php para que reciba los datos enviados, la dirección se la escribe en la constante “strurl”.

Al estar conectado a la red WiFi y al servidor, está listo para empezar a leer los datos del ADC.

Para leer los datos con la placa de desarrollo se utiliza parte del código de la librería EmonLib, la que se utiliza para realizar medidores de corriente en la plataforma Arduino.

A esta librería está adaptada, para que funcione en la placa que se está desarrollando el proyecto.

Para medir con el ADC la ganancia está configurada a +- 4.096V, por lo que un bit es igual a 0.125mV, y para la medición de las señales se está tomando 128 muestras por segundo. Luego se aplica filtros digitales para centrar la señal en cero.

3.6. Cálculos realizados en el software.

En esta parte se realiza todos los cálculos de potencias y de consumos los cuales se enviarán a la base de datos para ser almacenados.

3.6.1. Cálculo de los valores de las potencias.

Con la modificación de librería se realiza los respectivos cálculos de la potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva y factor de potencia. Estos valores sirven para saber cuánto se consume de energía eléctrica.

Con el cálculo de la potencia activa sirve para realizar el cálculo del consumo en kWh y en dólares.

Para realizar estos cálculos primero se debe hallar el V_{rms} y el I_{rms} .

3.6.1.1. Cálculo de V_{rms} .

Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} v^2(n)}{N}} \quad (4)$$

Donde:

$v(n)$ es el voltaje instantáneo.

N es el número de muestras.

En la programación se utiliza la siguiente fórmula para hallar el V_{rms}

multiplier = 0.125F;

V_RATIO = VCAL * multiplier;

$V_{rms} = V_RATIO * \text{squareRoot}(\text{sumV} / \text{numberOfSamples}).$

Donde:

- VCAL es el valor de calibración del Voltaje
- V_RATIO es el coeficiente de calibración del voltaje.
- squareRoot es la raíz cuadrada.
- sumV es la suma del voltaje instantáneo.

- numberOfSamples es el número de muestras.

3.6.1.2. Cálculo de Irms.

Para realizar el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} i^2(n)}{N}} \quad (5)$$

Donde:

$i(n)$ es la corriente instantánea.

N es el número de muestras.

Para el cálculo de Irms se lo hace con la siguiente fórmula.

multiplier = 0.125F

I_RATIO = ICAL * multiplier;

$I_{rms} = I_RATIO * \text{squareRoot}(\text{sumI} / \text{numberOfSamples}).$

Donde:

- ICAL es el valor de calibración de la corriente
- I_RATIO es el coeficiente de calibración de la corriente.
- squareRoot es la raíz cuadrada.
- sumV es la suma de la corriente instantánea.
- numberOfSamples es el número de muestras.

3.6.1.3. Cálculo de la potencia activa.

Se utiliza la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) \times i(n) \quad (6)$$

Donde:

$v(n)$ es el voltaje instantáneo.

$i(n)$ es la corriente instantánea.

N es el número de muestras.

Para hacer el cálculo en la programación, se utiliza la siguiente fórmula:

$\text{realPower} = V_RATIO * I_RATIO * \text{sumP} / \text{numberOfSamples};$

Donde:

- realPower es igual a la potencia activa.
- V_RATIO es el coeficiente de calibración de voltaje.

- I_RATIO es el coeficiente de calibración de la corriente.
- sumP Suma de la potencia instantánea.
- numberOfSamples es el número de muestras.

3.6.1.4. Cálculo de la potencia aparente.

Para realizar el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$S = I_{RMS} \times V_{RMS} \quad (7)$$

Donde:

I_{RMS} es la corriente rms.

V_{RMS} es el voltaje rms.

Para realizar este cálculo en la programación se utiliza la siguiente fórmula:

```
apparentPower = Vrms * Irms;
```

Donde:

- apparentPower es igual a la potencia aparente.
- Vrms es el valor eficaz del voltaje.
- Irms es el valor eficaz de la corriente.

3.6.1.5. Cálculo de la potencia reactiva.

Para realizar el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (8)$$

Donde:

S^2 es la potencia aparente del sistema.

P^2 es la potencia activa del sistema.

Para el cálculo en la programación se utiliza la siguiente formula:

```
potenciaReactiva=sqrt((apparentPower*apparentPower)-(realPower*realPower))
```

Donde:

- Sqrt es la raíz cuadrada.
- (apparentPower*apparentPower) es igual al cuadrado de la potencia aparente.
- (realPower*realPower) es igual al cuadrado de la potencia activa

3.6.1.6. Cálculo del factor de potencia.

Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (9)$$

Donde:

S es la potencia aparente del sistema.

P es la potencia activa del sistema.

Para el cálculo en la programación del factor de potencia se realiza con la siguiente fórmula:

$$\text{powerFactor} = \text{realPower} / (\text{apparentPower} * \text{PCAL})$$

Donde:

- powerFactor es el factor de potencia.
- realPower es la potencia activa.
- apparentPower es la potencia aparente.
- PCAL es el valor de calibración de la potencia.

Nota: el factor de potencia esta entre 0 y 1 en donde 1 indica que se está aprovechando toda la energía activa y si se acerca a 0 es cuando no se aprovecha toda la energía y es devuelta a la red y se llama potencia reactiva.

3.6.2. Cálculo de kWh y dólares.

Estos valores son el consumo de los dispositivos conectados a la red eléctrica de la vivienda, el cual se obtiene el valor del consumo eléctrico en kWh y el consumo en dólares. Estos valores son los que envían las empresas eléctricas para el pago de la factura.

Para ello se realiza los siguientes cálculos:

3.6.2.1. Cálculo en kWh.

El kWh indica el valor de consumo por un determinado tiempo. Esta variable se la puede observar en los medidores de energía eléctrica de las viviendas

Para el medidor inteligente se tiene que calcular los kWh, porque es un valor primordial el cual sirve para almacenarlo en la base de datos y para luego hacer una consulta y saber cuánto se consume y para ello se realiza los respectivos cálculos.

Se utiliza la siguiente expresión para hacer el cálculo de los kWh.

$$\text{consu_kwh} = \text{consu_kwh} + (\text{realPower} * (2.05/60/60/1000))$$

Donde:

- Consu_kwh es igual al consumo en kWh.
- realPower es la potencia activa.

Para realizar el cálculo se lo hace en un período de tiempo fijo para obtener los kilovatios hora consumidos, se utilizó un tiempo de ciclo de 9050ms el cual fue bastante preciso.

El valor de 9.05 está en segundos el cual se convierte a horas y luego se divide para 1000 para convertir a kilovatios hora.

3.6.2.2. Cálculo en dólares.

Para hacer el cálculo del consumo en dólares se utiliza el valor del consumo en kWh y el precio del kWh en dólares el cual está en 0.11 centavos de dólar. Y para el respectivo cálculo se utiliza la siguiente fórmula la cual multiplica los kWh y el precio del kWh y se va sumando el consumo cada tiempo del cálculo de los kWh.

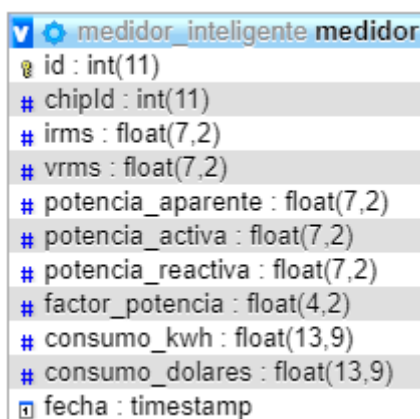
$$\text{dolar} = \text{dolar} + (\text{consu_kwh} * 0.11)$$

Donde:

- dolar es el consumo en dólares.
- consu_kwh es el consumo en kilovatios hora.
- 0.11 es el precio del kilovatio hora.

3.7. Envío de datos y creación de la base de datos.

Para enviar los datos desde el medidor inteligente a una base de datos primeramente se debe crear una base de datos MySQL con las variables, que se desea recibir como se puede observar en la figura 34.



Column Name	Data Type
id	int(11)
chipId	int(11)
irms	float(7,2)
vrms	float(7,2)
potencia_aparente	float(7,2)
potencia_activa	float(7,2)
potencia_reactiva	float(7,2)
factor_potencia	float(4,2)
consumo_kwh	float(13,9)
consumo_dolares	float(13,9)
fecha	timestamp

Figura 35. Tabla de mediciones de la base de datos

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

El nombre de la base de datos es “medidor_inteligente” y la tabla que se va a enviar los datos se llama “medidor”. Para enviar datos al servidor, el medidor se debe conectar a la red WiFi de la vivienda y al servidor. Para poder conectarse a la red WiFi se debe modificar los datos en el código para conectarse a otra red. Para la conexión en el código

está configurado para conectarse a una red predeterminada en el cual se observa en el Anexo B.

Para el envío de datos se debe modificar la línea donde va la dirección del archivo en formato “.php”, el cual sirve para leer los datos enviados de la placa de desarrollo hacia la base de datos MySQL. La placa de desarrollo envía de 5 a 6 veces los datos en un minuto.

3.8. Diseño y programación de la página web.

Para el diseño y la programación de la página web se utiliza los siguientes lenguajes de programación (php, html, javascript, css,). Primeramente, se diseñó la interfaz de la página web la cual permite interactuar con el usuario.

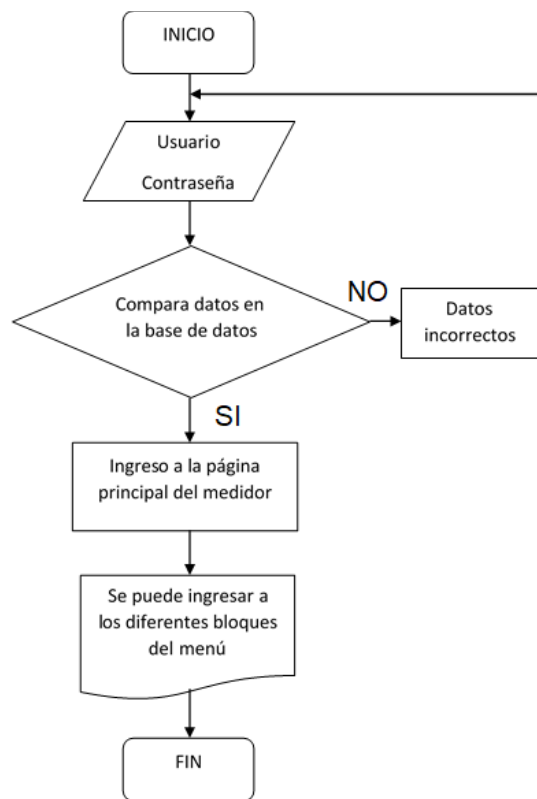


Figura 36. Diagrama de flujo del funcionamiento de la página web
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Para ingresar a la página web se desarrolló una página de inicio de sesión, la cual va a permitir el ingreso a solo usuarios que tengan las credenciales correctas.

Para el ingreso de usuarios se creó una tabla con el nombre “usuario”, la base de datos la cual permite ingresar usuario y contraseña como se puede ver en la figura. 37 para poder ingresar a la página web solo usuarios registrados.

medidor_inteligente_usuario	
user	: varchar(20)
pass	: varchar(20)
tipo	: varchar(1)
activo	: varchar(1)

Figura 37. Tabla de usuarios de la base de datos
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

En la figura 38 se observa el diseño de la página de inicio de sesión, la que tiene dos botones uno para iniciar sesión y otro para salir.



Figura 38. Diseño de página para iniciar sesión
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Luego de iniciar sección se puede ingresar directamente a una página en donde están los medidores de consumo en tiempo real como se puede observar en la figura 39.

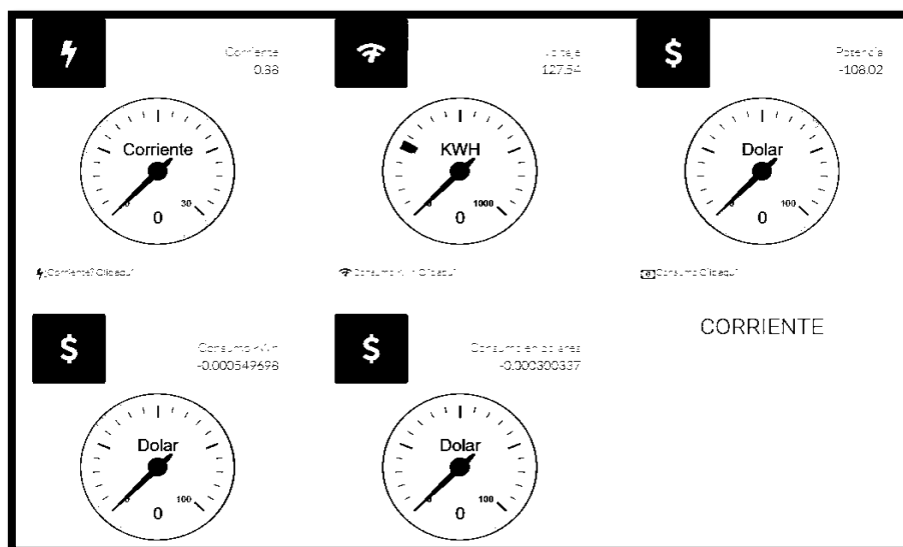


Figura 39. Diseño de página me indicadores de medición en tiempo real
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

En esta página hay un menú lateral, que dispone de diferentes módulos para ingresar como es el historial gráfico de consumo en kWh y dólares. También habrá otros bloques como: control y cierre de sesión. Se puede observar en la figura 40 el menú que sirve para interactuar con el enchufe inteligente y poder controlarlos.



Figura 40. Diseño de menú de la página web
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

En el menú se puede ingresar a cualquier bloque para indicar el consumo de energía eléctrica.

CAPÍTULO IV
IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

4.1. Introducción.

En el siguiente capítulo se presenta los resultados del medidor inteligente, los cuales son la implementación de la placa, el diseño final del medidor, mediciones de energía eléctrica en una vivienda, envío de datos al servidor, validación del medidor con un dispositivo verificado y visualización de los datos en una plataforma web. Los resultados se mostrarán por medio de imágenes.

4.2. Implementación del circuito en una placa.

Para implementar todo el circuito en una placa se coloca todos los componentes en la placa fibra de vidrio y luego se suelda con estaño y queda como resultado la placa del circuito listo para montar, los componentes restantes los cuales son el ADS1115 y la placa de desarrollo nodeMCU8266. Se puede observar el resultado de la placa en la figura 41.

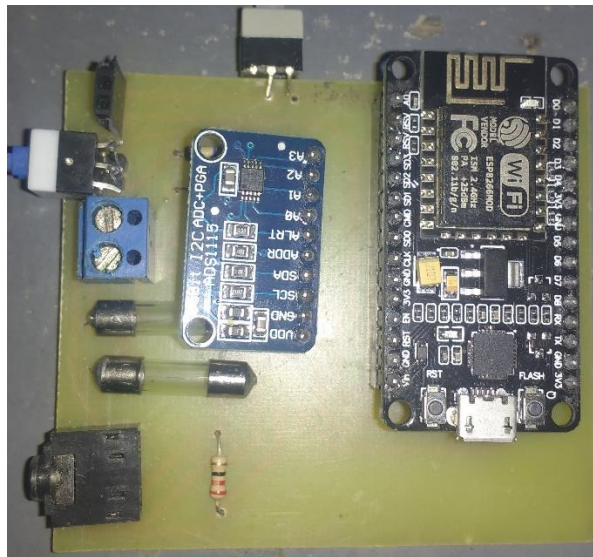


Figura 41. Placa del circuito del medidor inteligente
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

En la placa se debe conectar los sensores de medición de voltaje y de corriente y la alimentación del circuito en la siguiente figura 42 se observa la conexión de los sensores al circuito del medidor inteligente para luego realizar la conexión a la vivienda.

En esta parte el circuito aún no está montado en la caja contenedora.

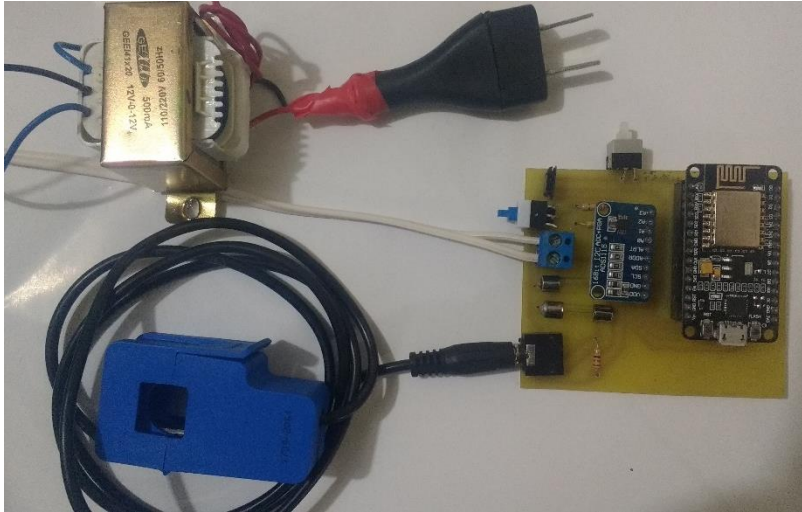


Figura 42. Placa conectada al sensor de corriente y de voltaje
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

4.3. Conexión del medidor inteligente a la red de energía eléctrica de la vivienda.

Para la respectiva conexión se debe conectar el sensor de corriente tipo pinza y para conectar el sensor de voltaje se debe conectar a un tomacorriente, el cual sirve para la alimentación del circuito y para medir el voltaje. La conexión se puede observar en la siguiente figura 43.

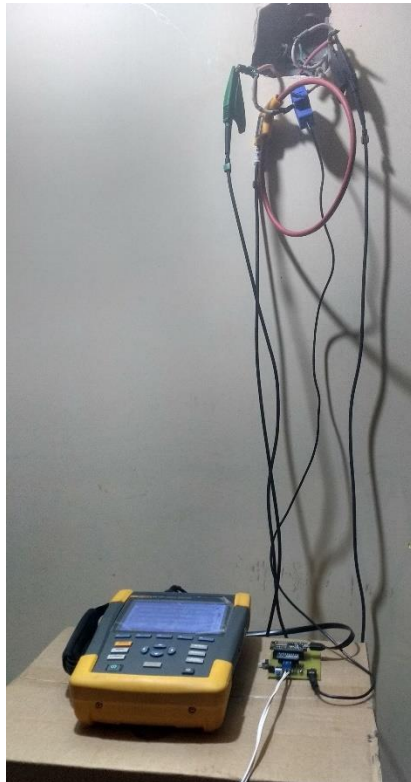


Figura 43. Conexión del medidor inteligente en la vivienda
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Luego de la conexión el medidor inteligente está listo para operar.

4.4. Validación del medidor inteligente.

Para realizar la validación se utiliza el medidor industrial FLUKE 434 SERIES II, el que permite tener una referencia para calibrar el medidor inteligente doméstico. La calibración se realizará midiendo los dos dispositivos a la vez en una vivienda y se regula los valores del medidor doméstico hasta que sean lo más cercano al medidor Fluke.

Los valores medidos del medidor Fluke y del medidor doméstico se puede observar en la Tabla.1.

Tabla 1. Medidas de calibración del medidor inteligente con respecto al industrial

Mediciones	FLUKE 434	Medidor inteligente doméstico
Corriente	2.1 A	2.07 A
Voltaje	124.69	123.86 V
Factor de potencia	0.83	0.81
kWh (media hora)	0.126	0.118888251

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Luego se realizará mediciones con los dos medidores por un determinado tiempo, el cual servirá para sacar las gráficas y el error. Para realizar el cálculo del error se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Error} = \frac{\text{valor referente} - \text{valor calculado}}{\text{valor referente}} \times 100$$

Error en la medición de corriente es 1.42%

Error de medición de voltaje es 0.66%

Error de factor de potencia es 2.4%

Estos resultados son tomados al inicio de la medición en el momento de hacer la calibración del dispositivo.

Para sacar el error se tomó volares durante 5 horas y para hacer las gráficas se toma 1765 puntos durante las 5 horas.

Se realiza la medición del voltaje y se puede observar en la figura 44, son valores del Fluke y el medidor doméstico.

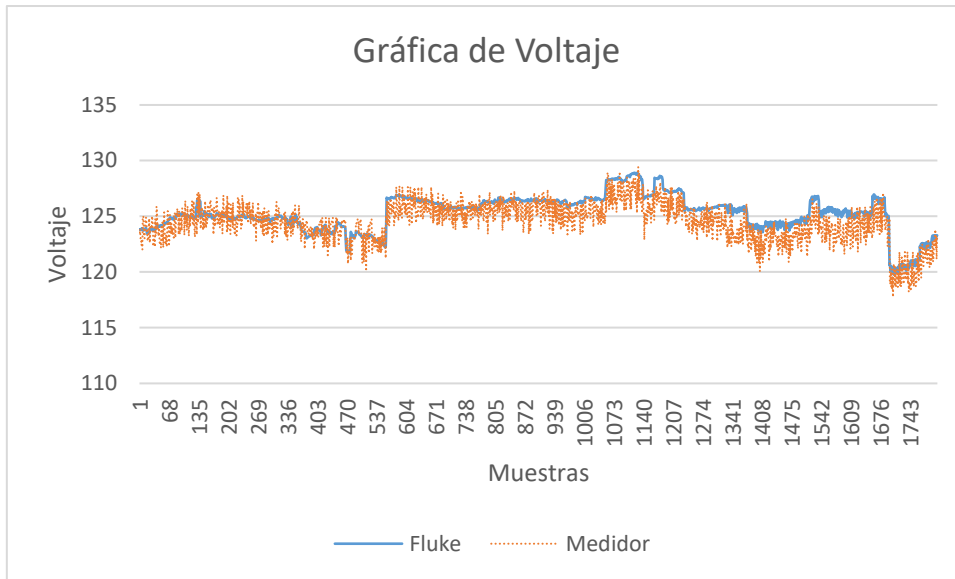


Figura 44. Gráfica de voltaje del medidor industrial y medidor doméstico
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

En la siguiente figura 45 se puede observar el error que hay en la medición del voltaje el cual se obtiene un error máximo de 3.5%.

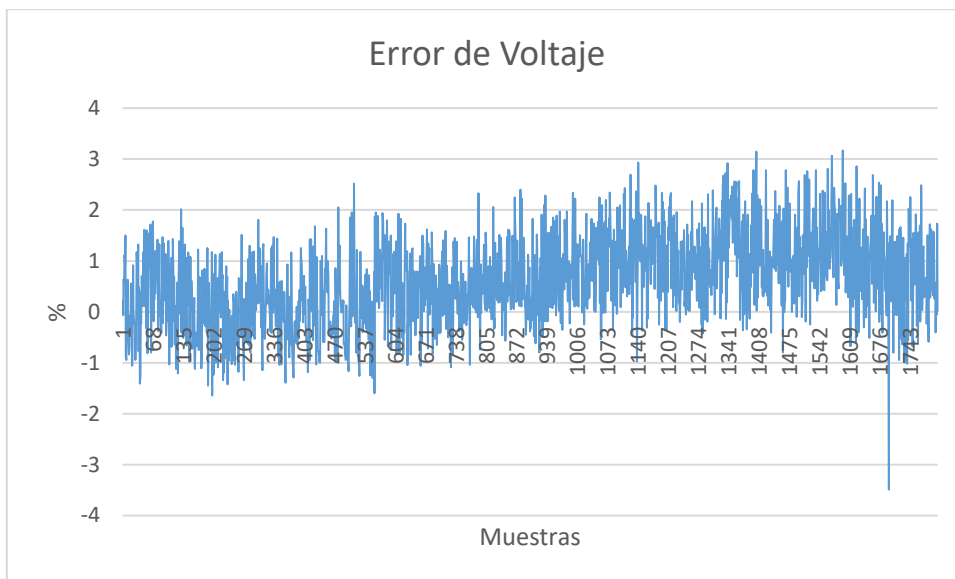


Figura 45. Gráfica de error del voltaje
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

Para sacar el error de la corriente se realiza el mismo procedimiento anterior se toma los valores medidos del Fluke y el medidor doméstico como se puede observar en la siguiente figura. 46.

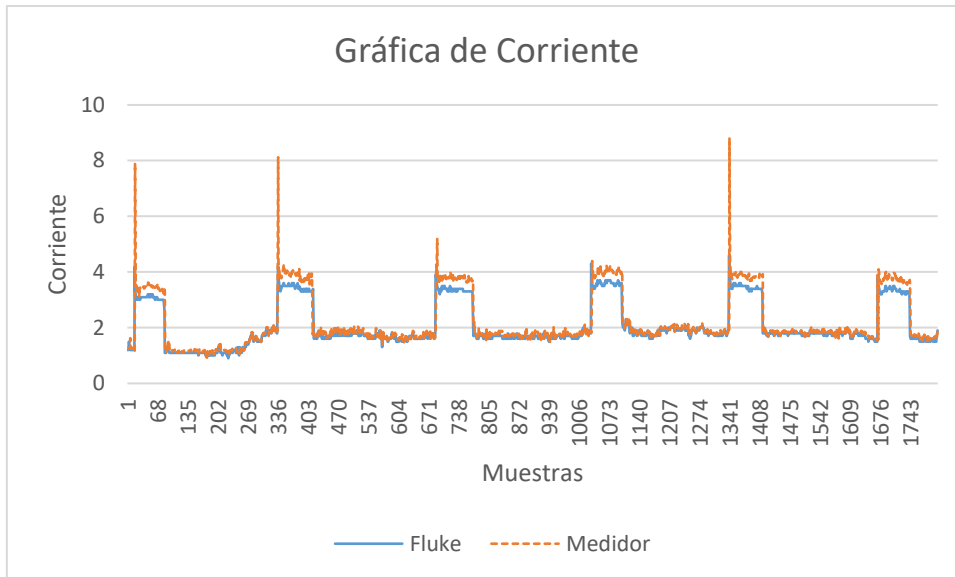


Figura 46. Gráfica de corriente del Fluke y del medidor inteligente doméstico
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

La gráfica 47 se observa el error de la corriente en las mediciones de 5 horas.

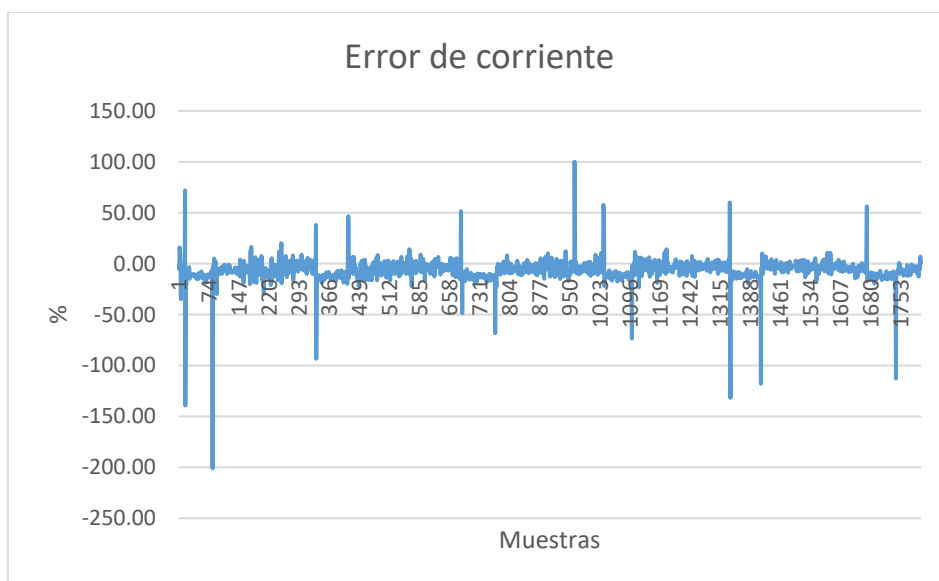


Figura 47. Gráfica de error de la corriente
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

4.5. Visualización de resultados en la página web.

En la página web se observa todos los resultados del medidor inteligente como son la potencia activa, potencia reactiva, consumo en kWh y consumo en dólares en tiempo real como se puede observar en la siguiente figura 48.

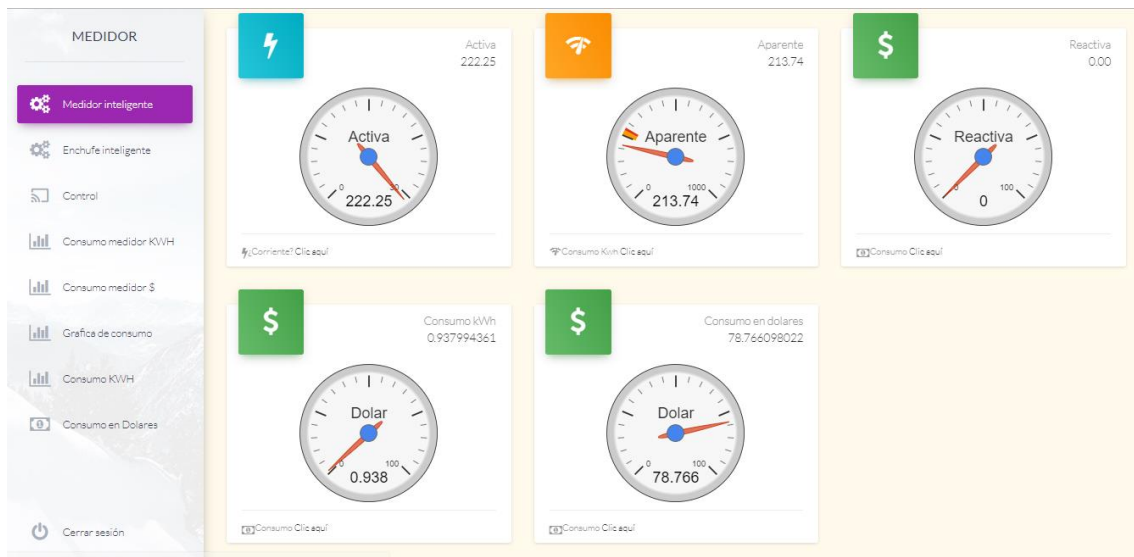


Figura 48. Visualización de datos en tiempo real de las diferentes variables a medir

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

La página principal tiene varios indicadores los cuales indican los valores de la medición en tiempo real.

Los resultados obtenidos son cuando el medidor está conectado a la vivienda la cual tiene un refrigerador, televisor computador portátil y 6 focos encendidos en el momento de la medición.

En la figura 49 se puede observar una gráfica en tiempo real de los kWh consumidos durante 5 horas de conexión del medidor.



Figura 49. Gráfica de resultados de mediciones en tiempo real de los kWh

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

En el mismo módulo del consumo en kWh podemos observar una gráfica de barras la misma que nos indica el valor consumido por meses como se puede ver en la siguiente figura 50.

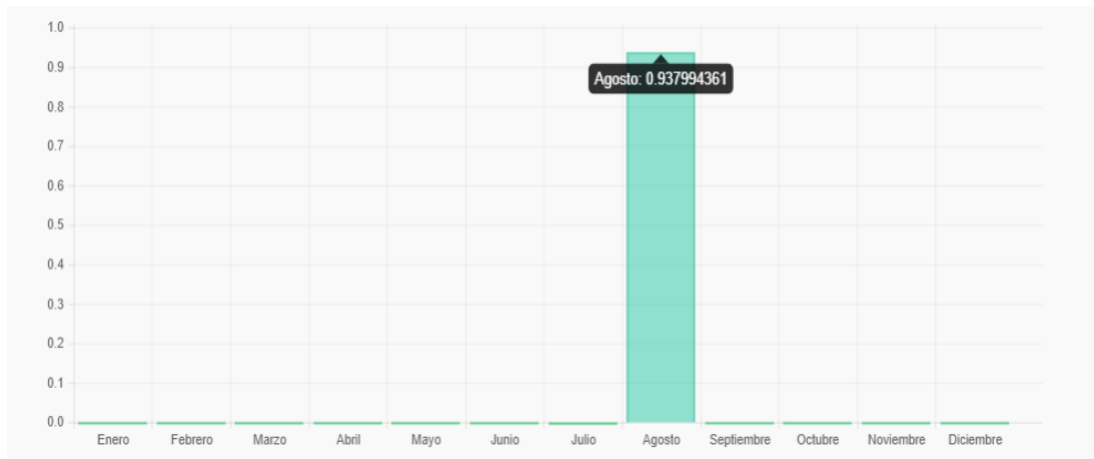


Figura 50. Gráfica de barras de resultados del consumo en kWh por meses
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

En el menú lateral también se puede ingresar a ver las gráficas de consumo en dólares la cual se puede ver una gráfica en tiempo real en la figura 51.



Figura 51. Gráfica de resultados en tiempo real del consumo en dólares
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

Para poder visualizar el consumo de cada mes se puede ver en la siguiente figura 52, la cual es una gráfica de barras que indica el consumo en dólares de cada mes.

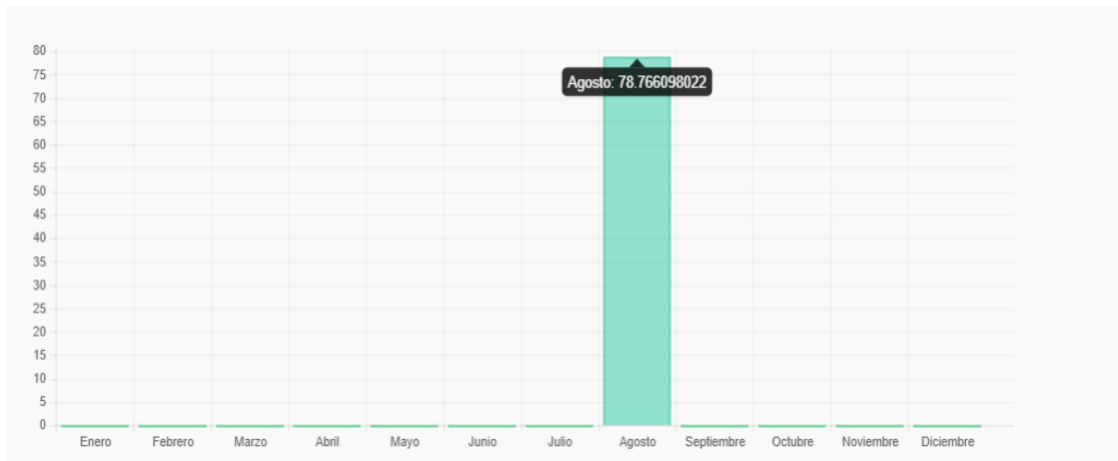


Figura 52. Gráfica de barras de resultados en dólares de cada mes
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

En las mediciones de 5 horas el consumo obtenido con el medidor inteligente es 0.94 kWh y en el Fluke se obtuvo 1.07 kWh. El error obtenido es de 10.4%.

Como el medidor se va a conectar a un enchufe inteligente el que es desarrollado en un trabajo de titulación. Se va a montar todo el sistema el cual en el menú también se puede visualizar el consumo de los enchufes conectados, así mismo se obtendrá los resultados en la página web del medidor y se puede visualizar el consumo en las gráficas las cuales compara las mediciones del medidor inteligente y el enchufe inteligente.

Se realiza algunas pruebas con todo el sistema conectado el medidor inteligente y el enchufe inteligente.

El medidor está conectado en toda la vivienda y el enchufe se lo conecta a diferentes electrodomésticos, los resultados del consumo de la corriente se pueden ver en la figura. 53.

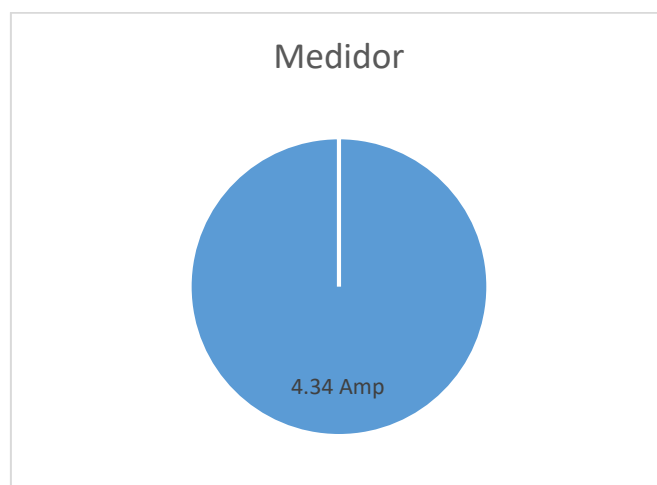


Figura 53. Gráfica del consumo de corriente de la vivienda
 Fuente: Autor
 Elaboración: Autor

En la figura 54, es el resultado de la medición de la corriente con el enchufe inteligente el cual se midió un tv plasma, refrigerador, tv normal y otros se tiene el valor que se está consumiendo como focos que están en funcionamiento en la vivienda.

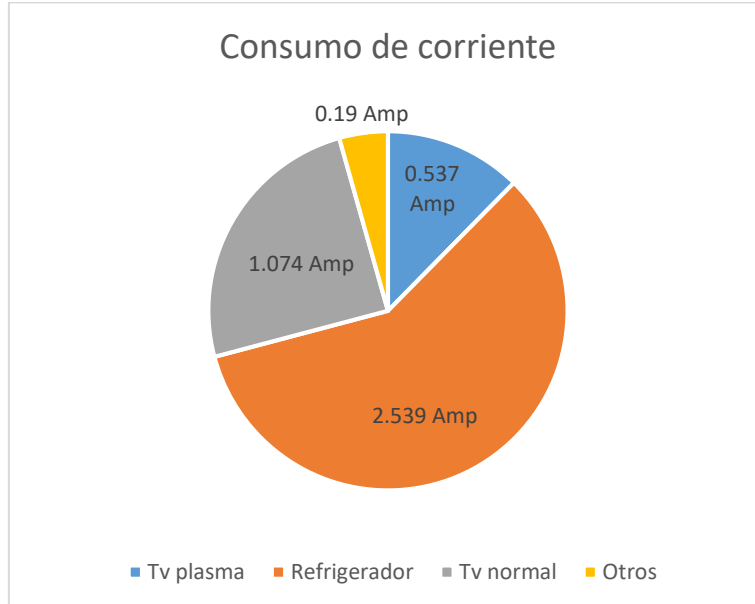


Figura 54. Gráfica del consumo de corriente de varios electrodomésticos
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

En la figura 55, es el resultado de la potencia medida en toda la vivienda que se tiene un total de 535.96 W

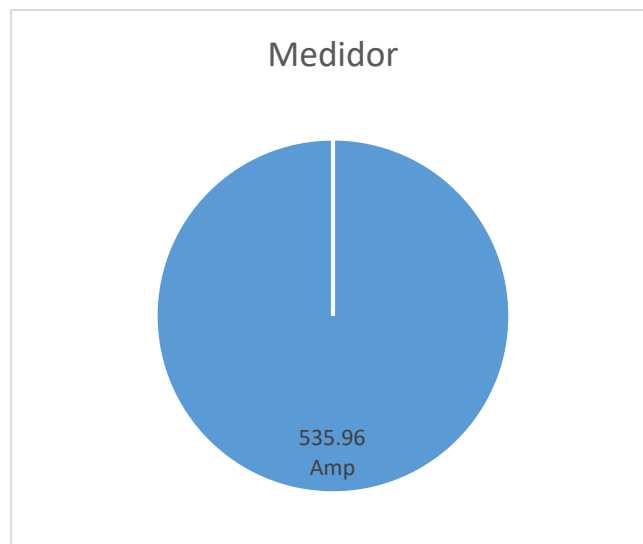


Figura 55. Gráfica del consumo de potencia de la vivienda
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

En la figura 56, se muestra el resultado de la medición con el enchufe inteligente se realiza con los mismos electrodomésticos que se midió la corriente.

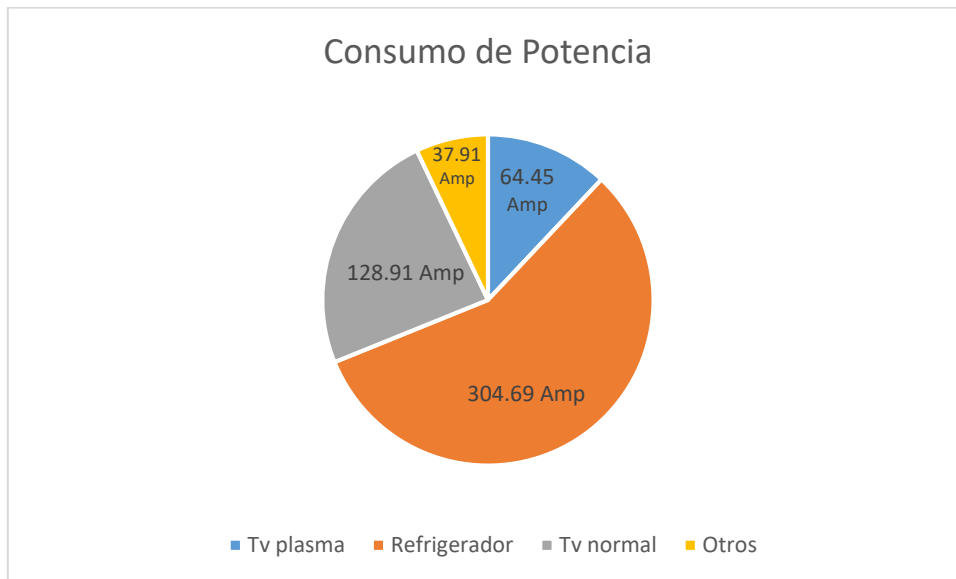


Figura 56. Gráfica de medición de potencia con diferentes electrodomésticos con el enchufe inteligente
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Para la implementación final del medidor inteligente se realiza en diseño del contenedor el cual sirve para colocar la placa y conexiones de todo el circuito como se puede ver en la figura 57.

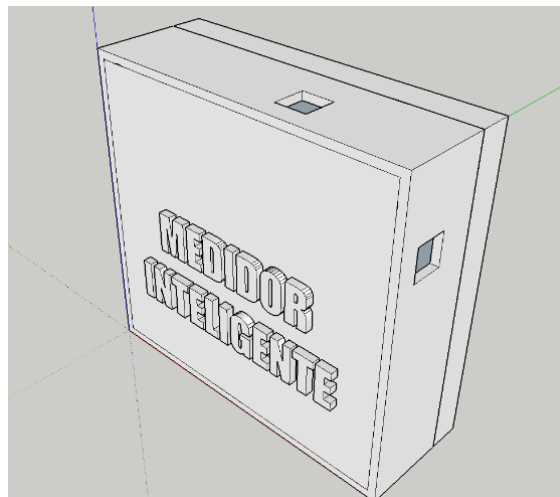


Figura 57. Diseño Final del medidor inteligente
Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Las medidas son de 8.5 cm de largo, 8 cm de ancho y 2.5 cm de alto.

4.6. Presupuesto.

En la Tabla 2 se presenta los dispositivos a utilizar con sus respectivos precios comerciales.

Tabla 2. Costo de materiales y dispositivos a utilizar

Dispositivos	Unidad	Precio (\$)
nodeMCU esp8266	1	14.00
ADS1116	1	17.00
Sensor SCT-013	1	15.00
Transformador 12 voltios	1	5.00
Resistor 18Ω	1	0.05
Resistor 10k Ω	1	0.05
Resistor 165k Ω	1	0.05
Fusible 500mA	2	1.00
bornera	1	0.50
Conector AUX 3.5mm	1	0.50
Interruptor 500 mA	2	1.00
Case	2	3.00
	Total (\$)	57.15

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

CONCLUSIONES

- El medidor inteligente doméstico es una alternativa de bajo costo para informar sobre el consumo eléctrico de toda la vivienda, en kWh y el consumo económico expresado en dólares.
- Se concluye que el medidor al momento de calibración tiene variaciones de corriente de $\pm 1.42\%$, de voltaje de $\pm 0.66\%$ y factor de potencia de $\pm 2.4\%$ en sus mediciones por lo que no se obtendrá resultados precisos y los datos tomados sirven como referencia del consumo que tenemos en la vivienda.
- Al momento de realizar la medición durante 5 horas, se obtiene un error en las diferentes variables medidas como en el voltaje $\pm 0.69\%$, en la corriente se obtiene $\pm 1.68\%$ en el consumo de energía en kWh se obtuvo un error de $\pm 10.4\%$. El dispositivo sirve para obtener una referencia sobre las mediciones de energía eléctrica en una vivienda.
- Para el almacenamiento de los datos del medidor inteligente se hace una base de datos la cual es gratuita y se puede almacenar información ilimitada. La cual se puede visualizar en cualquier momento desde la página web.
- En la plataforma web se puede observar todos los resultados de la medición y las diferentes gráficas de consumo. Se puede ingresar desde cualquier dispositivo conectado a internet con un navegador.

RECOMENDACIONES

- Para realizar la conexión a la red WiFi se debe modificar el código, cambiando el nombre de la red a conectarse y su respectiva contraseña. También para hacer el envío de datos se debe cambiar la dirección IP del respectivo servidor.
- Al realizar las mediciones es recomendable calibrar el medidor, porque en diferentes sectores hay diferentes variaciones de voltaje.
- Se debe colocar en el sentido correcto el sensor de corriente, el cual tiene una flecha que indica en qué dirección va la corriente, porque al colocarlo en sentido contrario leerá valores negativos.
- El medidor inteligente se lo puede adaptar con los enchufes inteligentes realizados anteriormente (Alex, 2018), para obtener resultados del consumo energético más precisos de cada dispositivo que esté conectado.
- Ser recomiendo que, para un nuevo diseño, al medidor inteligente se lo puede colocar directamente a la caja de breaker, y la conexión sea más fácil como colocar un breaker.

BIBLIOGRAFÍA

- Aakvaag, N., & Frey, J.-E. (2006). Redes de Sensores inalámbricos, Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial. *Aab*, 2, 4. <https://doi.org/10.1016/j.jpag.2011.07.002>
- Adafruit. (2016). ADS1115 16-BIT ADC - 4 channel with programmable gain amplifier. Retrieved from <https://www.adafruit.com/product/1085>
- Alex, M. (2018). Diseño y construcción de un prototipo de medición y control de consumo de energía eléctrica para dispositivos domésticos. Retrieved from <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/23503>
- Amica. (2017). NodeMcu v2 - ESP8266. Retrieved from <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/153-nodemcu-esp8266.html>
- arduino.cl. (2013). Arduino Uno R3. Retrieved from <http://arduino.cl/arduino-uno/>
- Aritz, O., & Álvarez Javier. (2015). Monitorización del hogar: procesado de datos mediante Raspberry Pi Grado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Pública de Navarra.
- Betancor, Y. (2014). Sistema doméstico de monitorización del consumo eléctrico. Universidad de La Laguna.
- Bhatt, R. (2012). A brief overview of allegro ACS712 current sensor. Retrieved from <http://embedded-lab.com/blog/a-brief-overview-of-allegro-ac712-current-sensor-part-1/>
- Blanco, O. (2016). Universidade da Coruña Facultad de Informática Sistema de domótica para la gestión energética inteligente. Universidad de Coruña.
- efimarket.com. (2017). Medidor de energía inteligente-Mirubee Mirubox.pdf. Retrieved from <https://www.efimarket.com/mirubee-mirubox-medidor-inteligente-17493>
- ElectronicosCaldas. (2013). SCT-013-000. Retrieved from <https://www.electronicoscaldas.com/sensores-de-corriente/1029-sensor-de-corriente-de-100a-sct-013-000.html>
- Energia, R. T. R. (2009). Corrección del Factor de Potencia, 16. Retrieved from www.rtrenergia.es/downloads/corporativo.pdf
- ESP8266 Datasheet. (2015). ESP8266EX Datasheet. Espressif Systems Datasheet, 1–31. Retrieved from <https://www.adafruit.com/images/product-files/2471/0A->

- Fardjome, I. (2016). Sensor De Corriente ACS712 5-20-30A. Retrieved from <https://saber.patagoniatec.com/2014/12/sensor-de-corriente-ac712-5-20-30a-ptec-arduino-pic/>
- Fernández Martínez, R., Ordieres Meré, J., Martínez de Pisón Ascacibar, F. J., González Marcos, A., & Alba Elías, F. (2009). Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica.
- Han, D.-M., & Lim, J.-H. (2010). Smart home energy management system using IEEE 802.15.4 and ZigBee. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1403–1410. <https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5606276>
- Hernández. Francisco Manuel. (2016). Voltaje, corriente y potencia eléctrica (Primera ed). Ciudad de México: Secretaría de Educación Pública. Retrieved from www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12235/1/images/voltaje.pdf
- Hernández, L. (2017). NodeMCU tutorial paso a paso desde cero. Retrieved from <https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>
- InforTel Comunicaciones. (2015). Energía y Potencia.
- Instruments, T. (2016). ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs.
- Jorge, M. (2015). Diseño Y Desarrollo De Un Sistema De Medición Y Monitoreo Remoto Enfocado Al Uso Doméstico. Universidad Tecnológica de Pereira Colombia. Retrieved from <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5735>
- Llamas, L. (2016). Entrada analógica de 16 bits con arduino y ADC ADS1115. Retrieved from <https://www.luisllamas.es/entrada-analogica-adc-de-16-bits-con-arduino-y-ads1115/>
- Llamas, L. (2017a). ¿Qué es raspberry pi? Retrieved from <https://www.luisllamas.es/que-es-raspberry-pi/>
- Llamas, L. (2017b). Medir intensidad y consumo eléctrico con arduino y ACS712. Retrieved from <https://www.luisllamas.es/arduino-intensidad-consumo-electrico-ac712/>
- Llamas, L. (2017c). Sensor de corriente eléctrica no invasivo con arduino y SCT-013. Retrieved from <https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-corriente-sct-013/>

- Llumiquinga, F. (2012). Diseño de un Banco de Condensadores para la Corrección del Factor de Potencia de la Empresa Banchisfood S.A., 170. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6607/1/UPS-KT00475.pdf>
- Maugard, J. (2015). Contadores de luz digitales, analógicos e inteligentes: guía completa. Retrieved from <https://www.killmybill.es/contador-luz/>
- mosselec, & Ebay. (2018). Medidor inteligente de una sola fase emlite ASL & Gsm. Retrieved from <https://www.ebay.com>
- Naylamp Mechatronics. (2016). Tutorial sensor de corriente AC no invasivo SCT-013. Retrieved from https://naylampmechatronics.com/blog/51_tutorial-sensor-de-corriente-ac-no-invasivo-s.html
- Niyato, D., Xiao, L., & Wang, P. (2011). Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid. *Communications Magazine, IEEE*, 49(4), 53–59. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2011.5741146>
- Pérez, A. A. (2007). Desarrollo de herramientas web de gestión docente. Escuela Técnica Superior De Ingeniería De Telecomunicación. Retrieved from <http://repositorio.upct.es/bitstream/10317/179/1/pfc2475.pdf>
- Polaris. (n.d.). KIT DAE P204-200-S, submeter inteligente UL kWh, 3P4W. Retrieved from <https://www.amazon.com>
- Raspberry. (2017). Raspberry pi zero W. Retrieved from <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero-w/>
- Raposo, F. (2016). Electricidad y electrónica, 20. Retrieved from [www.edu.xunta.gal/centros/iesfelixmuriel/.../electricidad y electrónica.pdf](http://www.edu.xunta.gal/centros/iesfelixmuriel/.../electricidad-y-electronica.pdf)
- Renesas. (2003). Serial Peripheral Interface e Inter IC, (September), 1–14. Retrieved from www.ti.com
- Salas, J. (2016). Energy Monitor con Arduino. Retrieved from <http://todoelectrodo.blogspot.com/2016/05/energy-monitor-con-arduino.html>
- Selectra. (2015). Consumo eléctrico. Retrieved from <https://tarifaluzhora.es/consumo-electrico>
- Son, Y.-S., Pulkkinen, T., Moon, K.-D., & Kim, C. (2010). Home energy management system based on power line communication. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1380–1386. <https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5606273>

Susana, N. (2014). Enchufe domotico Smartplug : El enchufe inteligente Indice general. Universidad Carlos III de Madrid.

Universidad de Murcia. (2011). Manual básico de creación de páginas web. Area de La Tecnología de La Informacion y Las Comunicaciones Aplicadas, 57. Retrieved from <https://www.um.es/atika/documentos/html.pdf>

Valdez, J., & Becker, J. (2015). Understanding the I2C Bus. Retrieved from www.ti.com

Wemeter. (2017). Medidor de electricidad Kwh inteligente fase única de hasta 3 fases. Retrieved from <https://www.ebay.com>

Zaldaña, J. (2011). Medidor inalámbrico de consumo de energía eléctrica de bajo costo. Universidad de el Salvador. Retrieved from http://ri.ues.edu.sv/2029/1/Medidor_inalámbrico_de_consumo_de_energía_eléctrica_de_bajo_costo.pdf

ANEXOS

ANEXO A

Código de la placa de desarrollo

En la fig. se representa la programación de la conexión wifi de la placa de desarrollo nodeMCU8266 en la cual se le asigna una IP fija 192.168.1.11 y la puerta de enlace 192.168.1.1. Para la conexión hace un conteo hasta 50 segundos y si se conecta en ese tiempo debe imprimirnos wifi conectado y la dirección IP asignada anteriormente.

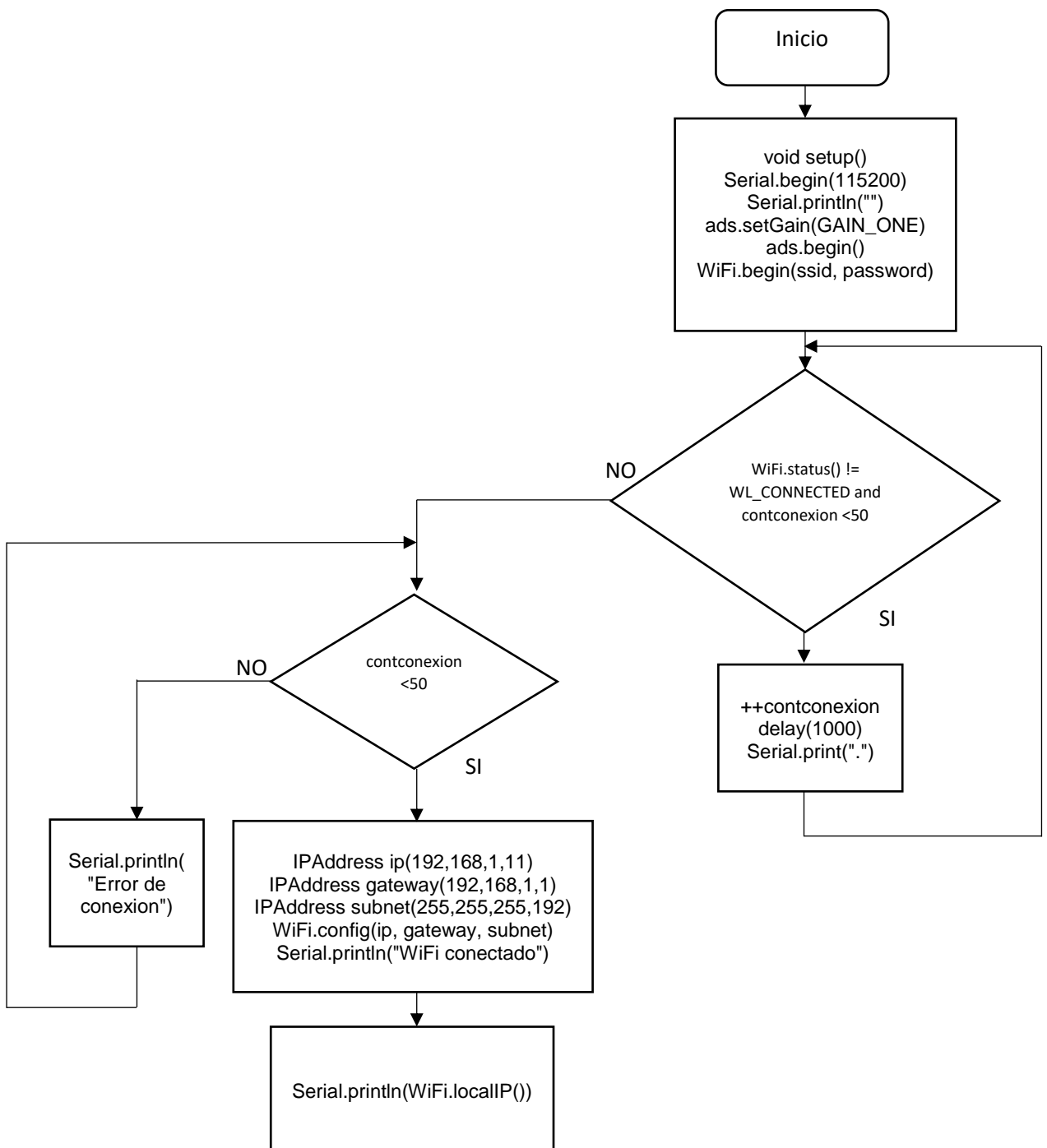


Diagrama de flujo de conexión a la base de datos

Es la representación gráfica de la conexión a la red inalámbrica wifi

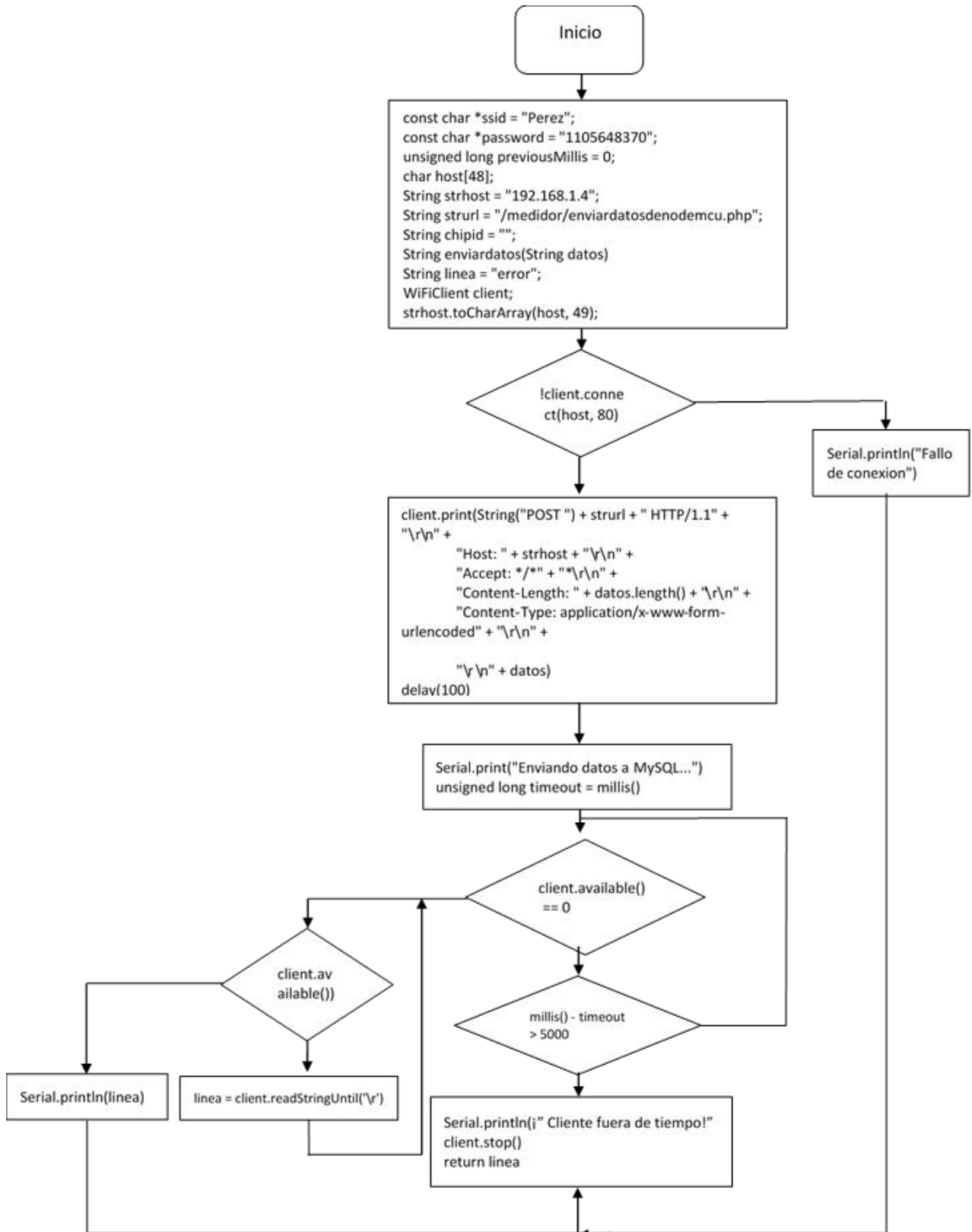


Diagrama de flujo filtro digital

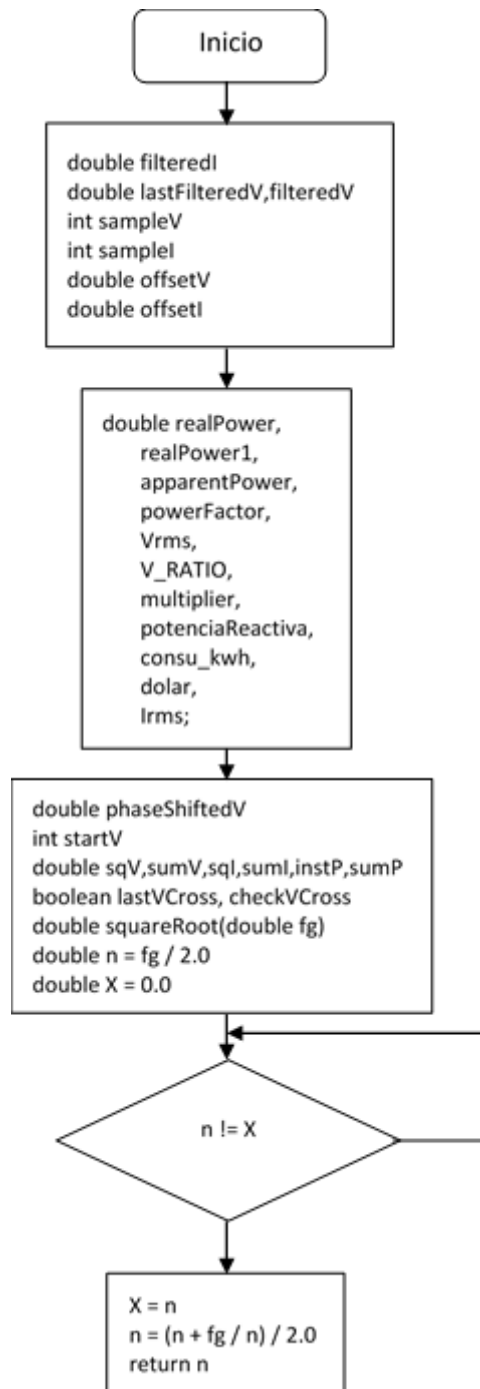
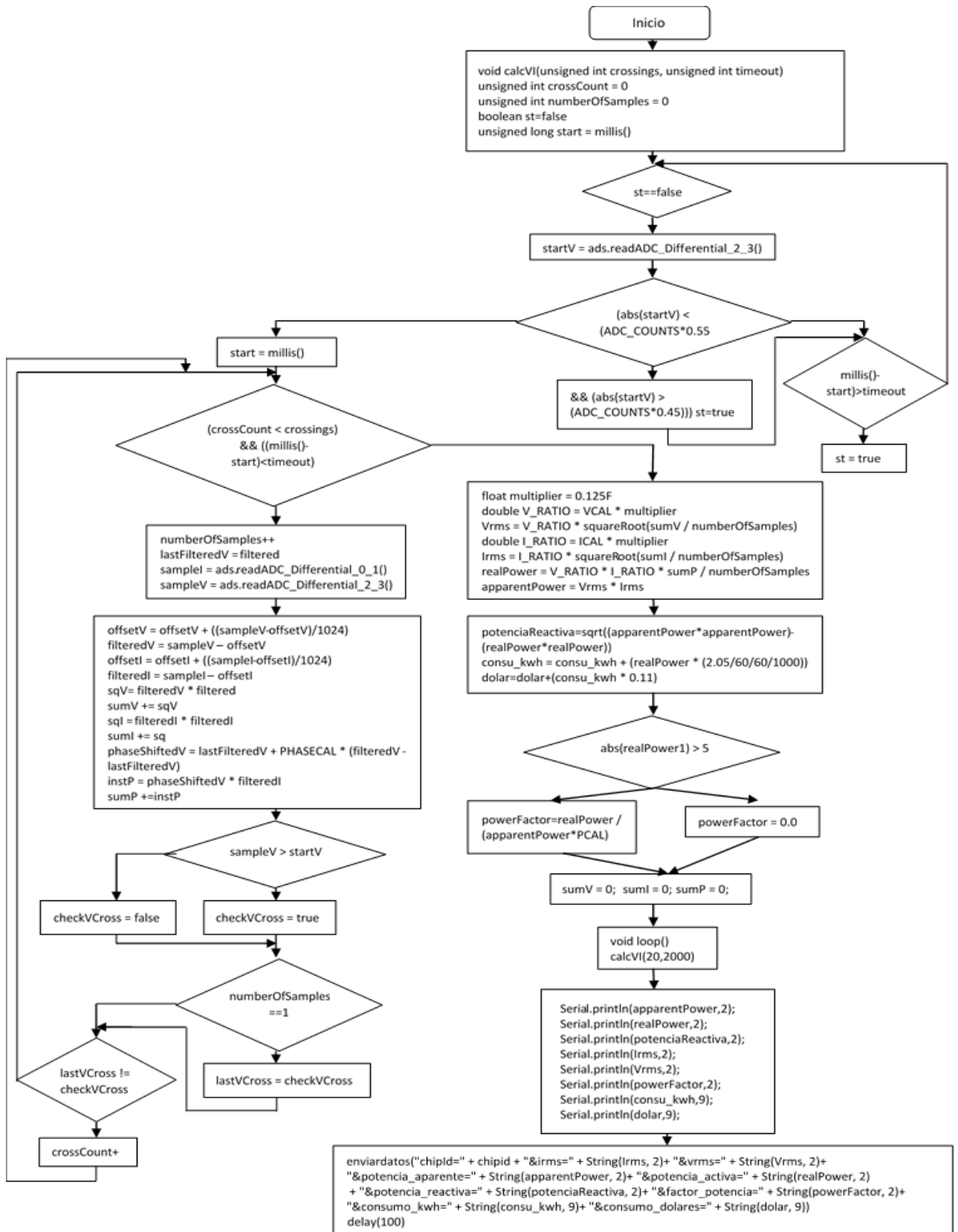


Diagrama de flujo conversión de voltajes y corrientes



ANEXO B

Estructura de la base de datos

Tabla	Acción	Filas	Tipo	Cotejamiento	Tamaño	Residuo a depurar
medidor	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	3,020	InnoDB	utf8_spanish_ci	224 KB	-
usuario	Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	0	InnoDB	utf8_spanish_ci	16 KB	-

Tabla de mediciones de la base de datos

id	chipld	irms	vrms	potencia_ε	potencia_apar	potencia_rea	factor_potencia	consumo_kwh	consumo_dolares	fecha
3021	0	1.76	121.16	222.25	213.74	0.00	0.93	0.937994361	78.766098022	2018-08-27 21:55:58
3020	0	1.58	121.27	192.44	191.17	0.00	0.90	0.937383175	78.662918091	2018-08-27 21:55:47
3019	0	1.58	122.13	195.00	193.19	0.00	0.90	0.936854005	78.559806824	2018-08-27 21:55:35
3018	0	1.58	121.80	193.38	192.03	0.00	0.90	0.936317742	78.456748962	2018-08-27 21:55:24
3017	0	1.59	120.60	192.50	191.33	0.00	0.90	0.935785949	78.353759766	2018-08-27 21:55:13
3016	0	1.69	121.42	208.34	205.55	0.00	0.90	0.935256541	78.250823975	2018-08-27 21:55:02
3015	0	1.65	121.39	201.29	200.71	0.00	0.90	0.934683621	78.147941589	2018-08-27 21:54:51
3014	0	1.60	120.94	200.64	193.85	0.00	0.92	0.934130073	78.045127869	2018-08-27 21:54:40
3013	0	1.64	122.76	208.68	201.37	0.00	0.93	0.933578312	77.942375183	2018-08-27 21:54:29