



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO
DE: INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**MEDIDOR INTELIGENTE DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN SISTEMA
MONOFÁSICO BIFILAR, CON TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS A
UNA CENTRAL PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO**

AUTOR:

ANAGUANO ANAGUANO LUIS MIGUEL

TUTOR:

ING. FIDEL PARRA Ph.D.

QUITO, ECUADOR

2019

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación **“MEDIDOR INTELIGENTE DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN SISTEMA MONOFÁSICO BIFILAR, CON TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS A UNA CENTRAL PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”**, presentado por el Sr. Anaguano Anaguano Luis Miguel, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. agosto del 2019

TUTOR

.....

Ing. Fidel Parra Ph.D.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
APROBACIÓN DEL TUTOR PRÁCTICO

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación **“MEDIDOR INTELIGENTE DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN SISTEMA MONOFÁSICO BIFILAR, CON TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS A UNA CENTRAL PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO”**, presentado por el Sr. Anaguano Anaguano Luis Miguel, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. agosto del 2019

TUTOR

.....

Ing. Francisco Jurado, Mg.

AGRADECIMIENTO

Mi eterna gratitud a mi Dios, por darme salud y vida para poderla disfrutar junto a mi amada familia.

A mi amada esposa Cinthia Jenniffer Cerezo Rosado, tu ayuda a sido fundamental para poder alcanzar este objetivo, esta carrera no fue fácil, pero siempre estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían; no sé dónde me encontraría de no ser por tu ayuda, tu compañía y tu amor, gracias negrita.

A mis tutores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en que me encuentro.

A la Universidad Tecnológica Israel por haberme dado la oportunidad de llegar a ser un profesional.

A la Empresa Eléctrica Quito, en especial a mi jefe el Lcdo. Iván Sánchez por haberme dado todo el apoyo y ayuda para poder culminar con mi carrera.

Luis Miguel Anaguano Anaguano

DEDICATORIA

A mis amados Hijos, Luis Miguel y María Fernanda.

Posiblemente en este momento no entiendan mis palabras, pero para cuando sean capaces, quiero que se den cuenta de lo mucho que significan para mí.

Son la razón por la que me levanto cada día, esforzarme por el presente y el futuro, son mis motores, mi principal motivación y mi gran orgullo.

Les dedico este título a ustedes sentando un precedente que todo se puede, no importa las adversidades que se presenten, fíjense un sueño, luchen por ello, sean valientes y lleguen a cumplirlo.

Dios los bendiga.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
1. Antecedentes.....	1
2. Planteamiento.....	2
3. Justificación	3
4. Objetivo general.....	4
5. Objetivos específicos	4
6. Descripción de los capítulos	4
7. Alcances.....	5
CAPÍTULO I.....	6
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
1.1 Introducción	6
1.2 Mercado eléctrico Ecuatoriano	7
1.3 Categoría y pliego tarifario residencial.....	8
1.4 Facturación del servicio eléctrico	9
1.5 Medidores convencionales de energía eléctrica.....	10
1.5.1 Medidor electromecánico o de inducción	10
1.5.2 Medidores electrónicos	12
1.6 Medidores inteligentes	14
1.6.1 Antecedentes de medidores inteligentes en Ecuador	14
1.6.2 Arquitectura de los sistemas AMI	14
1.6.3 Beneficios de la implementación de los medidores AMI.....	15
1.7 Fuentes de alimentación.....	16
1.8 Dispositivos para medir magnitudes eléctricas.....	17

1.8.1	Voltaje.....	17
1.8.2	Corriente	17
1.8.3	Potencia y energía	19
1.9	Microcontroladores	19
1.10	Redes de comunicación	21
1.10.1	Red Zigbee	21
1.10.2	Red Wifi.....	23
1.10.3	Radioenlaces	24
1.10.4	Ethernet.....	24
1.10.5	Tecnologías para sistemas de telefonía celular	25
1.11	Lenguajes de programación	27
1.11.1	Arduino IDE	27
1.11.2	Visual Basic	27
1.12	Contrastación del sistema de medición.....	28
1.13	Normativa aplicada	30
CAPÍTULO II.....		31
2.	MARCO METODOLÓGICO	31
2.1	Investigación según el contraste con la realidad.....	31
2.2	Enfoques de la investigación	31
2.2.1	Proceso deductivo	32
2.2.2	Procesos secuencial y probatorio	33
2.2.3	Proceso que analiza la realidad objetiva	33
2.2.4	Proceso inductivo.....	34
2.2.5	Proceso recurrente.....	34
2.3	Metodología de trabajo	34
CAPÍTULO III		36
3.	PROPUESTA	36
3.1	Descripción general del proyecto	36
3.2	Diseño del medidor inteligente	38
3.2.1	Diseño del sensor de voltaje	38
3.2.2	Diseño del sensor de corriente	42
3.2.3	Módulo GSM SIM 900	45
3.2.4	Arduino uno	46
3.2.5	Conexión y desconexión de la energía eléctrica.....	47
3.2.6	Pantalla LCD.....	49

3.2.7	Fuente de alimentación reductora	49
3.3	Software	50
3.3.1	Diagrama de flujo del medidor electrónico	50
3.3.2	Diagrama de flujo de la central de recepción	51
3.3.3	Envío de datos vía GSM SIM900	52
3.3.4	Diseño de la interfaz en Visual Basic	53
CAPÍTULO IV		56
4	IMPLEMENTACIÓN	56
4.1	Fabricación de la placa PCB	56
4.2	Uso del módulo GSM SIM900 con comandos AT	59
4.3	Pruebas de funcionamiento	60
4.3.1	Pruebas iniciales para la medición de corriente	60
4.3.2	Pruebas iniciales para la medición de voltaje	61
4.3.3	Pruebas funcionales con carga de 10 ohmios	63
4.4	Contrastación del medidor inteligente	64
4.5	Envío de parámetros eléctricos del medidor a la central	67
4.5.1	Visualización de datos por el monitor serial del medidor.....	67
4.5.2	Hoja de cálculo de la interfaz.....	67
4.6	Análisis de resultados	68
CONCLUSIONES.....		70
RECOMENDACIONES		72
BIBLIOGRAFÍA		73
ANEXOS.....		77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1. Clientes regulados de las empresas de distribución en el 2017	6
Figura. 1.2. Estructura del mercado eléctrico ecuatoriano	7
Figura. 1.3. Estructura interna de un medidor electromecánico	11
Figura. 1.4. Medidor electromecánico bifilar	11
Figura. 1.5. Medidor electrónico de marca STAR	12
Figura. 1.6. Circuito interno del medidor electrónico trifásico	13
Figura. 1.7. Arquitectura de sistemas AMI	15
Figura. 1.8. Fuentes de alimentación	16
Figura. 1.9. Sensores de efecto hall	18
Figura. 1.10. Acondicionamiento del sensor shunt	18
Figura. 1.11. Procesamiento y control de un sistema electrónico	20
Figura. 1.12. Tipos de Arduino	20
Figura. 1.13. Red Zigbee	22
Figura. 1.14. Arduino IDE	27
Figura. 1.15. Visual Basic IDE	28
Figura. 1.16. Medición de parámetros del medidor monofásico	29
Figura. 2.1. Enfoques de la Investigación	32
Figura. 3.1. Estructura general del Sistema	36
Figura. 3.2. Energía Consumida	37
Figura. 3.3. Diagrama de bloques del Medidor Inteligente	38
Figura. 3.4. Acondicionamiento para la medición de voltaje	38
Figura. 3.5. Fuente AC/DC lineal básica	39
Figura. 3.6. Transformador con derivación central	39
Figura. 3.7. Conexión del transformador para diseño	40
Figura. 3.8. Voltaje rectificado positivo	40
Figura. 3.9. Voltaje rectificado positivo	41
Figura. 3.10. Voltaje de salida	42
Figura. 3.11. Diagrama esquemático para la lectura de corriente eléctrica	42
Figura. 3.12. Sensor de corriente SCT013-030	43
Figura. 3.13. Etapa rectificadora de precisión	43
Figura. 3.14. Amplificador no inversor con salida positiva	44
Figura. 3.15. Circuito de acondicionamiento para medición de corriente eléctrica	44
Figura. 3.16. Módulo GSM SIM900	45
Figura. 3.17. Plataforma Arduino Uno	46
Figura. 3.18. Circuito para la conexión y desconexión de la energía eléctrica	47
Figura. 3.19. Contactor para el corte y reconexión	48
Figura. 3.20. Display LCD 16x2 Arduino	49
Figura. 3.21. Fuente LM2596 mini DC-DC	49
Figura. 3.22. Diagrama de flujo del medidor electrónico	51
Figura. 3.23. Diagrama de flujo de la central de recepción	52

Figura. 3.24. Envío de datos con comandos AT.....	52
Figura. 3.25. Ubicación de la aplicación	53
Figura. 3.26. Ejecutar programa	53
Figura. 3.27. Programa ejecutable	54
Figura. 3.28. Pantalla de comandos	54
Figura. 3.29. Hoja de cálculo de datos del medidor inteligente	55
Figura. 4.1. Diseño de placa PCB.....	56
Figura. 4.2. Placa de cobre PCB.....	57
Figura. 4.3. Proceso de soldado de elementos	57
Figura. 4.4. Parte superior de la placa PCB.....	58
Figura. 4.5. Placa final del medidor electrónico inteligente	58
Figura. 4.6 Medidor inteligente implementado	59
Figura. 4.7. Conexión de Shield GSM y Arduino Uno	59
Figura. 4.8. Pruebas iniciales para la medición de corriente	61
Figura. 4.9. Carga 1	61
Figura. 4.10. Pruebas iniciales para la medición de voltaje	62
Figura. 4.11. Voltaje y resistencia de la niquelina.....	63
Figura. 4.12. Valores de corriente medidos.....	63
Figura. 4.13. Potencia medidos	64
Figura. 4.14. Conteo de pulsos R.....	65
Figura. 4.15. Medidor en el Laboratorio de EEQ.....	66
Figura. 4.16. Visualización en el monitor serial de Arduino.....	67
Figura. 4.17. Inicio de aplicación	68
Figura. 4.18. Hoja de cálculo de datos recibidos.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1.1. Cargos tarifarios Quito	9
Tabla. 1.2. Beneficios de la instalación de medidores inteligentes	15
Tabla. 1.3. Características de redes NAN y WAN	21
Tabla. 1.4. Estándares para WiFi.....	23
Tabla. 1.5. Radioenlaces.....	24
Tabla. 1.6. Características GSM.....	25
Tabla. 1.7. Características UMTS	25
Tabla. 1.8. Estándares para Wi-Max	26
Tabla. 1.9. Normativas para medidores inteligentes	30
Tabla. 3.1. Características del sensor de corriente SCT013-030.....	43
Tabla. 3.2. Características del amplificador operacional LM358.....	45
Tabla. 3.3. Características del módulo GSM SIM900.....	46
Tabla. 3.4. Características del Arduino Uno R3.....	47
Tabla. 3.5. Características del relé SRD-12-VDC-SL-C.....	48
Tabla. 3.6. Características del módulo DC-DC de conmutación ajustable	50
Tabla. 4.1. Toma de lecturas para la medición de corriente	60
Tabla. 4.2. Lecturas de voltaje en el Arduino Uno.....	62
Tabla. 4.3. Errores porcentuales entre el instrumento patrón y el medidor inteligente.....	64
Tabla. 4.4. Contrastación del medidor.....	65
Tabla. 4.5. Prueba de verificación y contrastación del medidor electrónico.....	66
Tabla. 4.6. Análisis de resultados	69

RESUMEN

El proyecto brinda un análisis teórico y práctico sobre la implementación de un medidor inteligente de parámetros eléctricos para un sistema monofásico bifilar, con transmisión inalámbrica de datos a una central que permita monitorear referentes al consumo eléctrico y controlar de forma remota el medidor de energía eléctrica. Para ello, se realiza un estudio de los medidores inteligentes y sus componentes. Luego se procede a estudiar los enfoques de la investigación para definir qué proceso ayuda a la implementación del medidor inteligente. Por consiguiente, se lleva a cabo el diseño del hardware y software de los dispositivos electrónicos tales como Arduino uno, sensores y circuitos de acondicionamiento, pantalla LCD, circuito de corte/reconexión y una shield GSM SIM900. Por último, se lleva a cabo una serie de pruebas para observar que el medidor inteligente implementado puede enviar valores de voltaje, corriente y energía eléctrica; ya sea a la pantalla LCD como a un computador ubicado en la central gracias a la transmisión inalámbrica de datos. Por último, se puede realizar un control periódico del consumo mensual de energía eléctrica para tener la opción de corte y reconexión de energía al medidor.

Palabras Claves: redes eléctricas, telemedición, infraestructura de medición avanzada, redes de medición inteligente, redes de comunicación, medidor AMI

ABSTRACT

The project provides a theoretical and practical analysis of the implementation of an intelligent meter of electrical parameters for a two-phase single-phase system, with wireless transmission of data to a central that allows monitoring related to electrical consumption and remotely controlling the electrical energy meter. For this, a study of the smart meters and their components is carried out. Then we proceed to study the research approaches to define which process helps the implementation of the smart meter. Therefore, the design of the hardware and software of electronic devices such as one Arduino, sensors and conditioning circuits, LCD display, cut / reconnection circuit and a GSM SIM900 shield is carried out. Finally, a series of tests is carried out to observe that the implemented intelligent meter can send voltage, current and electrical energy values; either to the LCD screen or to a computer located in the central unit thanks to the wireless transmission of data. Finally, a periodic control of the monthly consumption of electrical energy can be carried out to have the option of cutting and reconnecting energy to the meter.

Keywords: electrical networks, telemetry, advanced measurement infrastructure, intelligent measurement networks, communication networks, AMI meter

INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes

La Empresa Eléctrica Quito cuenta con más de un millón de clientes regulados, entre ellos los usuarios finales del sector residencial representan la mayoría en comparación al resto de sectores comerciales e industriales (Arconel, 2019). Además, existen clientes que ya cuentan con el servicio de Telemedición, son exclusivos y están ubicados en zonas industriales cuyo consumo es elevado o de difícil acceso. Por tal razón, la implementación de un servicio de Telemedición implica valores altos de consumo eléctrico y son incluidos para estos clientes, es decir, los grandes clientes están controlados por el área de “Telemedición” (EEQ, 2015).

Mediante el área de Comercialización existen planes o proyectos de comprar y/o cambiar nuevos medidores o equipos para acoplar a los aparatos existentes y así tener la telemetría en todos los clientes, como ya existen en otros países. Las compañías de energía eléctrica en general buscan maneras de mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la información proveniente del campo en tiempo real, tomando decisiones aplicadas a la red eléctrica con exactitud y rapidez, con el objetivo de reducir los índices de calidad y mejorar los índices de mantenibilidad (EEQ, 2015).

A continuación, se describen algunos trabajos relacionados con el tema propuesto:

- “Estudio y diseño de un sistema domiciliario para control de consumo de energía eléctrica utilizando redes eléctricas inteligentes”. Este proyecto utiliza un analizador de red monofásico para determinar el consumo de energía eléctrica, mediante estudio y diseños se puede llevar a cabo la adaptación de las Smart Grids al sistema de suministro de energía convencional (Guzmán, 2013).
- “Diseño y construcción de un medidor de energía eléctrica digital con conexión inalámbrica a un computador, para el Laboratorio de Máquinas”. El medidor trifásico

consta de sensores para determinar el voltaje y corriente RMS, potencias activa, reactiva y aparente; estas mediciones son ingresadas al microcontrolador dsPIC30F4013 y visualizadas en un computador de forma directa (Ortiz, 2013).

- “Diseño y desarrollo de una red de sensores inalámbricos para la medición del consumo eléctrico en aplicaciones de bajo voltaje”. Este proyecto se divide en cuatro partes: la primera se conforma de circuitos para medición de voltaje y corriente, luego estos son simulados mediante el programa Orcad para verificar su comportamiento. Una tercera parte utiliza una tarjeta de adquisición de datos y, por último, utiliza una tarjeta para la transmisión de datos a una interfaz desarrollada en LabVIEW (Mancheno, 2015).
- “Diseño e implementación de una red zigbee para determinar el consumo de energía de los usuarios de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A”. Como su nombre lo indica este proyecto utiliza comunicación inalámbrica para la transmisión de datos en tiempo real del consumo de energía eléctrica (Quito & Rodas, 2017).
- “Sistema electrónico de monitoreo y control para la distribución de energía eléctrica en los hogares”. El proyecto utiliza una tarjeta de adquisición de datos, sensor de voltaje, sensor de corriente y una pantalla touch para obtener el consumo de energía eléctrica. Además, tiene la capacidad de utilizar un equipo terminal, computador, teléfono móvil u otro dispositivo conectado a la red (Salazar, 2017).

2. Planteamiento

La mayor parte de abonados de la Empresa Eléctrica Quito son clientes residenciales, donde cada vivienda posee de uno a más medidores de energía, en caso de tener más de seis medidores se colocan en tableros armarios con el propósito de evitar la sobrecarga, cortocircuitos y/o posibles incendios a fin de cumplir las regulaciones establecidas por la EEQ (Macías, 2018).

El problema es la toma de lecturas de forma manual de los medidores eléctricos por parte del personal contratado o de la Empresa Eléctrica Quito. Debido a que el trabajo es constante

y agotador se vuelve un trabajo arduo, lo cual conlleva errores en la facturación, mano de obra y equipos desperdiciados (Arconel, 2019). Por otra parte, existe el problema del corte y reconexión, este proceso se genera cuando no se pagó el servicio eléctrico debido a abonados morosos o predios abandonados. Además, se tiene en cuenta que el personal de la EEQ no puede inspeccionar de forma constante todos los medidores instalados en la ciudad (EEQ, 2015).

Por lo antes expuesto, se ve la necesidad de implementar un medidor inteligente que envíe las lecturas a una central de facturación con un sistema de corte remoto en caso de falta de pago de servicio.

Es por eso que se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo se puede implementar un medidor inteligente de parámetros eléctricos de un sistema monofásico bifilar, con transmisión inalámbrica de datos a una central para la Empresa Eléctrica Quito?

3. Justificación

La implementación de un medidor inteligente ayuda a la central de facturación con la información necesaria sobre el estado del medidor, es decir, que puede visualizar el consumo eléctrico y hacer uso del corte/reconexión sin la necesidad de trasladarse al lugar donde se encuentre el medidor. Estos procesos ayudarán a optimizar tiempos de trabajo, eliminando riesgos en la toma de lecturas y minimizar errores en la facturación del servicio eléctrico.

Gracias al avance tecnológico se tienen dispositivos electrónicos y de comunicación que permita cada día actualizar los sistemas de medición para el consumo eléctrico, es decir, los parámetros del medidor podrán ser visualizados y enviados a una central para la toma de decisiones pertinentes en la facturación, corte y reconexión.

En el ámbito científico, servirá como un modelo inteligente que facilite su uso en pruebas de laboratorio, capacitaciones, exposiciones en casas abiertas para el empleo de una tecnología AMI al personal de Empresa Eléctrica Quito.

4. Objetivo general

Implementar un medidor inteligente de parámetros eléctricos de un sistema monofásico bifilar, con transmisión inalámbrica de datos a una central para la Empresa Eléctrica Quito.

5. Objetivos específicos

- Definir las variables eléctricas a ser medidas por el medidor inteligente.
- Establecer los parámetros de funcionamiento, elementos electrónicos que conforman el medidor y sistema de comunicación.
- Diseñar un medidor inteligente de energía eléctrica para un sistema monofásico bifilar.
- Construir el medidor inteligente de variables eléctricas de un sistema monofásico bifilar.
- Desarrollar la interfaz de comunicación según parámetros establecidos entre el dispositivo y el centro de mando para monitorearlo y operarlo remotamente.
- Realizar pruebas para validación del funcionamiento del medidor inteligente.
- Establecer una base de datos de las variables eléctricas enviados por el medidor.

6. Descripción de los capítulos

El proyecto por desarrollarse se enfoca en la implementación de un medidor inteligente de parámetros eléctricos de un sistema monofásico bifilar, con transmisión inalámbrica a una central para la Empresa Eléctrica Quito. A continuación, se describen los siguientes capítulos:

- El Capítulo I. Fundamento teórico abarca de manera general los conceptos y funcionamiento de los medidores de energía eléctrica y la Telemedición.
- En el Capítulo II llamado marco metodológico se expone como su nombre lo indica, la metodología empleada.
- El Capítulo III. Propuesta, se detallan los circuitos y conexiones empleados en el hardware. También se expone la lógica de control o software.
- En el Capítulo IV trata sobre la implementación, pruebas de funcionamiento y procesamiento de datos del medidor inteligente.

- Por último, se enuncian las conclusiones y recomendaciones del proyecto implementado.

7. Alcances

- Se investigarán todos los elementos existentes en el mercado para la disponibilidad del uso de sensores, actuadores y microcontroladores para el desarrollo de un medidor avanzado inteligente.
- Se diseñará y construirá un medidor inteligente de energía eléctrica para un sistema monofásico bifilar.
- Se desarrollará una interfaz de comunicación vía GSM para el envío de datos del medidor al computador o base central y recepción para el corte/reconexión del medidor.
- Se desarrollará una hoja de cálculo en Excel para la visualización de datos en el computador durante un periodo aproximado de 3 minutos y medio.
- Se realizará pruebas de validación del funcionamiento del medidor inteligente.

En la Figura 1.1 se observa que los clientes del sector residencial son mayoritarios con respecto a los sectores comerciales e industriales en el año 2017 (Arconel, 2019).

1.2 Mercado eléctrico Ecuatoriano

El mercado eléctrico ecuatoriano inicia el proceso de reformas en 1996 con la promulgación de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) y la puesta en marcha del mercado eléctrico en el año 1999. En la Figura 1.2 se muestra las cuatro etapas de la energía eléctrica desde la generación hasta la comercialización (Narváez & Tamay, 2013).

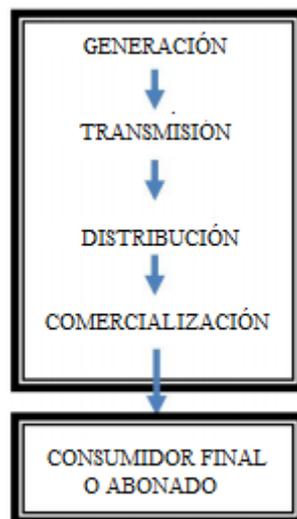


Figura. 1.2.Estructura del mercado eléctrico ecuatoriano

Fuente: (Narváez & Tamay, 2013)

La etapa de comercialización en las empresas eléctricas aborda las siguientes actividades de trabajo (Narváez & Tamay, 2013):

- Seleccionar la tarifa y el voltaje de entrega a los consumidores.
- Medir la energía eléctrica que consumen los usuarios a través de los medidores eléctricos.
- Facturar y cobrar el servicio de consumo de energía eléctrica
- Diseñar y realizar estrategias de comercialización.

En base a la tarifa y energía eléctrica consumida, el usuario final o abonado paga un valor monetario a las empresas eléctricas.

1.3 Categoría y pliego tarifario residencial

La categoría residencial está destinada al uso doméstico de los usuarios finales, donde cada consumidor no posee un alto consumo de energía frente a los abonados de los otros sectores comercial e industrial. Además, cada empresa distribuidora evalúa las características del consumo de energía eléctrica para determinar la tarifa correspondiente. Arconel establece los niveles de tensión para cada sector, donde el sector residencial ocupa el nivel de baja tensión, es decir menor a 600 voltios. Las tarifas residenciales a los consumidores se aplican bajo los siguientes aspectos (Arconel, 2019):

- Los usuarios deben pagar un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes independientemente del consumo de energía.
- Deben pagar cargos incrementales por energía en USD/kWh en función de la energía consumida.
- Si los usuarios poseen tarifa con el programa eficiente de cocción PEC, tendrán rebajas de kilovatio hora por mes consumido.
- La tarifa residencial temporal aplica a usuarios que no tengan residencia permanente y utilizan de forma puntual la energía eléctrica para usos domésticos como fines de semana, períodos de vacaciones y similares.

En la Tabla 1.1 se expone lo mencionado con valores del pago de energía eléctrica consumida y el valor por cargo de comercialización para Quito.

Tabla. 1.1. Cargos tarifarios Quito

Rango de consumo kWh	Estrato de consumo	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/Consumidor)
Categoría	Usuario Tipo		Residencial
1 – 50	E	0.091	
51 – 100	E	0.093	
101 – 150	D	0.095	
151 – 200	C	0.097	1.414
201 – 250	C	0.099	
251 – 300	B	0.101	
301 – 350	B	0.103	
351 – 500	A	0.105	
Categoría			Residencial Temporal
-		0.1285	1.414

Fuente: (Arconel, 2019)

1.4 Facturación del servicio eléctrico

El proceso de facturación del servicio eléctrico se realiza de la siguiente manera (Arconel, 2019):

- 1) La distribuidora realiza la toma de lecturas mensuales procurando emitir un total de 12 facturas al año.
- 2) La empresa distribuidora de energía debe facturar a los usuarios finales utilizando lecturas directas de consumo a excepción de los siguientes casos:
 - a. Usuarios rurales que no posean el medidor de energía instalado.
 - b. Cuando el medidor sea intervenido o esté dañado o perdido.
 - c. Que el medidor esté situado en un lugar inaccesible.
 - d. Cuando el abonado considere que el valor de factura es excesivo y haya realizado el procedimiento de facturación excesiva.
 - e. Cuando debido a la ubicación de un medidor en una zona rural y sustentado por Arconel que no se pueda tomar las lecturas de forma mensual. En este caso se realiza la toma de lecturas al menos una vez cada tres meses.
- 3) Para edificios residenciales se puede disponer de medidores totalizadores para fines de control.

- 4) La facturación se realiza en base al consumo obtenido de lecturas directas y al pliego tarifario.
- 5) La factura es entregada al consumidor por medio físico o electrónico hasta 10 días de anticipación a la fecha máxima de pago.
- 6) Cuando el cliente considere un pago excesivo debido a un consumo de energía elevado, debe presentar un reclamo a la Distribuidora hasta dentro de 10 días posteriores a la fecha de vencimiento de la factura.
- 7) Por último, se dispone de las refacturaciones cuando:
 - a. La aplicación tarifaria es errónea.
 - b. La facturación presenta una lectura incorrecta debido a un error humano o medidor defectuoso.
 - c. Si se realizó un consumo estimado a una lectura posterior y este es superior al 10% de la lectura real proporcional a 30 días.
 - d. Cuando el medidor o acometida resulte intervenido o averiado.

1.5 Medidores convencionales de energía eléctrica

La medición de energía eléctrica es el proceso más significativo dentro de la comercialización, donde la selección, operación y mantenimiento de los medidores merecen especial atención para evitar pérdidas de energía con perjuicios para las empresas distribuidoras de energía eléctrica.

1.5.1 Medidor electromecánico o de inducción

En la Figura 1.3 se muestra un medidor de inducción, formado por un núcleo de chapa magnética que está sobre las bobinas de intensidad y tensión conectados en serio y derivación. Los flujos magnéticos para ambas bobinas están en un desfase de 90 grados y actúan sobre un disco de aluminio rotatorio y este flujo hace girar al disco a una velocidad angular, la cual es proporcional a la potencia consumida. Como se observa en la Figura, se tiene la construcción del medidor en forma de vatímetro más la implementación de un contador para sacar la energía consumida (Llumiluisa & Tovar, 2011).

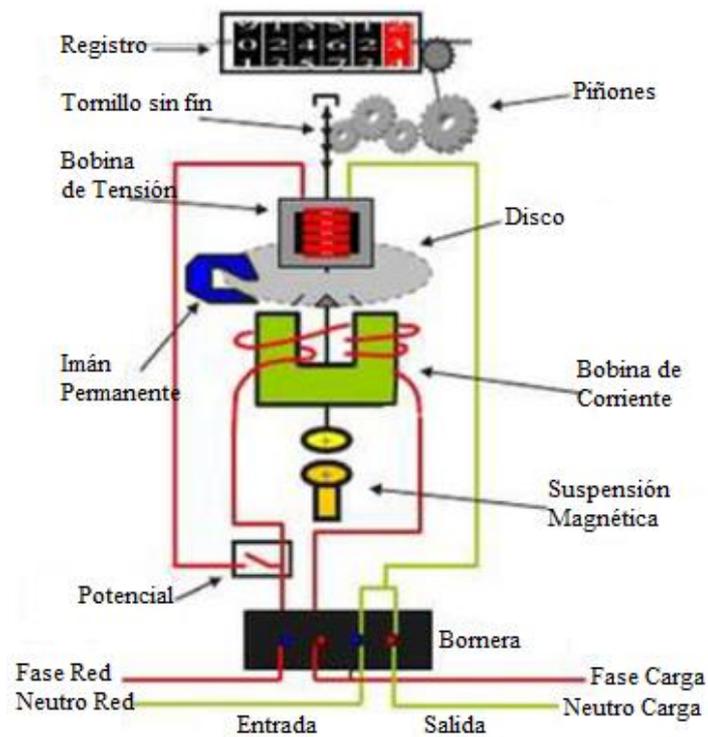


Figura. 1.3. Estructura interna de un medidor electromecánico

Fuente: (Vega E. , 2016)

En la Figura 1.4 se muestra un medidor electromecánico que contiene los siguientes elementos (Heredia, 2013):



Figura. 1.4. Medidor electromecánico bifilar

Fuente: (EEQ, 2015)

- Disco de aluminio móvil.
- Tapa principal transparente, provisto de ventanas donde se pueda visualizar el movimiento del rotor y leer la cantidad de energía registrada.

- En la parte posterior del medidor se encuentra una base donde se fijan el chasis, terminales, bornera y tapa del medidor.
- Bornera fabricada de material aislante donde se colocan los terminales fase y neutro de la red y carga.
- Placa del medidor donde indica las características como marca, número de fases e hilos, tipo, clase, diagrama de conexión, voltaje, corriente, constante kh o kd, frecuencia, año de fabricación, modelo y número de serie.
- Un registrador ubicado en la parte superior que indica la energía consumida de la vivienda.
- Chasis donde se colocan los cojinetes del rotor, registrador, elemento de freno y dispositivos de ajuste.
- Sello de seguridad colocado por la Empresa Eléctrica Quito S.A. para evitar que el medidor sea intervenido por personal no autorizado.

1.5.2 Medidores electrónicos

En la Figura 1.5 se muestra un medidor electrónico o también llamados estáticos donde actúan elementos de estado sólido (voltaje, corriente) para generar pulsos de salida la cual es proporcional a la energía consumida. El propósito de este medidor es similar al electromecánico, salvo que internamente posee otros elementos descritos a continuación (Heredia, 2013; Llumiluisa & Tovar, 2011):



Figura. 1.5. Medidor electrónico de marca STAR

Fuente: (ElectroCornejo, 2019)

- En la Figura 1.6 se muestra un circuito electrónico compuesto de un chip que evalúa los datos de voltaje y corriente en base a los convertidores A/D (análogos/digitales) y poder calcular la potencia consumida por los usuarios finales.

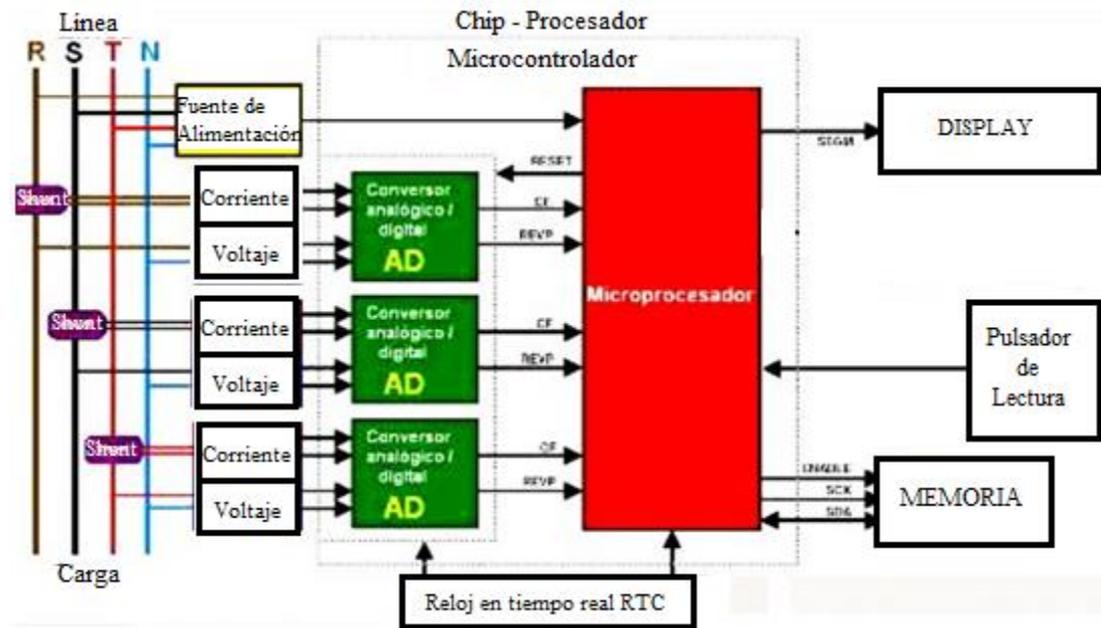


Figura. 1.6. Circuito interno del medidor electrónico trifásico

Fuente: (Vega E. , 2016)

- Una carga resistiva shunt, la cual determina la intensidad de corriente eléctrica que fluye a través de la carga.
- Posee una fuente de alimentación.
- Reloj en tiempo real utilizado para contar el tiempo real.
- Una memoria de almacenamiento de datos.
- Un registrador de tipo ciclométrico o tambor no lubricado, donde se visualiza los kilovatios hora consumidos.
- Una protección de campos magnéticos y electrostáticos como medida de seguridad al medidor en caso de que se intervenga por medio de personal no autorizado.

1.6 Medidores inteligentes

1.6.1 Antecedentes de medidores inteligentes en Ecuador

Los medidores inteligentes en Ecuador han ido implementándose desde el año 2011, gracias a la Corporación Nacional de Electricidad CNEL Regional Santa Elena y mediante la compañía Quadlogic se realizó el programa de Telemedición. Esos medidores cuentan con un sistema PLC para la transmisión de datos, tales como: lectura, facturación, cortes y reconexión por medio de la red eléctrica con el propósito de agilizar el servicio al cliente y reducir costos operacionales (Expreso, 2011).

Actualmente la Empresa Eléctrica Quito junto con el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables MERNNR y empresas eléctricas CENTROSUR, EEASA, ELEPCOSA y EMELNORTE participan en la implementación del sistema de medición avanzada AMI para clientes en sectores residenciales, comerciales, industriales y transformadores de distribución. El proyecto AMI es un sistema orientado a la gestión de demanda y generación distribuida con el propósito de mejorar tres aspectos: eficiencia energética, indicadores de confiabilidad y calidad del servicio (EEQ, 2015).

1.6.2 Arquitectura de los sistemas AMI

En la Figura 1.7 se muestra los sistemas AMI, compuestos por sensores dentro de una casa (domótica), medidores inteligentes, colectores de datos, sistema Head End, sistema de gestión de datos de medidas MDM y redes de comunicación (HAN, FAN-NAN y/o WAN). Como se indica en la Figura, las redes HAN pertenecen a las comunicaciones en el interior de un domicilio o residencia, este no es habitual en todas las soluciones de los distintos proveedores de AMI. De ahí en adelante se tiene las redes FAN-NAN que permiten la comunicación entre los medidores y colectores de datos. Luego se tiene una red WAN para comunicar los colectores con el sistema Head End, este se encarga de la configuración recolección y seguridad de datos de energía eléctrica. Por último, se tiene el sistema MDM cuya función es administrar y almacenar datos de energía eléctrica a largo plazo (Vega C. , 2017).

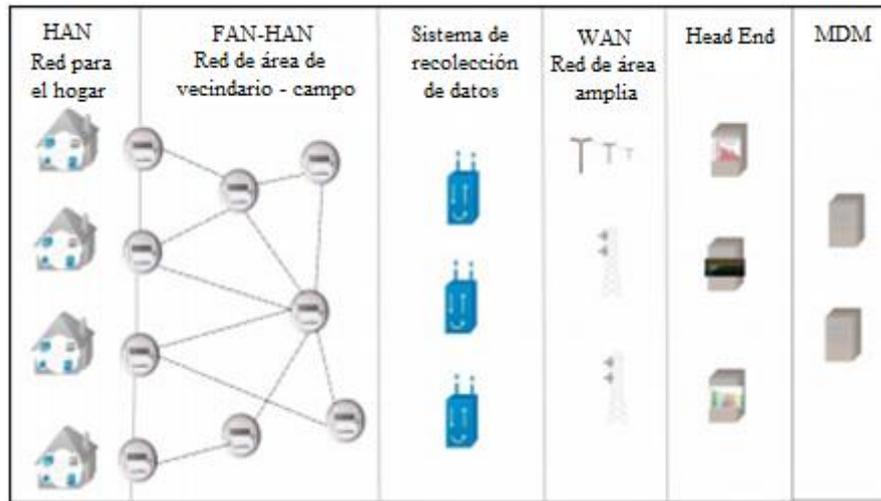


Figura. 1.7. Arquitectura de sistemas AMI

Fuente: (Vega C. , 2017)

1.6.3 Beneficios de la implementación de los medidores AMI

Tabla. 1.2. Beneficios de la instalación de medidores inteligentes

Beneficiarios	Ventajas
Consumidores	Información para gestión y calidad de la energía eléctrica
	Facturación oportuna y precisa
	Restauración rápida de fallas
Operaciones de campo	Bajo costo y reducción en toma de lectura de medidores
	Eliminación de aparatos portátiles para la toma de lecturas
	Conexión/desconexión automática de servicios
Facturación, contabilidad y protección de ingresos	Detección oportuna ante el antihurto o fallas del medidor
	Disminución de estimación en la facturación
	Reducción de errores en la facturación
Transmisión y distribución	Amplio manejo de cargas en transformadores
	Control eficiente de banco de capacitores
	Información referente a eficiencia, calidad, confiabilidad, pérdidas y distribución de carga
Mercados y pronóstico de carga	Disminución de costos para los estudios de carga
Empresa suministradora del servicio	Mejor gestión de riesgos
	Disminución de quejas por parte de los usuarios finales
	Reducción de accidentes en campo

Fuente: (Valdiosera, 2013)

Un medidor inteligente con respecto al medidor electrónico posee un componente adicional, que es el sistema de comunicaciones o Telemedición. En la Tabla 1.2 se indica una serie de ventajas de los medidores AMI con respecto a los medidores electrónicos (Valdiosera, 2013).

1.7 Fuentes de alimentación

Las fuentes de alimentación son dispositivos encargados de convertir la energía de la red eléctrica AC en corriente directa o continua, para llevar a cabo dicha conversión se necesita de ciertos elementos para rectificar y estabilizar la señal. En la Figura 1.8 se muestra los dos tipos de fuentes de alimentación, lineales y conmutadas (Nieto, 2015).

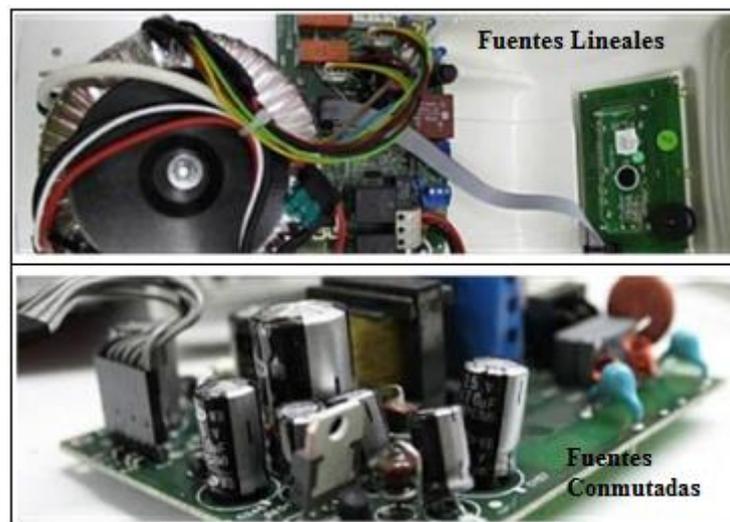


Figura. 1.8. Fuentes de alimentación

Fuente: (Nieto, 2015)

Por lo general, las fuentes de alimentación lineal se componen de transformador (opcional), rectificación con diodos, capacitores electrolíticos y estabilizadores de voltaje. Este tipo de fuentes aparte de utilizar elementos grandes, tienen grandes pérdidas de energía en el transformador, por lo que se vuelve caro y pesado. La alternativa para reemplazar este tipo de fuentes es la alimentación conmutada; básicamente se diferencian en la frecuencia de conmutación de 50/60 a más de 100 kHz (Nieto, 2015).

1.8 Dispositivos para medir magnitudes eléctricas

1.8.1 Voltaje

Voltaje se llama a la diferencia de potencial que existe entre dos puntos en un conductor, cuando existe un desequilibrio de cargas en un circuito eléctrico, aparece un voltaje diferente de cero; caso contrario el voltaje es cero. La unidad de medida es el voltio y su simbología se representa con la letra V (Torrente, 2013).

En los sistemas de medición se utilizan sensores de voltaje para determinar el nivel de tensión proveniente de la red eléctrica mediante circuitos electrónicos a fin de tener una salida leíble para el microcontrolador (Samaniego & Velesaca, 2016).

1.8.2 Corriente

Se define corriente a la cantidad de carga eléctrica que atraviesa por un material conductor, es decir, en un circuito eléctrico la corriente fluye desde el polo positivo al negativo a través del material conductor. La unidad de medida es el amperio y su simbología se representa con la letra A (Torrente, 2013).

La medición de corriente en los sistemas de energía eléctrica se realiza a través de sensores de efecto hall, shunt, transformador de corriente TC y bobina de Rogowski (Chamba, 2014).

- Los transformadores de corriente “TC” utilizan la conversión de una alta a baja corriente. Además, son elementos pasivos que no requieren de algún control, tienen la capacidad de medir altas corrientes y consumir poca potencia. Sin embargo, debido al transformador puede haber pérdidas de energía (Chamba, 2014).
- La bobina Rogowski mide los cambios de campo magnético a través del conductor para producir una diferencia de potencial, es decir, utiliza un transductor para la medición de corriente alterna o pulsos rápidos (Chamba, 2014).

- En la Figura 1.9 se muestra un sensor de pinza amperométrica de efecto hall, es utilizado para medir la intensidad de corriente que circula por un cable debido al campo magnético que se genera (Samaniego & Velesaca, 2016).



Figura. 1.9. Sensores de efecto hall

Fuente: (Samaniego & Velesaca, 2016)

- El sensor shunt de corriente consisten en una resistencia la cual proporciona una medición directa y precisa de la intensidad de corriente, aunque no posee un aislamiento galvánico. Una aplicación típica de este sensor es para la medición de corriente en la red eléctrica para luego calcular la potencia. En la Figura 1.10 se muestra un acondicionamiento del sensor shunt de corriente (Mayné, 2003).

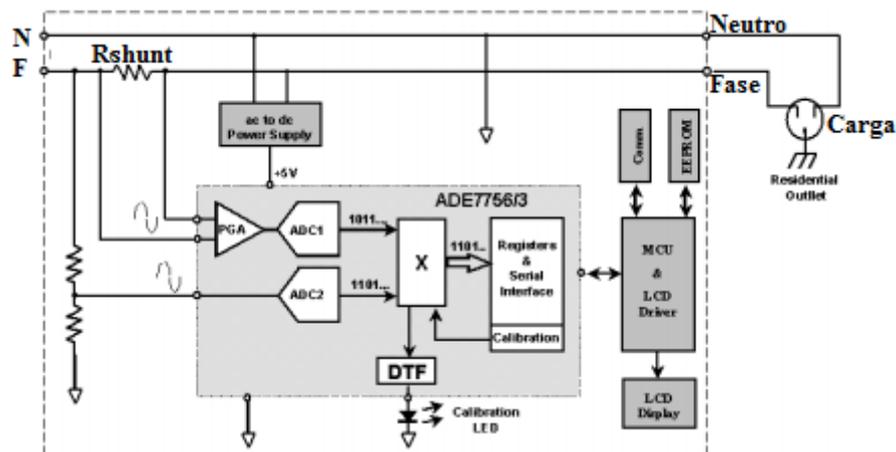


Figura. 1.10. Acondicionamiento del sensor shunt

Fuente: (Mayné, 2003)

1.8.3 Potencia y energía

La potencia eléctrica “P” se refiere a la energía consumida o generada “E” en un intervalo de tiempo “s”; partiendo de la Ecuación 1, se determina la potencia (Torrente, 2013).

$$P = \frac{E}{t} \left[\frac{J}{s} \text{ o } W \right] \quad (1)$$

Donde:

- P es la potencia eléctrica expresado en vatios W o en julios/segundo (J/s)
- E es la energía eléctrica expresada en Julios (J).
- t es el tiempo expresado en segundos (s).

Otra forma de determinar la potencia consumida en un circuito eléctrico es conociendo factores como el voltaje y corriente, tal como se indica en la Ecuación 2 (Torrente, 2013).

$$P = V * I [W] \quad (2)$$

Donde:

- V es el voltaje al que está sometido en el circuito eléctrico.
- I es la corriente expresada en amperios.

Gracias a la ecuación 1, se puede determinar la energía eléctrica generada “E”, es decir, cuando un dispositivo eléctrico está operando genera un consumo de energía eléctrica en función de la potencia y el tiempo. Por tal razón, el consumo de energía eléctrica viene dado en kilovatio - hora (Torrente, 2013).

1.9 Microcontroladores

El microcontrolador es un chip o circuito integrado programable, es decir, tiene la capacidad de generar un conjunto de instrucciones previamente definidas por el programador. En otras

palabras, el microcontrolador es el componente principal para procesamiento y control de un sistema electrónico, tal como se muestra en la Figura 1.11 (Torrente, 2013).

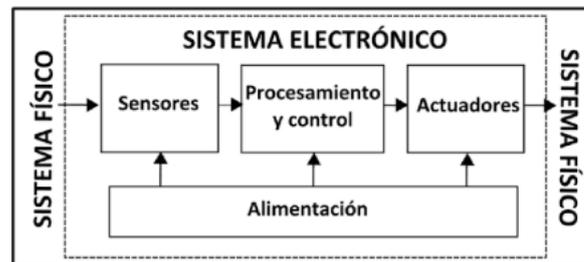


Figura. 1.11. Procesamiento y control de un sistema electrónico

Fuente: (Torrente, 2013)

Existen diversos modelos de microcontroladores, los cuales ofrecen funcionalidades similares tales como: puertos de entrada y salida, pines analógicos/digitales, modulación PWM, timers, tipos de memoria, protocolos de comunicación, entre otros. En la actualidad, se dispone de placas llamadas Arduino, estas internamente poseen un microcontrolador Atmega. Además, ofrecen una fácil interacción y programación con el resto de los componentes electrónicos cuyas ventajas son (Torrente, 2013):

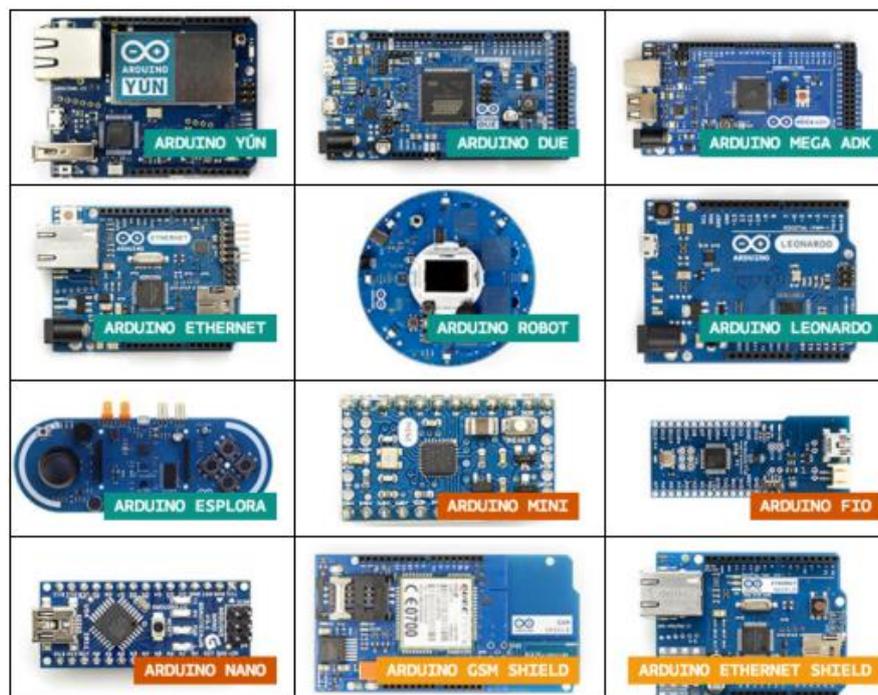


Figura. 1.12. Tipos de Arduino

Fuente: (Penalva, 2016)

- Arduino es extensible y libre en el sentido de mejorar las librerías en la programación y en el diseño hardware de las placas, tal como se muestra en la Figura 1.12.
- Arduino es una plataforma enriquecida de información, por lo que es multiplataforma ya que puede operar en sistemas Windows, Linux y Mac OS.
- El lenguaje de programación es claro y simple.
- Son placas de bajo costo, versátiles y reutilizables.

1.10 Redes de comunicación

Las redes de comunicación son extensas ya que poseen opciones alámbricas e inalámbricas dentro de la rama HAN, NAN y/o WAN. Como el objeto de estudio se basa en la construcción desde el medidor hasta los centros de información de las empresas eléctricas, se va a abordar sobre las redes NAN y WAN. En la Tabla 1.3 se observa algunas características generales de las redes NAN y WAN tales como: distancias, tecnologías potenciales y requerimientos de tasa en la transmisión de datos.

Tabla. 1.3. Características de redes NAN y WAN

Características	Red NAN	Red WAN
Distancia	Hasta 100 metros	Hasta 10 kilómetros
Transmisión de datos	2 kbps	100 Mbps – 10 Gbps
Tecnologías potenciales	Zigbee	Fibra óptica
	Wifi	Tecnologías de segunda generación
	Radioenlaces	Tecnologías de tercera generación
	GPRS	Tecnologías de cuarta generación
	PLC	

Fuente: (Gaona, Rodríguez, & Rojas, 2014)

1.10.1 Red Zigbee

La red zigbee utiliza el protocolo IEEE 802.15.4 para definir la capa física y control de acceso para las redes inalámbricas con baja transferencia de datos. Mediante el protocolo de la IEEE permite realizar conexiones en malla, árbol agrupado y estrella para la comunicación entre dispositivos. Además, Zigbee posee las siguientes características (Ruíz, 2015):

- Posee un rango de frecuencias de 2.4 GHz.
- Al aire libre tiene una capacidad de hasta 100 metros y en interiores hasta 10 metros para la transmisión de datos.
- Protocolo completo y fiable.
- Incluye funcionalidades de seguridad como gestión de claves, encriptación e integridad.
- El único problema es la interferencia electromagnética que se pueda dar hacia redes wifi existente.

La conexión zigbee se realiza a través de tres elementos: coordinador, router y dispositivo final. En la Figura 1.13 se muestra los tres elementos de una red Zigbee: coordinador, router y dispositivo final (Moreno & Ruíz, 2007).

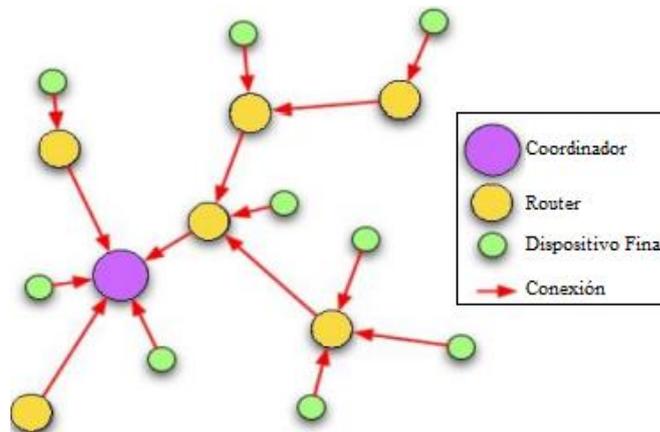


Figura. 1.13. Red Zigbee

Fuente: (Moreno & Ruíz, 2007)

Donde:

- **Coordinador:** como su nombre lo indica es el coordinador de la red. Además, solo puede haber uno por red y desde el coordinador se reparte hacia el resto de los dispositivos finales y routers.
- **El router** se asocia con el coordinador de la red u otro router de zigbee, también puede actuar como coordinador. Además, realiza el enrutamiento de saltos múltiples de los mensajes.
- Por último, se tiene el dispositivo final.

1.10.2 Red Wifi

La red Wifi está basada en el estándar IEEE 802.11 para la formación de redes inalámbricas de banda ancha. En la actualidad, se le conoce como puntos de conexión que se encuentra en diferentes lugares del mundo, tales como universidades, bibliotecas, cibercafés, etc. Además, Wifi posee las siguientes características: (León, 2008)

- Brinda una conexión de alta velocidad a Internet y cualquier empresa puede llevar estas redes “al aire” sin permiso de la Comisión Federal de Comunicaciones FCC.
- Existen 11 canales y sus frecuencias centrales separados por 5 MHz con el ancho de banda de cada canal de 20 MHz.
- En la Tabla 1.4, se observa los estándares de la red WiFi.

Tabla. 1.4. Estándares para WiFi

Elemento	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Banda en GHz	5	2.4	2.4	2.4
Máxima velocidad de datos en Mb/s	54	11	54	120
Modulación	OFDM	DSSS	OFDM	DSSS y OFDM
Ancho de Banda en MHz	20	20	20	20
Diversidad	Ninguna	Ninguna	Ninguna	MIMO
Rango máximo en metros	152	152	152	457
Compatible con	-	802.11a	802.11b	802.11b, 802.11g

Fuente: (León, 2008)

- El estándar 802.11a opera en la banda de 5 GHz y no se ve afectado por interferencias (celulares, etc.). El rango es limitado ya que existe atenuación debido a las paredes de edificios.
- El estándar 802.11b, utiliza una banda de 2.4 GHz a una velocidad máxima de 11 Mb/s.
- El estándar 802.11g posee una velocidad de 54 Mb/s y en modo de respaldo opera como el estándar 802.11b. En muchos sistemas WiFi se usa la modulación OFDM ya que es resistente al desvanecimiento.

- El estándar 802.11n utiliza la tecnología MIMO, quiere decir, utiliza múltiples antenas, transmisores, receptores para suministrar una velocidad de datos y rango mejorados.

Donde: DSSS es el espectro ensanchado de secuencia directa, MIMO representa las múltiples entradas, múltiples salidas y OFDM es la modulación ortogonal por división de frecuencia.

1.10.3 Radioenlaces

El radioenlace consiste en la comunicación de equipos usando ondas electromagnéticas, el enlace de comunicación es similar a los microcontroladores ya que poseen un transmisor de radio TX y un receptor RX, salvo que estos dos equipos poseen antenas. En la Tabla 1.5, se establecen radioenlaces con/sin licencias (RalcoNetworks, 2018).

Tabla. 1.5. Radioenlaces

Características de Radioenlaces	Sin licencia	Con licencia
Banda de frecuencia en GHz	2.4	6 y 42
Estándar	802.11b/g	-
Transmisión de velocidad máxima en Mbps	54	800
Distancia máxima en kilómetros	30	30

Fuente: (RalcoNetworks, 2018)

1.10.4 Ethernet

Es un potente estándar de transmisión y recepción de datos, que combinado con otros protocolos puede crear una red completa. Además, posee las siguientes características (Hurtado, 2012)

- Antes de comenzar la transmisión de datos, se debe asegurar que el medio está disponible.
- Utiliza el protocolo TCP/IP para la transmisión de datos.

- Garantiza la confiabilidad e integridad de la red utilizando medidas como: seguridad, control de acceso, autenticación, seguridad en la conectividad y administración.

1.10.5 Tecnologías para sistemas de telefonía celular

GSM tiene como objetivo ser eficiente y tener amplia cobertura. Es un estándar de segunda generación y posee características vistas en la Tabla 1.6 (Camargo, 2009).

Tabla. 1.6. Características GSM

Características	Descripción o Unidad de Medida
Transferencia de datos	9.6 kb/s
Bandas	Con licencia
Área de cobertura	Limitada
Velocidad	200 km/h
Zonas de espectro	900/1800 MHz

Fuente: (Camargo, 2009)

UMTS es tecnología de tercera generación. Tiene como objetivo la obtención de una conexión a alta velocidad y abrir la telefonía móvil al campo de las aplicaciones multimedia. En la Tabla 1.7 se dispone de las siguientes características (Camargo, 2009):

Tabla. 1.7. Características UMTS

Características	Descripción o Unidad de Medida
Tecnología de espectro	CDMA
Velocidad de transmisión	144 kb/s a 2 Mb/s
Banda de frecuencia	2 GHz

Fuente: (Camargo, 2009)

GPRS estándar que está entre la segunda y tercera generación, se caracteriza por ser compatible con GSM, utiliza sus paquetes para la red de conmutación excepto cuando se requiera adicionar una estructura paralela por donde circula el tráfico de datos. Para aquella estructura ocupa tecnologías UMTS. Este estándar permite obtener velocidades que oscilan entre los 54 a 172 kb/s (Camargo, 2009).

La Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas o Wi-Max es una red de área metropolitana inalámbrica que pertenece a la cuarta generación en tecnología de comunicaciones que poseen las siguientes características (León, 2008):

- Es similar al sistema de telefonía celular, excepto que se utiliza estrictamente para la transmisión de datos y se conecta a Internet.
- Las antenas se colocan en ubicaciones altas, como techo de edificios o torres.
- Puede operar como servicio con/sin licencia, es decir, que el operador puede debe adquirir espacio espectral y adquirir o no la licencia. En la Tabla 1.8, se visualiza las características para los dos tipos de servicios.
- Para los dos servicios, se requiere de instalación profesional ya que se deben seleccionar el tipo de antenas y ubicación de ellas, para obtener el área de cobertura deseada.
- El servicio sin licencia tiene como ventaja, que la instalación es más rápida y un bajo costo. En cambio, el servicio con licencia tiene menor atenuación a causa de edificios, es decir, mejor recepción de NLOS (sin línea de vista) y menor interferencia.

Tabla. 1.8. Estándares para Wi-Max

Elemento	Servicio con licencia	Servicio sin licencia
Banda en GHz	2.5	5.5
Frecuencias en MHz	2.5 a 2.69	5.25 a 5.58
Ancho de banda de canal en MHz	20 a 40	20 a 40
Adquisición de espacio espectral	Sí	No
Potencia de salida en vatios W	Hasta de 20 W	4 W
Rango en kilómetros km	48	16
Modulación	OFDM	OFDM
Canales vía dual	FDD	TDD
Tasa de datos máximo en Mb/s	108	108

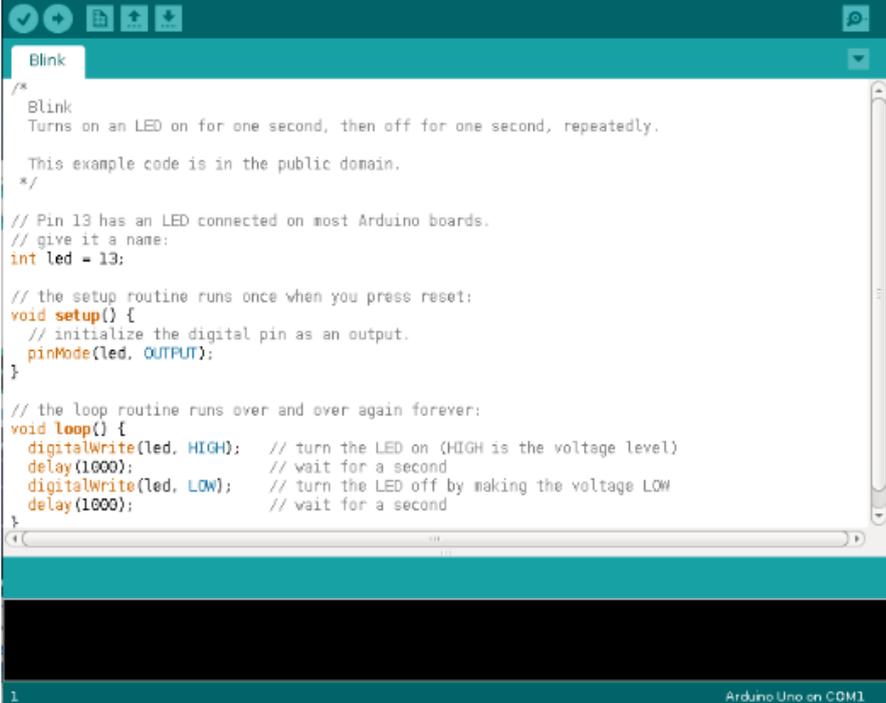
Fuente: (León, 2008)

Donde: FDD es la duplexión por división de frecuencia. Requiere de dos canales de frecuencia, uno de subida y otro para el de bajada y la sigla TDD es la duplexión por división de tiempo. Necesita de un canal de frecuencia y dos ranuras de tiempo, para el enlace de subida y bajada.

1.11 Lenguajes de programación

1.11.1 Arduino IDE

Arduino IDE es un lenguaje de programación basado en el entorno de Processing y fundamentado en Wiring cuya meta es ayudar al desarrollo de las placas Arduino. Como se ha mencionado en el apartado 1.9, su lenguaje de programación es de código abierto, esto permite incluir librerías para nuestras necesidades. En la Figura 1.14 se muestra una pantalla del entorno de programación Arduino IDE (Penalva, 2016).



```
/*
 * Blink
 * Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
 *
 * This example code is in the public domain.
 */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);             // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);  // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);             // wait for a second
}
```

Figura. 1.14. Arduino IDE

Fuente: (Penalva, 2016)

1.11.2 Visual Basic

Visual Basic es un lenguaje de programación orientado a aplicaciones orientadas a objetos, es decir, permite a los programadores desarrollar aplicaciones con dispositivos móviles, Windows y web. Además, es un programa que ofrece una manera sencilla y rápida a la hora de crear aplicaciones basadas en .net Framework (Microsoft, 2019).

En la Figura 1.15 se muestra la pantalla IDE de Visual Basic compuesto de algunas ventanas como: formulario, explorador de soluciones y propiedades; similar a otros lenguajes de programación. Por último, Visual Basic permite codificar diferentes lenguajes, tales como: C, C++, F#, Java, JavaScript y Python. (Vitutor, 2008).

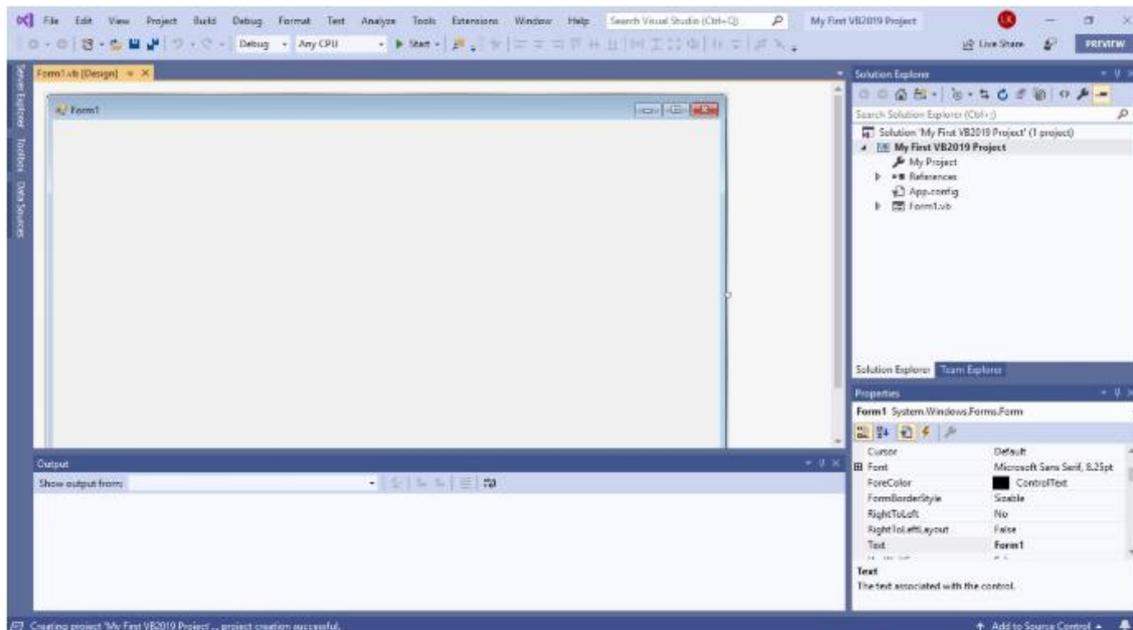


Figura. 1.15. Visual Basic IDE

Fuente: (Vitutor, 2008)

1.12 Contrastación del sistema de medición

El contraste que se realiza en los medidores eléctricos es un proceso que ayuda a determinar los errores de un sistema de medición con referencia a un sistema patrón. Ante una previa selección de los contadores de energía eléctrica se debe tomar los criterios en el siguiente orden (Dammert & Quintanilla, 2010):

- 1) Año de fabricación del contador de energía eléctrica. En caso de realizar la contrastación, cada medidor deberá poseer una vigencia no mayor a treinta años.
- 2) Fecha de la última contrastación.
- 3) Modelo y marca del medidor.

El procedimiento para realizar la contrastación en medidores de clase 1, 2 y especiales en el campo son (Cruz, 2008):

- Conectar el equipo de verificación portátil y seleccionar la señal de voltaje, ángulo de desplazamiento, constante y señales de corriente.
- Verificación de fugas a tierra y marcha en vacío.
- Toma de datos de prueba del voltaje, corriente, constante, tiempo de duración de la prueba real, potencia, pulsos o número de giros, tiempo de duración, porcentaje de error promedio expresado en porcentaje y marcha en vacío.

La potencia real o medida del contador de energía eléctrica viene dado por la Ecuación 3. Donde: R representa los pulsos o giros del medidor, kh o kd es una característica de fábrica del medidor expresado por el inversor de los impulsos sobre kilovatio hora. Por último, se tiene el tiempo transcurrido denominado con la letra S en segundos (Intriago, Ramírez, & Veloz, 2004).

$$P_{med} [W] = \frac{3600 * R * kh}{s} \quad (3)$$

En la Figura 1.16 se observa la medición de los parámetros de corriente y voltaje para un medidor monofásico de dos hilos (Kessler, 2007).

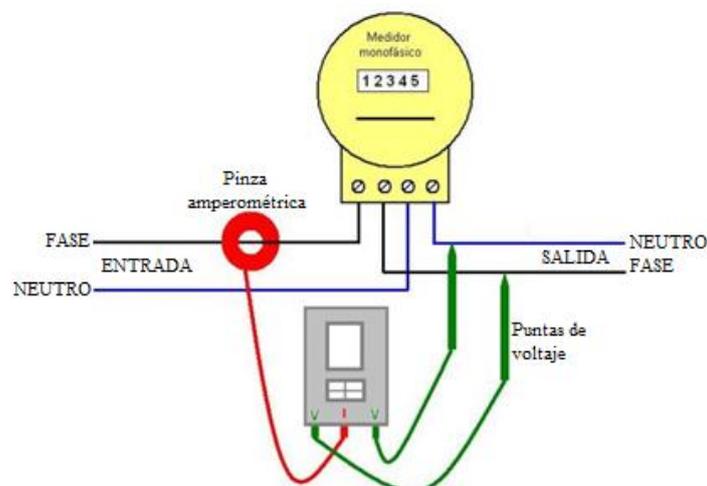


Figura. 1.16 Medición de parámetros del medidor monofásico

Fuente: (Kessler, 2007)

1.13 Normativa aplicada

Las normas se utilizan para establecer la idoneidad del producto o sistema mediante organismos de normalización como la Comisión Electrotécnica Internacional IEC, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE, Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet IETF, Instituto Americano de Estándares Nacionales ANSI y la Corporación Norteamericana de Fiabilidad Eléctrica NERC. A continuación, en la Tabla 1.9 se establecen la descripción de la normativa orientadas al entorno de los medidores inteligentes (Aldas, 2015).

Tabla. 1.9. Normativas para medidores inteligentes

Organismo	Descripción	Estándar	Aplicación
IEC	Estándar para tecnologías eléctricas/electrónicas y comunicación para la industria de la energía	IEC 61968	Distribución de energía e interfaces para transferencia con red AMI
		IEC TC 13 y 57	Comunicación y medición en la red AMI
IEEE	Estándar para tecnologías eléctricas/electrónicas, comunicaciones e interoperabilidad	IEEE 802.3	Ethernet
		IEEE 802.11	WiFi
		IEEE 802.15.4	Zigbee
		IEEE 802.16	Wimax
IETF	Estándar de internet, difusión de pedidos de comentarios y documentos	RFC 791	Protocolo de internet IP
		RFC 793	Protocolo de control de transporte TCP
		RFC 1945	Protocolo de transferencia de hipertexto HTTP
		RFC 2571	Protocolo simple de manejo de red SNMP
		RFC 3820	Internet X.509 Infraestructura de clave pública para seguridad PKI
ANSI	Estándar para la interoperabilidad de los sistemas AMI	ANSI C12.19	Tablas de medición internas al medidor
		ANSI C12.22	Comunicaciones para las tablas de medición
NERC	Normas de seguridad para la red eléctrica y AMI	NERC CIP 002-009	Perímetros de seguridad electrónicos

Fuente: (Aldas, 2015)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

La mayoría de los investigadores aplican diferentes metodologías ante un problema real, por lo tanto, luego haber definido el problema y objetivos para el presente proyecto se aplica una o varias metodologías de investigación según los siguientes aspectos como el contraste con la realidad y los enfoques de la investigación (cualitativa, cuantitativa y mixto).

2.1 Investigación según el contraste con la realidad

La investigación empírica busca solucionar problemas de la recolección y análisis de datos de la realidad en base a la experimentación u observación, sin que se le considere como la única fuente de conocimiento. Mientras que la investigación no empírica no recurre a datos de la realidad para la resolución de problemas planteados (Lara, 2013).

Para el presente proyecto se realiza una investigación empírica debido a que los parámetros eléctricos como voltaje y corriente son calculados en base a sensores y circuitos de acondicionamiento para la toma de lecturas. Y la investigación no empírica se refiere al diseño electrónico sin recurrir a la experimentación.

2.2 Enfoques de la investigación

En la Figura 2.1 se observa un estudio de las investigaciones cualitativas, cuantitativas y mixtas, las mismas que han sido herramientas fundamentales para el desarrollo de las ciencias (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

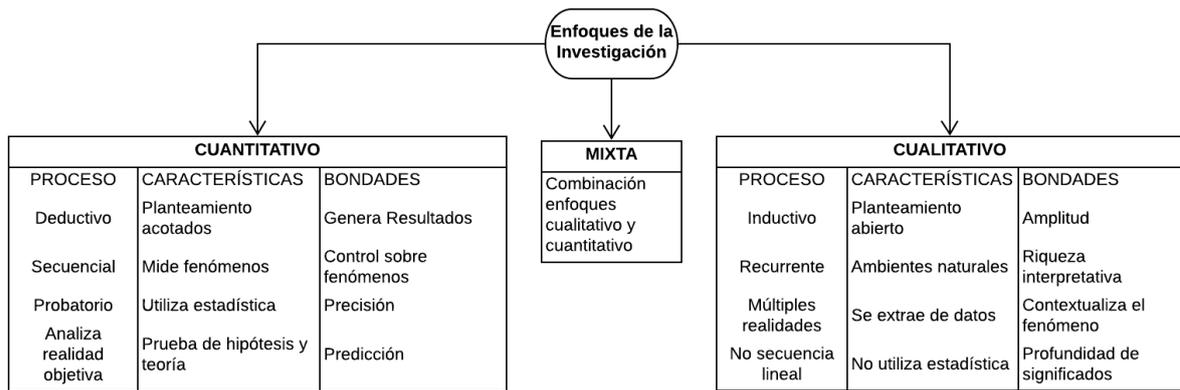


Figura. 2.1. Enfoques de la Investigación

Fuente: (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)

2.2.1 Proceso deductivo

Las hipótesis se contrastan con la realidad para obtener favorabilidad o rechazo en un contexto determinado en el proceso deductivo cuantitativo, es decir, va de lo general a lo particular. El razonamiento deductivo parte de la teoría y de esta se derivan las hipótesis que el investigador somete a pruebas experimentales y no experimentales (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

El diseño experimental se basa en administrar estímulos, tratamientos y/o intervenciones, para ello se estudian tres casos experimentos (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014):

- Pre-experimentos donde se tiene un grado de control mínimo.
- Cuasiexperimentos implica grupos intactos.
- Experimentos puros que se realizan mediante la manipulación y medición de variables.

El diseño no experimental se basa en la recolección de datos en un único momento y analiza cambios a través del tiempo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

El proceso deductivo utiliza principios, características técnicas y ecuaciones para determinar el funcionamiento de cada dispositivo electrónico empleado y recurre a los diseños experimentales puros para la medición de voltaje y corriente de la red eléctrica.

2.2.2 Procesos secuencial y probatorio

El proceso cuantitativo es secuencial y probatorio ya que para cada etapa del proyecto se rige en un orden establecido, teniendo la opción de redefinir alguna fase. Los pasos por seguir en estos procesos son (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014):

- Crear la idea desde una perspectiva científica cuantitativa (tema del proyecto) y conocer las fuentes bibliográficas posibles.
- Planteamiento del problema, visto en el apartado de la Introducción.
- Revisión de la literatura y desarrollo del fundamento teórico.
- Visualización del alcance del estudio, es decir, definir la metodología a emplear y estimar el alcance final de la investigación.
- Elaboración de hipótesis y definición de variables.
- Desarrollo del diseño de investigación, aplicando métodos bibliográficos y experimentales.
- Análisis, recolección de datos y elaboración del reporte de resultados

En base al proyecto planteado, inicia desde la introducción hasta las conclusiones y recomendaciones.

2.2.3 Proceso que analiza la realidad objetiva

Para analizar la realidad objetiva, primero se debe conocer la realidad del fenómeno y los eventos que la rodean a través de sus manifestaciones físicas, es decir, se analiza el porqué de las cosas, luego registrar y analizar los eventos dados. Por tanto, en este proceso se trata de demostrar que tan bien se acerca el conocimiento a la realidad (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

En el proyecto para determinar el consumo eléctrico, primero se determina los parámetros que influyen en el cálculo, es decir, conocer magnitudes de voltaje, corriente y tiempo transcurrido sobre la carga. Luego mediante el uso de dispositivos electrónicos determinar la precisión de las señales para obtener medidas fiables a la energía eléctrica consumida.

2.2.4 Proceso inductivo

En el proceso inductivo se explora, describe y luego genera perspectivas teóricas, es decir, van de lo particular a lo general, es un proceso inverso al proceso deductivo. La recolección de información se basa en experiencias, revisión de teorías sobre ciertos factores, entrevistas, encuestas y observación (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Se utiliza el proceso deductivo para el estudio de los elementos electrónicos y de comunicación, los cuales representan un aporte a la realización del proyecto.

2.2.5 Proceso recurrente

El análisis cualitativo es recurrente ya que mediante la recolección y análisis de datos se busca obtener información y conocimiento del fenómeno estudiado (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Para el presente proyecto de investigación, la recolección de datos se realiza mediante la extracción de información en base a documentos, registros bibliográficos, revistas y fuentes de origen web.

2.3 Metodología de trabajo

La metodología de trabajo se define en cinco pasos, tales como: investigación, diagnóstico, estrategia, ejecución y evaluación, los cuales ayudan a lograr una gestión de reputación asertiva (Lara, 2013).

- **Investigación:** se analiza de manera profunda toda la información disponible para el desarrollo del proyecto. En este caso, se complementa con el capítulo 1, que describen toda la información necesaria de lo que compone un medidor inteligente.
- **Diagnóstico:** mediante la información recogida se determina los factores que puedan darse para el problemática o puntos críticos en la realización del trabajo. En este punto, se abarca el planteamiento del problema.

- Estrategia: esta tercera fase se establecen los objetivos y alcances del proyecto, es decir, se establecen los pasos necesarios para tener el medidor inteligente deseado.
- Ejecución: como su nombre lo indica, se ejecuta el proyecto. En este proyecto, se establecen la propuesta e implementación.
- Evaluación: por último, se tiene la evaluación donde se realiza los ajustes y calibración necesaria para el desarrollo final del proyecto. Para este proyecto, se determina mediante un análisis de comparación de los parámetros de voltaje y corriente del medidor inteligente.

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA

3.1 Descripción general del proyecto

El presente proyecto abarca un diseño del medidor inteligente para un sistema monofásico bifilar, donde parámetros como el voltaje, corriente y tiempo son enviados por medio de la transmisión inalámbrica de datos a una central de la Empresa Eléctrica Quito para monitoreo y control del consumo de energía eléctrica.

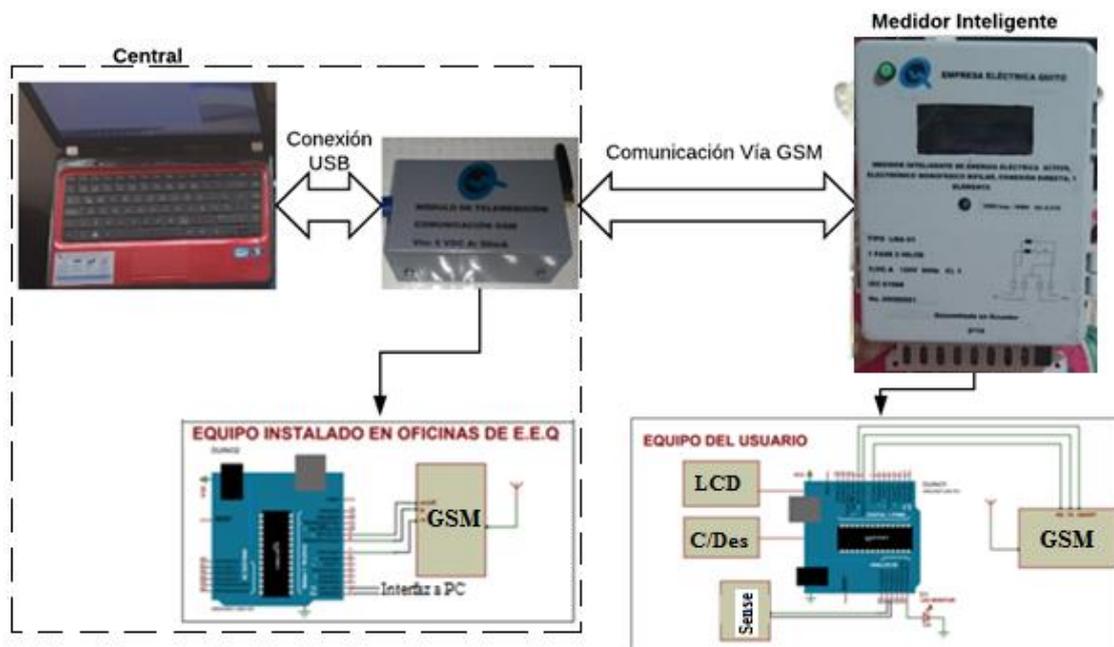


Figura. 3.1. Estructura general del Sistema

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3.1 se muestra una serie de bloques que representan el sistema en general, donde cada bloque representa las siguientes funciones:

- Equipo del Usuario (Medidor Inteligente)

- Posee una placa Arduino Uno para recepción y envío de información. Además, tiene la capacidad de realizar la conexión y desconexión del medidor dependiendo de las decisiones de la central.
- Dispone de un bloque para la medición de parámetros de voltaje y corriente, con el propósito de que el microcontrolador reciba esas señales y las convierta a energía consumida expresada en kilovatio hora, tal como se indica en la Figura 3.2.

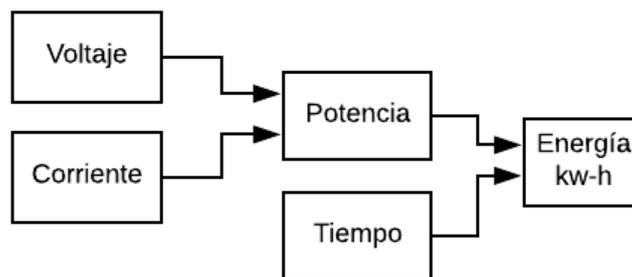


Figura. 3.2. Energía Consumida

Fuente: Elaboración Propia

- Posee un LED indicador de corriente en función de la frecuencia de pulso, es decir, a mayor corriente, tendrá mayores pulsaciones.
 - Se dispone de un módulo GSM SIM900 para enviar los datos de voltaje, corriente y energía a una central mediante mensajes de texto SMS. Estos parámetros son enviados cada cierto intervalo de tiempo.
 - Por último, se dispone de una pantalla LCD para visualizar los parámetros de medición.
- Equipo instalado en oficinas de E.E.Q. (Base central)
 - Se tiene otra placa Arduino Uno y un shield GSM SIM900 para recepción de los datos del bloque anterior, estos son subidos al computador donde se tiene un software realizado en Visual Basic que establece la comunicación con el programa Excel para el traslado de datos.
 - Otra función que posee es tomar la orden de conexión y desconexión del medidor, a fin de brindar o quitar la energía eléctrica a los clientes finales.

En cuanto se refiere al hardware, tanto la unidad central de recepción de datos como el medidor inteligente utilizan elementos en común, tales como: plataforma Arduino uno y shield GSM SIM900. Por lo tanto, el diseño se va a referir a los componentes del medidor inteligente.

3.2 Diseño del medidor inteligente

El medidor inteligente está compuesto por sensores de voltaje y corriente, circuito para la conexión/desconexión del medidor, pantalla de visualización LCD, LED indicador, módulo GSM, un microcontrolador (cerebro del equipo) y una fuente de alimentación para los circuitos electrónicos, tal como se indica en la Figura 3.3.

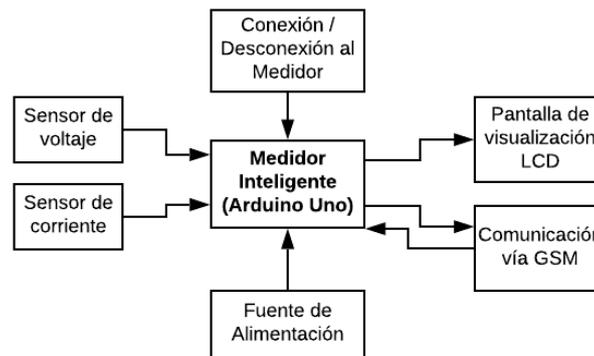


Figura. 3.3. Diagrama de bloques del medidor inteligente

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Diseño del sensor de voltaje

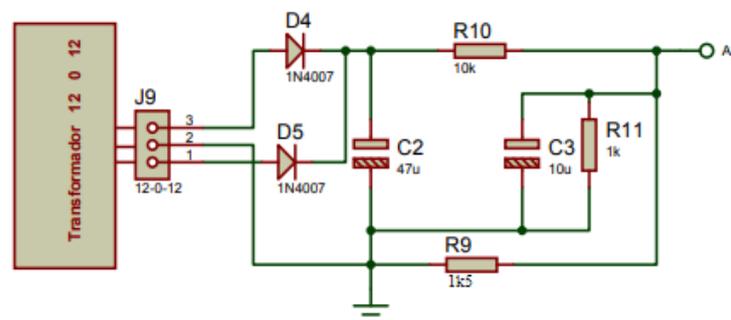


Figura. 3.4. Acondicionamiento para la medición de voltaje

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 3.4 se muestra un circuito cuya función es convertir el voltaje alterno AC en voltaje continuo DC, este voltaje de salida es conectado al pin análogo “A2” del Arduino Uno.

Un conversor lineal AC/DC puede contener los siguientes elementos: transformador, puente rectificador, filtro capacitivo y regulador, tal como se indica en la Figura 3.5 (MCBtec, 2015). El regulador no es necesario para la medición de voltaje, por lo que no se toma en cuenta en el diseño aplicado. Cada etapa representa las siguientes funciones:

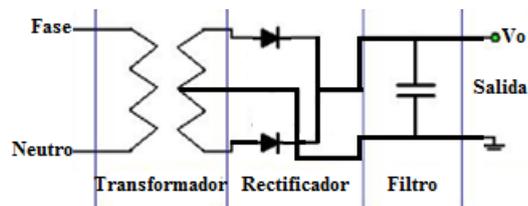


Figura. 3.5 Fuente AC/DC lineal básica

Fuente: (MCBtec, 2015)

- En la Figura 3.6 se muestra el transformador utilizado de características de voltaje y corriente: 115/12 VAC de entrada y salida, respectivamente a 300 miliamperios. Además, cuenta con una derivación central (Steren, 2019).

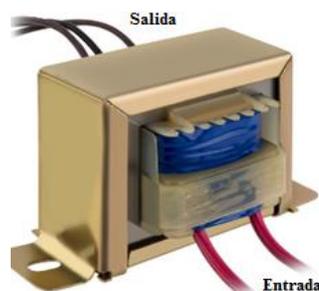


Figura. 3.6. Transformador con derivación central

Fuente: (Steren, 2019)

En la Figura 3.7 se indica la conexión del transformador con toma central con sus respectivos voltajes RMS (115/24V) y eficaz, visto en la Ecuación 4 (Coughlin & Discoll, 2006).

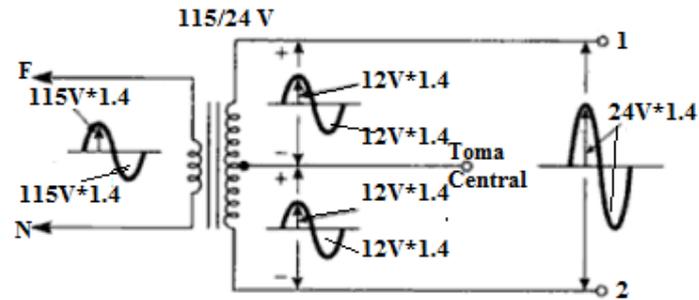


Figura. 3.7. Conexión del transformador para diseño

Fuente: (Coughlin & Discoll, 2006)

$$V_{eficaz} = \sqrt{2} * V_{rms} \quad (4)$$

- Como se observa en la Figura 3.5 se tiene un bloque rectificador conformado de dos diodos. El propósito de esta configuración es obtener un voltaje alterno rectificado, tal como se indica en la Figura 3.8 (MCBtec, 2015). Los diodos utilizados para esta configuración es de numeración 1N4007 que soporta hasta 1000V y 1A (Alldatasheet, 2019).

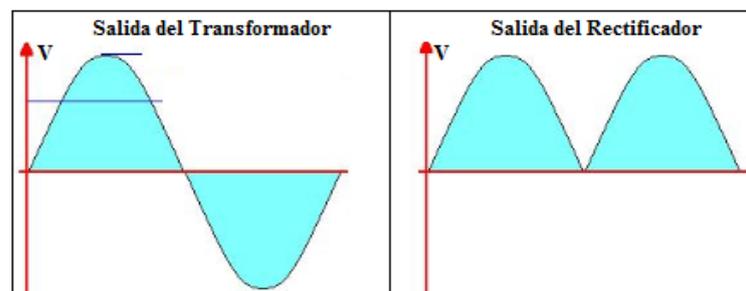


Figura. 3.8. Voltaje rectificado positivo

Fuente: (MCBtec, 2015)

- En la Figura 3.9 se muestra la señal filtrada, es decir, se convierte en señal continua con un pequeño rizado de voltaje, donde se determina el valor del capacitor, visto en la Ecuación 5 (MCBtec, 2015).

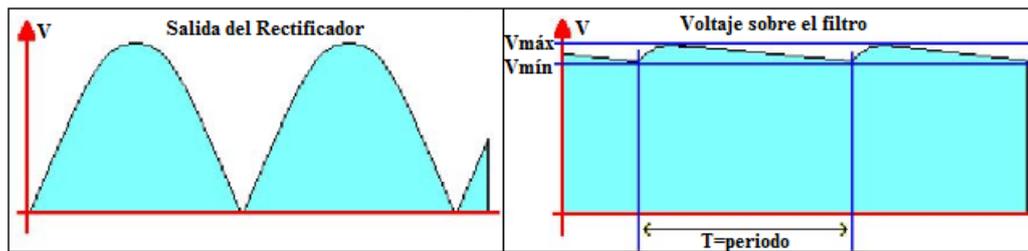


Figura. 3.9. Voltaje rectificado positivo

Fuente: (MCBtec, 2015)

$$C_2 = \frac{I_{máx} * T}{V_{máx} - V_{mín}} \quad (5)$$

Donde:

- C_2 es el capacitor del filtro.
- $V_{máx}$ es el valor máximo de voltaje y equivale al valor eficaz del secundario del transformador (Ecuación 4).
- $V_{mín}$ es el valor mínimo que depende del rizado de la fuente; para ello se asume un rizado de 6V.
- $I_{máx}$ representa la corriente máxima que depende de la corriente del secundario del transformador. En este caso, se opta por escoger un valor de $0.01 * I_{máx}$.
- T es el periodo de la señal y equivale a 83.33 ms a una frecuencia de 120 Hz. Se asume un rizado de 4 V.

$$C_2 = \frac{0.003A * 83.33ms}{(24 - 20) * \sqrt{2}} = 44.2uF \rightarrow C_2 = 47 uF$$

- Por último, en la Figura 3.10 se tiene la carga que se expresa como un divisor de voltaje, para que este sea leído por el Arduino Uno. El voltaje medio se resuelve con los valores máximo y mínimo determinado anteriormente, dando como resultado 22 V. Además, se coloca un capacitor de 10 uF que actúa como filtro a la salida para eliminar ruido. Por último, para el diseño se debe tener en cuenta que el voltaje de salida no debe ser superior a los 5 V que soporta el pin del Arduino Uno; por lo tanto, el voltaje A2 se determina con la Ecuación 6.

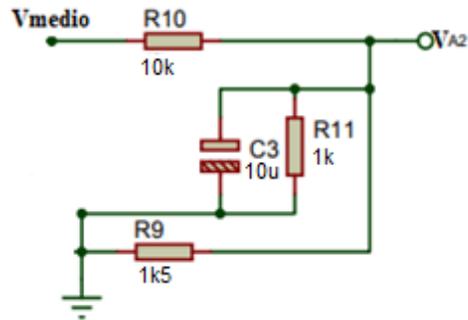


Figura. 3.10. Voltaje de salida

Fuente: Elaboración Propia

$$V_{A2} = \frac{R_9 * R_{11}}{R_9 * R_{11} + R_{10} * (R_9 + R_{11})} * V_{medio} \quad (6)$$

$$V_{A2} = \frac{1.5k * 1k}{1.5k * 1k + 10k * (1.5k + 1k)} * 22V = 1.245V$$

3.2.2 Diseño del sensor de corriente

En la Figura 3.11 se muestra un esquema donde se realiza la medición de corriente de energía eléctrica AC, luego pase por un circuito de acondicionamiento a fin de que pueda ser leído en un pin análogo de la placa Arduino (Diverteka, 2014).

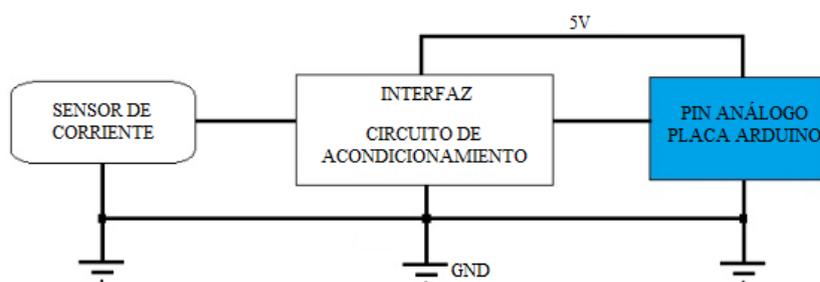


Figura. 3.11. Diagrama esquemático para la lectura de corriente eléctrica

Fuente: (Diverteka, 2014)

En la Figura 3.12 se muestra un sensor SCT013-030 de efecto hall, el cual convierte la señal de corriente en señal de voltaje alterno. En la Tabla 3.2 se indica algunas especificaciones técnicas del producto (Anexo 1).

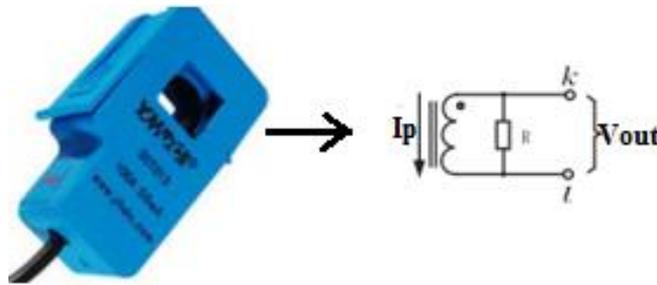


Figura. 3.12. Sensor de corriente SCT013-030

Fuente: Anexo 5

Tabla. 3.1. Características del sensor de corriente SCT013-030

Características	Rangos	Unidades
Corriente de entrada	0 – 30	A
Voltaje de salida	0 – 1	V
Exactitud	± 1	%
Linealidad	≤ 0.2	%
Voltaje máximo de operación (red eléctrica)	660	V
Frecuencia de trabajo	1 – 50	kHz
Temperatura de operación	-25 a 70	°C

Fuente: Anexo 5

El sensor de corriente pasa por un circuito de acondicionamiento, compuesto por una etapa de rectificación y amplificación de voltaje. Como se observa en la Figura 3.13, se tiene un rectificador de voltaje provisto de un circuito operacional LM358 y un diodo D1 rectificador de onda completa y una resistencia R3 con el propósito de no perder la señal de salida del sensor de corriente y se exprese un valor de voltaje continuo (Diverteka, 2014).

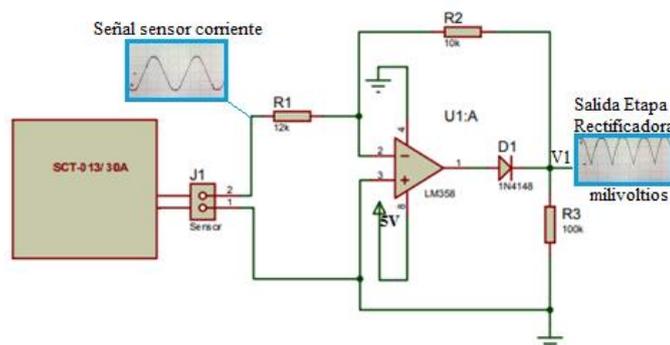


Figura. 3.13. Etapa rectificadora de precisión

Fuente: (Diverteka, 2014)

Sin embargo, este valor es pequeño por lo que se recurre a un amplificador operacional no inversor, para que el rango de variación sea amplio y de fácil medición para el pin análogo de la placa Arduino, visto en la Figura 3.14 (Diverteka, 2014).

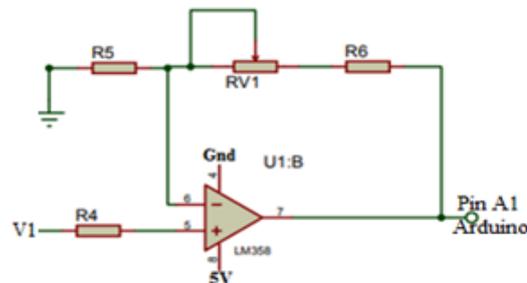


Figura. 3.14. Amplificador no inversor con salida positiva

Fuente: (Diverteka, 2014)

Donde el voltaje de entrada del pin análogo del Arduino V_{A1} se calcula mediante la Ecuación 7 (Coughlin & Discoll, 2006). La resistencia $R4$ actúa como limitadora de corriente y V_1 representa el voltaje rectificado del sensor de corriente.

$$V_{A1} = \left(1 + \frac{R_6 + RV_1}{R_5}\right) * V_1 \quad (7)$$

A continuación, se expresa el diagrama circuital de la medición de corriente eléctrica visto en la Figura 3.15. Se coloca un capacitor $C1$ que funciona como filtro para la fuente de alimentación del circuito operacional LM358.

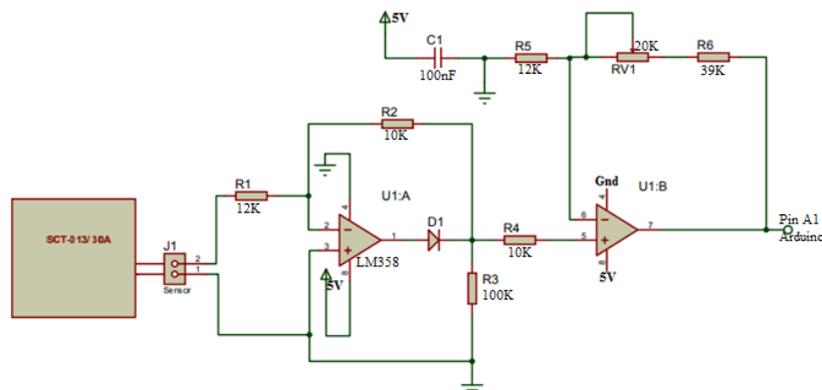


Figura. 3.15. Circuito de acondicionamiento para medición de corriente eléctrica

Fuente: (Diverteka, 2014)

En la Tabla 3.3 se visualiza las características del circuito operacional LM358 (Alldatasheet, 2019).

Tabla. 3.2. Características del amplificador operacional LM358

Características	Rangos	Unidades
Voltaje de alimentación máxima	32	V
Voltaje de entrada	-0.3 a 32	V
Potencia de disipación	0.83	W
Corriente de entrada máxima	50	mA
Temperatura de operación	-55 a 125	°C

Fuente: (Alldatasheet, 2019)

3.2.3 Módulo GSM SIM 900

En la Figura 3.16 se muestra un módulo GSM SIM900, cuya placa es compatible con Arduino que ofrece una comunicación a través de la telefonía móvil. Este módulo puede enviar pequeñas cantidades de datos mediante la red ASCII o hexadecimal en bruto. También permite cargar datos a un servidor web mediante una pila TCP/UDP incorporado. En la Tabla 3.4 se muestra algunas especificaciones técnicas del producto (Tecmikro, 2019).



Figura. 3.16. Módulo GSM SIM900

Fuente: (Tecmikro, 2019)

Tabla. 3.3. Características del módulo GSM SIM900

Características	Rangos	Unidades
Fuente de alimentación	5 - 26	V
Banda	850 / 900 / 1800 / 1900	MHz
Clase 1	1 W, 1800 / 1900	MHz
Clase 4	2 W, 850 / 900	MHz
Control a través de comandos estándar AT	GSM 07.07, GSM 07.05	-
Consumo de corriente (modo de espera)	1.5	mA
Clase del GPRS	B	-
Temperatura de operación	-40 a 85	°C

Fuente: (Tecmikro, 2019)

3.2.4 Arduino uno

En la Figura 3.17 se muestra una placa Arduino uno cuyos componentes son de montaje superficial. Internamente posee un microcontrolador Atmega328P de la familia Atmel con la finalidad realizar cualquier tipo de aplicaciones ya que dispone de 6 entradas análogas, 14 pines digitales que pueden ser entradas o salidas de los cuales 6 son canales de salida PWM, fuentes de alimentación para 3.3 y 5 V, cristal de 16 MHz, un conector de alimentación entre 7 a 12V, plug USB para conexión con el computador u otro dispositivo que tenga puerto USB, etc. (Arduino, 2019). En la Tabla 3.5 se observa algunas características esenciales que posee la placa Arduino Uno R3.



Figura. 3.17. Plataforma Arduino Uno

Fuente: (Arduino, 2019)

Tabla. 3.4. Características del Arduino Uno R3

Características	Rangos	Unidades
Voltaje de operación	5	V
Voltaje de entrada	7 – 12	V
Velocidad de reloj	16	MHz
Memoria flash	32	kB
EEPROM, SRAM	1, 2	kB
Corriente DC por Pin de E/S	40	mA
Corriente DC para Pin con 3.3V	50	mA

Fuente: (Arduino, 2019)

3.2.5 Conexión y desconexión de la energía eléctrica

En la Figura 3.18 se tiene un circuito que opera dependiendo de la condición realizada para la conexión y desconexión del medidor, de modo que, brinde o no energía eléctrica a los abonados. El circuito formado por una resistencia R8 ubicado en la base del transistor 2N2222 y en el colector se sitúa un diodo 1n4007 en paralelo a la bobina del relé GSCLE-1-DC12 cuya función en la bobina es absorber el voltaje generado (Rueda, 2019).

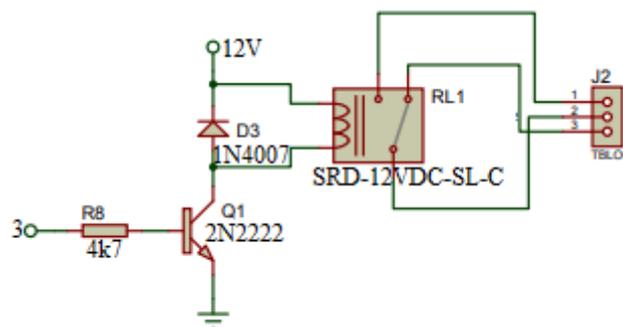


Figura. 3.18. Circuito para la conexión y desconexión de la energía eléctrica

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se realiza los siguientes pasos para el diseño:

1. Teniendo como dato las características del transistor 2N2222 (ganancia $h_{fe} = 100$ y corriente del colector $I_c = 150$ mA), se puede determinar el valor la corriente en la base del transistor, visto en la Ecuación 8 (Alldatasheet, 2019). Además, se tiene como datos

el voltaje de salida del pin digital “3” del Arduino uno de 5 V y el diodo dentro del transistor del paso base – emisor que es 0.6 V; estos datos ayudan a determinar el valor de la resistencia R8, visto en la Ecuación 9 (Rueda, 2019).

$$I_c = hfe * I_b \quad (8)$$

$$R_8[\Omega] = (5 - 0.6)/I_b \quad (9)$$

$$R_8 = (5 - 0.6) * \frac{100}{150} = 2.93[\text{k}\Omega]$$

Se requiere una resistencia mayor a la calculada para que no funcione con el límite que soporta el transistor, por lo tanto, se escoge una resistencia de 4.7 kΩ. Por último, la salida del circuito (J2) se acopla al contactor, visto en la Figura 3.19.



Figura. 3.19. Contactor para el corte y reconexión

Fuente: Elaboración Propia

2. En la Tabla 3.6 se dispone de las características técnicas del relé SRD-12VDC-SL-C, donde se determina que la corriente nominal no supere la corriente de colector del transistor (Rueda, 2019).

Tabla. 3.5. Características del relé SRD-12-VDC-SL-C

Características	Rangos	Unidades
Voltaje DC	12	V
Corriente nominal	30	mA
Resistencia de la bobina	400	Ω

Fuente: (Alldatasheet, 2019)

3.2.6 Pantalla LCD

En la Figura 3.20 se muestra un shield con display de cristal líquido LCD de 2 líneas por 16 caracteres, cinco botones para seleccionar y navegar mediante un menú. Además, la placa es compatible con las plataformas Arduino uno y mega. La conexión del LCD al Arduino es la siguiente: 4 líneas para la transmisión de datos, 2 líneas conectados al enable “E” y reset/set “R/S” y un pin análogo para monitoreo de los botones. Por último, posee un voltaje de funcionamiento entre 3.3 a 5 V (Gadgets, 2019).



Figura. 3.20. Display LCD 16x2 Arduino

Fuente: (Gadgets, 2019)

3.2.7 Fuente de alimentación reductora

En la Figura 3.21 se indica un módulo DC-DC mini reductor de voltaje de tipo lineal compuesto de los siguientes elementos: potenciómetro que sirve para tener el voltaje requerido, un regulador de voltaje síncrono eficiente, filtros capacitivos de alta frecuencia, un inductor de potencia integrado y una protección de apagado automático. En la Tabla 3.6 se describe las características técnicas del módulo DC-DC (Aliexpress, 2019).

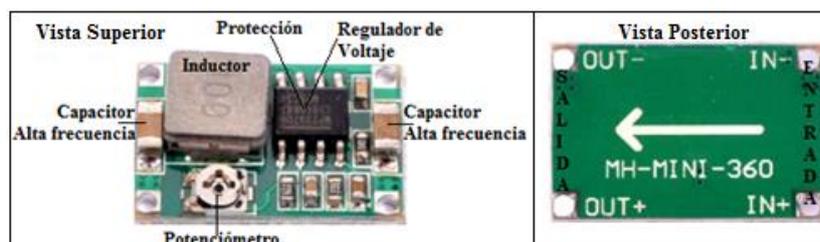


Figura. 3.21. Fuente LM2596 mini DC-DC

Fuente: (Aliexpress, 2019)

Tabla. 3.6. Características del módulo DC-DC de conmutación ajustable

Características	Rangos	Unidades
Voltaje de entrada	4.75 – 23	V
Voltaje de salida	1 – 17	V
Corriente de salida máxima	3	A
Temperatura de funcionamiento	- 45 a 85	°C
Eficiencia máxima	96	%
Frecuencia de conmutación	340	kHz
Ondulación de salida sin carga	30	mV
Regulación de voltaje	± 2.5	%

Fuente: (Aliexpress, 2019)

3.3 Software

El software está distribuido en dos fases, el primero se refiere al medidor electrónico y la segunda se refiere a la central de recepción.

3.3.1 Diagrama de flujo del medidor electrónico

En la Figura 3.22 se muestra un esquema de las funciones que realiza el medidor electrónico. A continuación, se indica los siguientes pasos:

- Paso 1. Se inicializa el programa, se declara variables y librerías.
- Paso 2. Se recepta los valores de voltaje y corriente.
- Paso 3. En base a los datos obtenidos en el paso anterior, se calcula la energía en base a la potencia y el tiempo transcurrido.
- Paso 4. Se recibirá un mensaje SMS cuando se necesite realiza la conexión o desconexión de la red eléctrica.
- Paso 5. Se envían los datos de voltaje, corriente y energía eléctrica a la central.

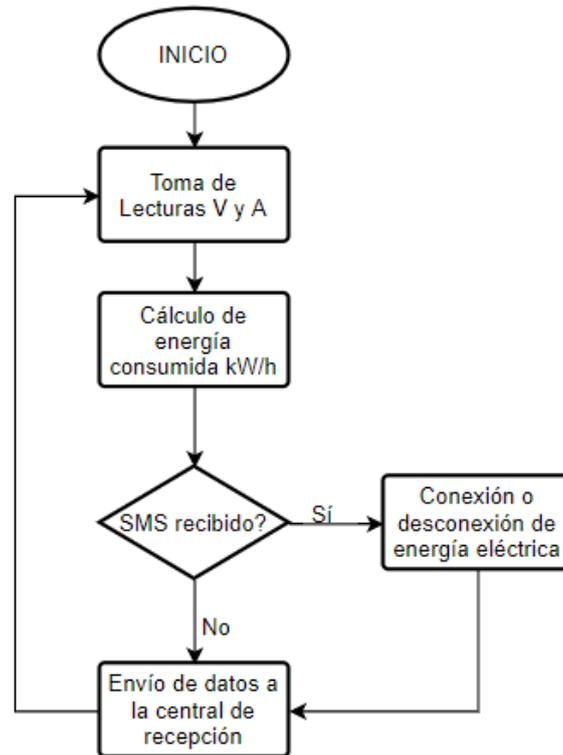


Figura. 3.22. Diagrama de flujo del medidor electrónico

Fuente: Anexo 1

3.3.2 Diagrama de flujo de la central de recepción

En la Figura 3.23 se muestra un esquema de las funciones que realiza la central de recepción.

A continuación, se indica los siguientes pasos:

- Paso 1. Se inicializa el programa, se declara variables y librerías.
- Paso 2. Se recepta los parámetros del medidor electrónico.
- Paso 3. Mediante la conexión por USB del Arduino al computador, se envían los datos al programa Visual Basic.
- Paso 4. Se visualizan los parámetros de medición en una hoja de cálculo.

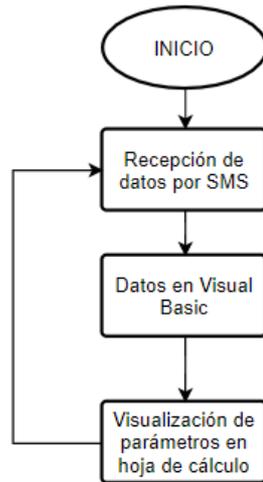


Figura. 3.23. Diagrama de flujo de la central de recepción

Fuente: Elaboración Propia

Cabe notar que la recepción de datos mediante el enlace GSM se realiza a través de la plataforma Arduino Uno, visto en el Anexo 2.

3.3.3 Envío de datos vía GSM SIM900

En la Figura 3.24 se muestra un código con comandos AT con el objetivo de establecer la comunicación vía GSM. A continuación, se realiza los siguientes pasos (Instructables, 2019):

```

COM3 (Arduino Uno)
OK
SMS sent successfully
ATD 3312934372;
OK
ATH
OK
AT+CHGF=1
OK
AT + CMGS =
RING
RING
RING
NO CARRIER
+CMF: "33129 1", "15/10/12, 16:47:50-20"
RetPro
  
```

Figura. 3.24. Envío de datos con comandos AT

Fuente: (Instructables, 2019)

- Notificación de mensaje enviado.
- Realiza y finaliza la llamada.
- Realiza una llamada al número SIM900.
- Envío de mensaje SMS al número desde la SIM900.

3.3.4 Diseño de la interfaz en Visual Basic

En esta sección se realiza el diseño de la interfaz por medio del programa ejecutable de Visual Basic. A continuación, se realizan los siguientes pasos:

1. En la computadora buscar la aplicación de la interfaz, tal como se indica en la Figura 3.25.

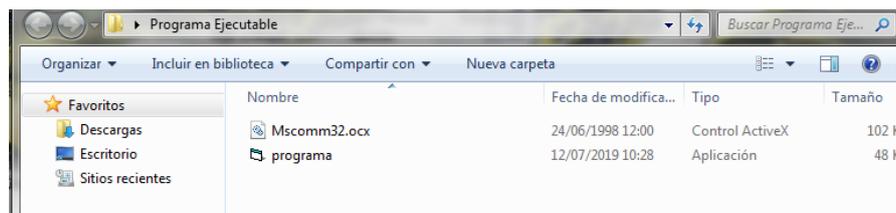


Figura. 3.25. Ubicación de la aplicación

Fuente: Elaboración Propia

2. Luego se da un clic derecho en la aplicación y se ejecuta como administrador para que la aplicación pueda abrirse, tal como indica en la Figura 3.26.

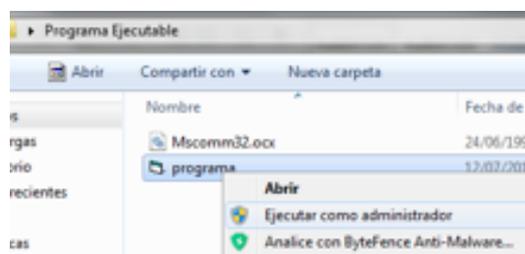


Figura. 3.26. Ejecutar programa

Fuente: Elaboración Propia

3. En la Figura 3.27 se observa una pantalla donde se deben ingresar cualquiera de los tres datos como suministro del medidor, cédula o número de teléfono celular.



Figura. 3.27. Programa ejecutable

Fuente: Elaboración Propia

4. Una vez ingresado el dato, se valida a fin de que aparezca una pantalla (Figura 3.28), la cual contiene información sobre la fecha y hora, una pantalla negra donde indica cuando un mensaje del medidor es recibido, datos informativos del suministro, nombre de usuario y dirección, tres botones para toma de lecturas de medición, corte y reconexión del medidor. Por último, se tiene un LED monitor que se activa para indicar la recepción de datos vía GSM.

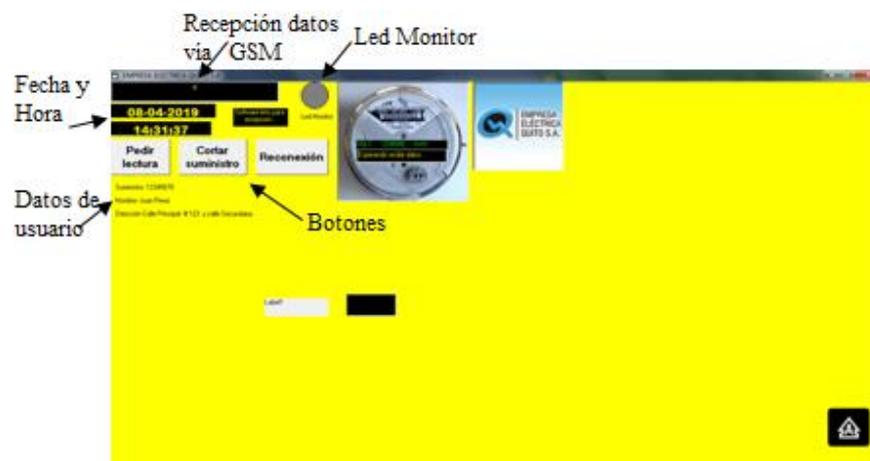


Figura. 3.28. Pantalla de comandos

Fuente: Elaboración Propia

5. Cuando se desea saber la lectura en el medidor, se da clic en el botón “Pedir lectura”, visto en la Figura 3.28 con el propósito de abrir una hoja de cálculo en Excel donde se reciben datos relevantes como fecha, hora, número de suministro del medidor y energía consumida expresado en kilo vatio – hora, tal como se indica en la Figura 3.29.

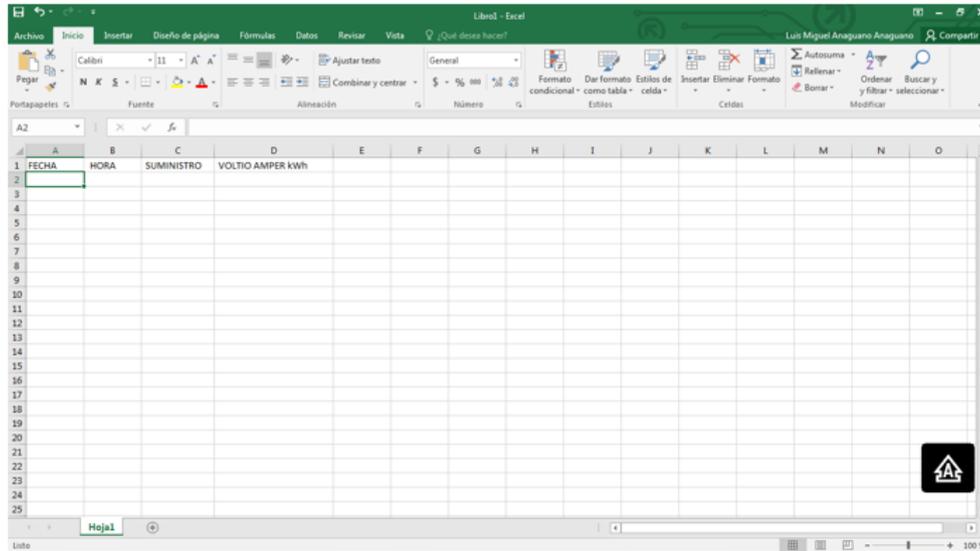


Figura. 3.29. Hoja de cálculo de datos del medidor inteligente

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

4 IMPLEMENTACIÓN

La implementación del medidor electrónico inteligente se desarrolló de la siguiente manera: fabricación de una placa general PCB de dispositivos electrónicos, conexión entre los subsistemas del Arduino Uno, módulo GSM y circuitos de acondicionamiento. Además, se realizan unas pruebas iniciales y globales del sistema. Por último, se realiza un análisis de resultados de las pruebas realizadas.

4.1 Fabricación de la placa PCB

En la Figura 4.1 se indica el diseño de la placa electrónica PCB se realiza mediante el programa Proteus, con el objetivo de tener borneras para las entradas y salidas del circuito.

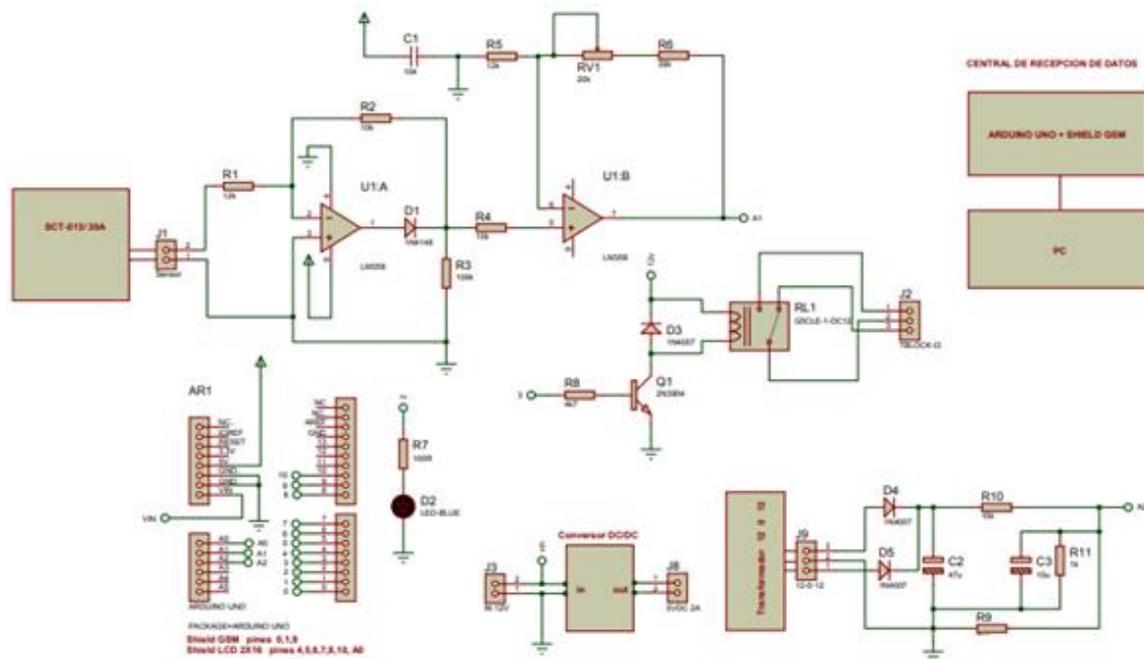


Figura. 4.1. Diseño de placa PCB

Fuente: Elaboración Propia

El siguiente paso es representar al circuito esquemático de la Figura 4.1 en una placa PCB mediante el programa ARES, donde las líneas de conexión entre cada elemento están transpuestas como líneas de cobre, tal como se indica en la Figura 4.2.

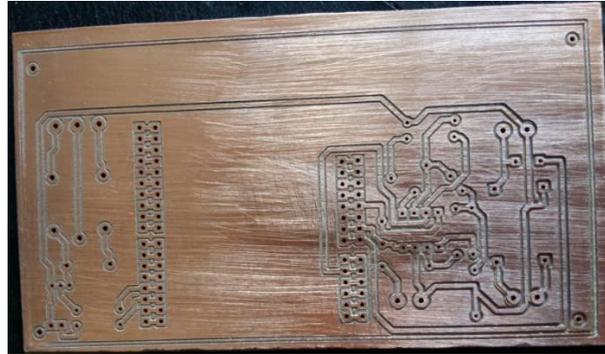


Figura. 4.2. Placa de cobre PCB

Fuente: Elaboración Propia

Además, se van soldando cada elemento con estaño y cautín a fin de ir conectando los elementos electrónicos, tal como se indica en la Figura 4.3.

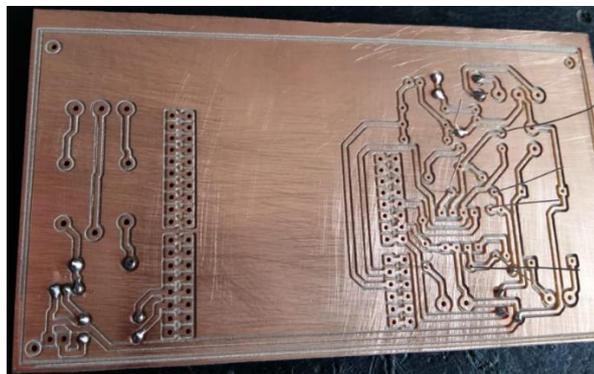


Figura. 4.3. Proceso de soldado de elementos

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.4 se indica como quedan soldados las resistencias, capacitores, diodo Zener para protección en las entradas análogas, diodos del puente rectificador AC/DC, borneras, zócalo del LM358, espadines hembra para la conexión de la fuente de alimentación reductora LM2586, transistor 2N2222, relé y Arduino Uno en la placa PCB.

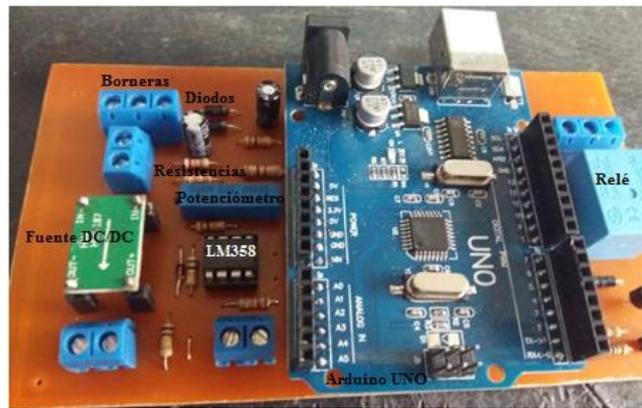


Figura. 4.4. Parte superior de la placa PCB

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.5 se muestra la conexión de los demás elementos, tales como: módulo shield GSM que utiliza los mismos pines del Arduino Uno, conexión del transformador de voltaje y sensor de corriente de efecto hall en la placa PCB.

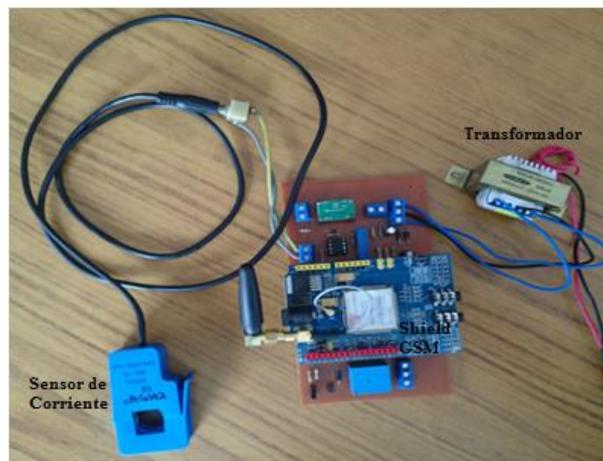


Figura. 4.5. Placa final del medidor electrónico inteligente

Fuente: Elaboración Propia

Por último, en la Figura 4.6 se observa el medidor inteligente implementado obteniendo una forma similar a la de un medidor eléctrico convencional, formado por una caja plástica con bornes de entrada y salida para la red eléctrica y carga, respectivamente. Adicional posee una salida si se desea tener una visualización mediante el monitor serial de la plataforma Arduino ubicado en el medidor.

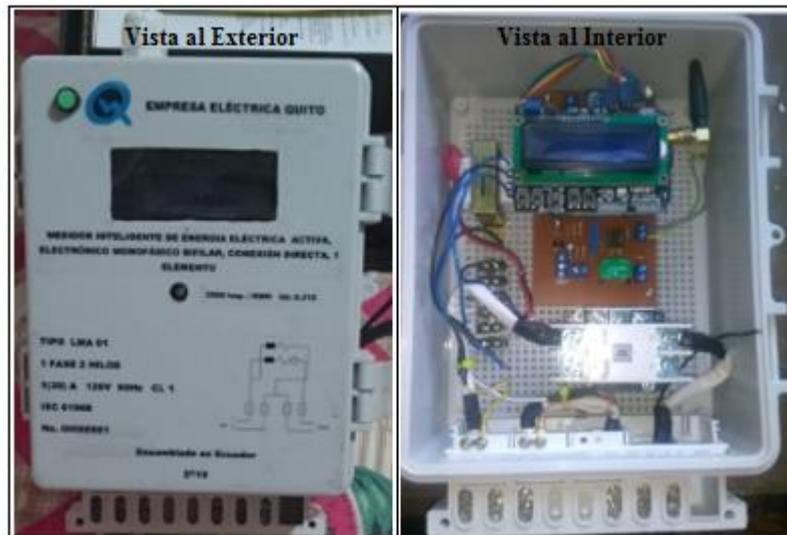


Figura. 4.6 Medidor inteligente implementado

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Uso del módulo GSM SIM900 con comandos AT

Con el módulo shield GSM SIM900 que se tiene en la Figura 3.16 se puede conectar por encima de la placa Arduino Uno, tal como se muestra en la Figura 4.7 a fin de alimentar directamente del Arduino al módulo GSM.

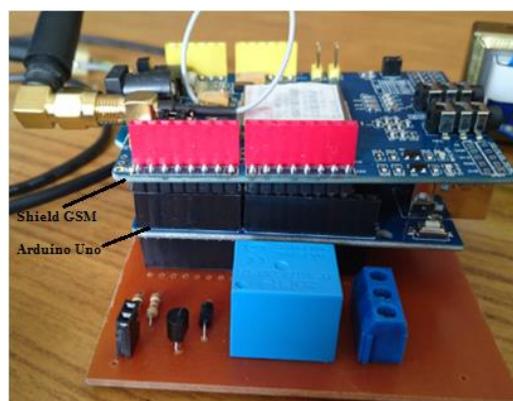


Figura. 4.7. Conexión de Shield GSM y Arduino Uno

Fuente: Elaboración Propia

Para la transmisión de datos entre la shield GSM y el Arduino, se puede realizar por los pines Rx (0), Tx (1) del Arduino o definiendo los pines por software serial que representa una línea de comando de Arduino IDE (Arduino, 2019).

4.3 Pruebas de funcionamiento

4.3.1 Pruebas iniciales para la medición de corriente

En la Tabla 4.1 y Figura 4.8 se muestran los voltajes sin/con carga en el pin A1 de la placa Arduino, representando la salida del circuito de acondicionamiento para la medición de corriente de la red eléctrica monofásica.

Tabla. 4.1. Toma de lecturas para la medición de corriente

Medición	V _{A1} pin del Arduino	Voltaje Salida Sensor	Corriente red eléctrica
Sin Carga	0.007 V = 7 mV	0.002 V = 2 mV	0.045 A = 45 mA
Carga 1	0.099 V = 99 mV	0.021 V = 21 mV	0.636 A = 636 mA

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la Ecuación 6 y reemplazando los valores de resistencia $R_5 = 12 \text{ K}\Omega$, $R_6 = 39 \text{ K}\Omega$, $R_{V1} = 5 \text{ K}\Omega$ en la Ecuación se tiene el valor de voltaje V_{A1} en función del voltaje a la salida del rectificador de la Figura 3.12.

$$V_{A1} = \left(1 + \frac{39\text{k}\Omega + 5\text{k}\Omega}{12\text{k}\Omega}\right) * V_1 = 4.67 * V_1$$

Luego con las características de voltaje en función de la corriente del sensor visto en la Tabla 3.2, se determina la corriente de la red eléctrica monofásica; tal como se indica en la Ecuación 10.

$$I [A] = 30V_1 = 30V_{A1}/4.67 \quad (10)$$

Por último, se realiza el cálculo reemplazando los datos en la Ecuación 9:

- Si el voltaje sin carga $V_{A1} = 0.007 \text{ V}$, entonces se tiene una corriente AC de 0.045 A o 45 mA.
- Si el voltaje con carga $V_{A1} = 0.099 \text{ V}$, entonces se tiene una corriente AC de 0.636 A o 636 mA.



Figura. 4.8. Pruebas iniciales para la medición de corriente

Fuente: Elaboración Propia

Para las pruebas iniciales de funcionamiento se coloca una carga 1, representada como una lámpara de 75 W, visto en la Figura 4.9.



Figura. 4.9. Carga 1

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Pruebas iniciales para la medición de voltaje

En la Figura 4.10 se muestra el voltaje medido (1,195 V) con carga en el pin A2 de la placa Arduino, representado como la salida del circuito de acondicionamiento de voltaje para la red eléctrica monofásica.

Tabla. 4.2. Lecturas de voltaje en el Arduino Uno

Lectura	V _{A2} pin del Arduino	Error absoluto (calculada – medida)	Error porcentual (%)
Calculada	1.245 V	$E_{\text{abs}} = 1.245 - 1.195 = 0.05$	$E_{\%} = 4.03 \%$
Medida	1.195 V		

Fuente: Elaboración Propia

En la Ecuación 11 se calcula el error porcentual tomado de la lectura calculada en la Ecuación 5 y el valor medido de la Figura 4.9.

$$E_{\%} = \left(\frac{\text{calculado} - \text{medido}}{\text{calculado}} \right) * 100 \quad (11)$$

$$E_{\%} = \left(\frac{1.245 - 1.195}{1.245} \right) * 100 = 4.03\%$$



Figura. 4.10. Pruebas iniciales para la medición de voltaje

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3 Pruebas funcionales con carga de 10 ohmios

Se opta por escoger una carga o niquelina de 10 ohmios para las pruebas de funcionamiento, visto en la Figura 4.11. Además, se observa el voltaje de corriente alterna medido que representa los 115 VAC entre las líneas de fase y neutro.



Figura. 4.11. Voltaje y resistencia de la niquelina

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.12 se observa la corriente de carga desde que inicia la alimentación hasta llegar a plena carga de funcionamiento.



Figura. 4.12. Valores de corriente medidos

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 4.13 se observa la potencia tomados por medio del instrumento de medición y prototipo o medidor electrónico.



Figura. 4.13. Potencia medidos

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 4.3 se aprecia los errores porcentuales que se tienen entre el medidor inteligente implementado y la toma de lecturas mediante un instrumento patrón AEMC para los valores de potencia y factor de potencia.

Tabla. 4.3. Errores porcentuales entre el instrumento patrón y el medidor inteligente

Descripción	Lectura para la Potencia
Lectura tomada por el medidor (Figura 4.14)	1.258
Lectura tomada por el instrumento patrón (Figura 4.13)	1.203
Error absoluto (medidor – instrumento)	0.055
Error porcentual % (absoluto*100/lectura del medidor)	4.37

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Contratación del medidor inteligente

Para realizar la contrastación del medidor inteligente se toma como dato el valor de los 3200 impulsos por kilovatio hora de un medidor monofásico para 30 A (Cablematic, 2019). En la Figura 4.14 se visualiza en el medidor los pulsos contados R e interpretado por un LED que se enciende y se apaga.



Figura. 4.14. Conteo de pulsos R

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se calcula el kh y la potencia medida, visto en el apartado 1.12. Además, se realiza un conteo de $R = 11$ pulsos en un lapso de $S = 10$ segundos.

$$kh = \frac{1000}{3200} = 0.3125$$

$$P_{med} [W] = \frac{3600 * 11 * 0.3125}{10} = 1237.5 W$$

En la Tabla 4.4 se aprecia la contrastación realizada con los valores de la potencia medido y calculado (pantalla LCD).

Tabla. 4.4. Contrastación del medidor

Lectura	Potencia W	Error absoluto (calculada – medida)	Error porcentual (%)
Calculada	1258	$E_{abs} = 1258 - 1237.5 = 20.5$	$E\% = 1.62 \%$
Medida	1237.5		

Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizado las pruebas de funcionamiento del equipo, se ingresa al Laboratorio de medidores de la Empresa Eléctrica Quito para proceder con la verificación y contrastación correspondiente, visto en la Figura 4.15. El medidor electrónico por ingresar posee las siguientes características: forma (1A), voltaje (1x120V), corriente (1x30A), tipo AM (monofásico) y clase 1 (exactitud).



Figura. 4.15. Medidor en el Laboratorio de EEQ

Fuente: Anexo 3

Este proceso se realiza con el equipo de marca MTE cuyo medidor es de tipo SRS200.3, serie 28245, clase 0.02 y fecha de calibración / verificación el 28/03/2018. Acorde a los procedimientos realizados se determina que el medidor se encuentra en normal funcionamiento teniendo un porcentaje de error del 1.1 %, con un registro normal de consumos y curva de operación establecida indicado en la norma IEC 62052-11 e IEC 62053-21, visto en la Tabla 4.5.

Tabla. 4.5. Prueba de verificación y contrastación del medidor electrónico

#	Punto de Ensayo	Potencia (kW)	Error (%)
1	Marcha en vacío	0	-
2	Arranque	0.133	-
3	Baja Carga	0.121	-1.06
4	Carga Nominal	2.4277	-1.05
5	Carga Nominal	2.4236	-1.10
6	Máxima Carga	5.8241	-1.05
7	Numerador	4.8542	1.1

Fuente: Anexo 3

4.5 Envío de parámetros eléctricos del medidor a la central

4.5.1 Visualización de datos por el monitor serial del medidor

Una alternativa de visualización de datos en el medidor electrónico es utilizando el monitor serial de la plataforma Arduino Ide, por medio de la cual el medidor envía tres mensajes de texto al módulo central, en este caso a un computador. El primer mensaje se envía al haber transcurrido un minuto y medio, luego de ese tiempo durante cada minuto se envía el segundo y tercer mensaje, tal como se indica en la Figura 4.16.

<pre>- Tension predefinida [V] --> 120 - Lectura del sensor [V] --> 0.001 - Intensidad calculada [A] --> 0.004 - Potencia calculada [kW] --> 0.001 ----- PAUSA: 1500259.250Fecha y hora: 2016-10-13,00:01:31 Mensaje 1 enviado</pre>	<pre>- Tension predefinida [V] --> 120 - Lectura del sensor [V] --> 0.001 - Intensidad calculada [A] --> 0.008 - Potencia calculada [kW] --> 0.001 ----- PAUSA: 818974.687Fecha y hora: 2016-10-13,00:02:31 Mensaje 2 enviado</pre>	<pre>- Tension predefinida [V] --> 110 - Lectura del sensor [V] --> 0.900 - Intensidad calculada [A] --> 6.044 - Potencia calculada [kW] --> 0.754 ----- PAUSA: 1040.511Fecha y hora: 2016-10-13,00:03:32 Mensaje 3 enviado</pre>
--	---	---

Figura. 4.16. Visualización en el monitor serial de Arduino

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2 Hoja de cálculo de la interfaz

La interfaz realizada en Visual Basic posee dos estados: el primero se visualiza cuando se abre la aplicación y es ingresado los datos del usuario, visto en la Figura 4.17 y el segundo estado se observa cuando cada dato es enviado desde el medidor a la central, visto en la Figura 4.18. Cabe notar que se enciende un LED rojo indicando la recepción de parámetros mostrados en la hoja Excel.

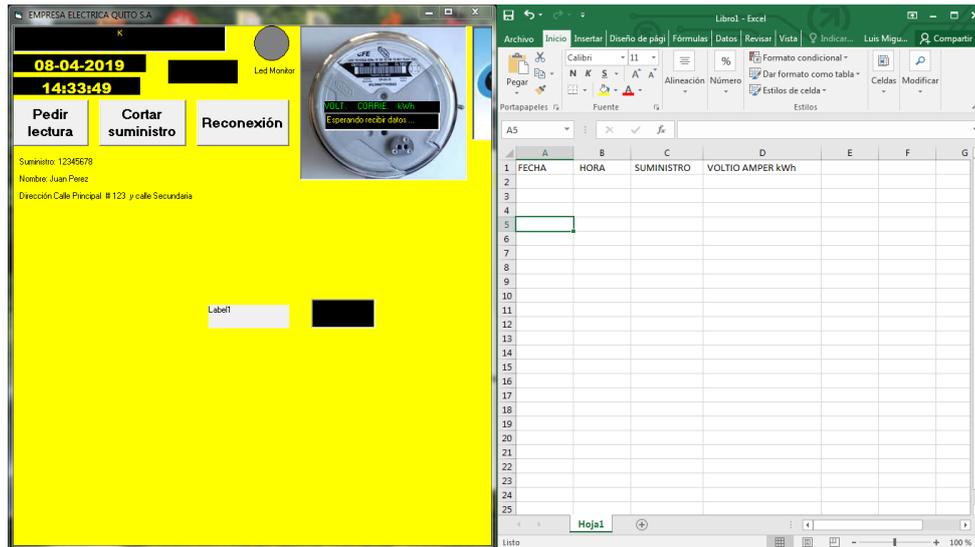


Figura. 4.17. Inicio de aplicación

Fuente: Elaboración Propia

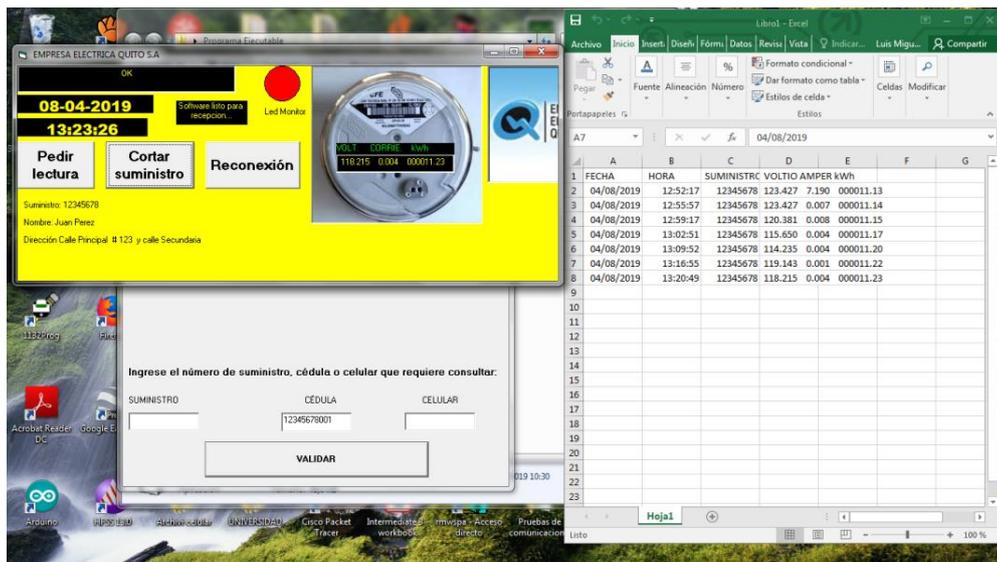


Figura. 4.18. Hoja de cálculo de datos recibidos

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Análisis de resultados

Luego de realizar la implementación y pruebas de funcionamiento del medidor electrónico inteligente, se procede al análisis de resultados visto en la Tabla 4.6.

Tabla. 4.6. Análisis de resultados

Ítem	Proceso	Cumple	No cumple	Observaciones
1	Voltaje de alimentación	X		Voltaje 5 V
2	Conexión GSM SIM900	X		Envío de datos con Comandos AT
3	Error porcentual en el pin del Arduino para voltaje	X		Error del 4.03%
4	Medida de voltaje con carga1 (lámpara)	X		115 V (Valor de la red eléctrica monofásica)
5	Medida de corriente con carga1 (lámpara)	X		636 mA (Valor acorde a la carga)
6	Error porcentual entre el instrumento patrón y el medidor inteligente	X		4.37 % para la potencia.
7	Hoja de cálculo con Visual Basic	X		No hay problemas en la conexión
8	Visualización LCD	X		Acorde con los valores medidos
9	Contrastación del medidor	X		Error de 1.62 % (cálculos) y 1.1 % (laboratorio EEQ), cuyos valores son menores al 5%

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

- El medidor inteligente para un sistema monofásico bifilar consiste en determinar parámetros de voltaje y corriente de la red eléctrica en base a una carga establecida para el cálculo de la potencia. Además, el medidor posee un contador numérico desde el momento que detecta la carga conectada a la red eléctrica, con el propósito de indicar los kilovatios hora consumidos.
- Como se ha mencionado anteriormente los parámetros para el funcionamiento del medidor electrónico dependen del voltaje, corriente y tiempo. Por lo tanto, se han colocado circuitos de acondicionamiento para la medición de voltaje y corriente. Por último, se tiene una shield GSM SIM900 para el envío de datos mediante mensajes de texto.
- El diseño del medidor inteligente de energía eléctrica se basó en el cálculo de voltaje mediante un conversor AC/DC y para el cálculo de corriente se desarrolló mediante circuitos operacionales dividido en una etapa rectificadora AC/DC y en una fase amplificadora de señal ya que el sensor de corriente posee una relación de amperaje sobre voltaje de 30 a 1. Además, se tiene un circuito formado por un transistor y relé con el propósito de realizar el corte y conexión de la energía eléctrica. Por último, para concluir que el medidor inteligente es funcional, se realiza una contrastación en el equipo, donde posee un error porcentual menor al 5% entre las mediciones calculadas y medidas.
- La elaboración de placas PCB ayuda a reducir el nivel de ruidos gracias a los conductores de cobre. Además, con la inserción de borneras ayuda a mejorar una conexión rápida y segura entre las entradas y salidas del medidor electrónico.
- La interfaz de comunicación que se realizó entre el Arduino y el Visual Basic es mediante la shield GSM SIM900, con este módulo se pudo visualizar el envío de los parámetros eléctricos del medidor. Además de enviar la información tiene la capacidad de operarlo remotamente para el corte y conexión de la energía eléctrica.

- Las pruebas de funcionamiento ayudan a demostrar la validación de cada sistema de medición para voltaje y corriente. Además, los parámetros de voltaje, corriente y energía eléctrica del medidor inteligente se visualizan tanto en la pantalla LCD como en la hoja de cálculo con la ayuda del programa elaborado en Visual Basic.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar circuitos de protección de sobrevoltaje y sobrecorriente en la carga y en cada entrada análoga del Arduino Uno para medición de voltaje y corriente a fin de evitar que se dañe el puerto análogo en sistemas de mayor potencia.
- Realizar un estudio más extenso de las formas que puedan existir para los diseños de acondicionamiento en la toma de lecturas de voltaje, corriente, factor de potencia; para llevar a cabo una mayor precisión.
- Se recomienda cambiar la caja del medidor por un antihurto con grado mínimo de hermeticidad IP43, esto quiere decir que la caja estará protegida contra sólidos de nivel 4 (elementos de 1 milímetro de diámetro no ingresan a la caja) y líquidos de nivel 3 (protección contra chorros de agua); ya que la caja existente no es a prueba de llovizna y lluvia. Otra recomendación, es eliminar el cable USB de la plataforma Arduino con el propósito de ofrecer hermeticidad en la carcasa del medidor.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldas, A. (2015). Interoperabilidad entre Medidores Inteligentes de Energía Eléctrica Residencial para el DMQ bajo las Normas ANSI. Quito, Ecuador.
- Aliexpress. (2019). *Circuitos integrados*. Recuperado el 04 de junio de 2019, de <https://es.aliexpress.com/item/10x-RC-Airplane-Module-Mini-360-DC-DC-Buck-Converter-Step-Down-Module-4-75V-23V/32762588268.html>
- Alldatasheet. (2019). *Electronic Components Datasheet*. Recuperado el 1 de marzo de 2019, de <https://www.alldatasheet.com/>
- Arconel. (2019). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Obtenido de <https://www.regulacioneolica.gob.ec/>
- Arduino. (2019). *¿Qué es Arduino?* Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Cablematic. (2019). *Medidor digital de energía activa monofásico 30A*. Recuperado el 20 de julio de 2019, de <https://cablematic.com/es/productos/medidor-digital-de-energia-activa-monofasico-30a-JW052/>
- Camargo, J. (2009). Modelo de Cobertura para redes inalámbricas de interiores. Sevilla, España.
- Chamba, J. (2014). "Diseño e implementación de un sistema de medición de energía eléctrica inteligente para uso doméstico". Loja, Ecuador.
- Conelec. (2015). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Obtenido de Estudio y gestión de la demanda eléctrica: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/>
- Coughlin, R., & Discoll, F. (2006). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Mexico: Prentice Hall.
- Cruz, E. (2008). "Aplicación de la gestión por procesos en el área de laboratorio de medidores de la Empresa Eléctrica Quito S.A.". Quito, Ecuador.
- Dammert, A., & Quintanilla, E. (2010). *Procedimiento para la supervisión de la contrastación de medidores de energía eléctrica*. Lima: Osinergmin.
- Diverteka. (2014). *Control de consumo eléctrico con Arduino (1)*. Recuperado el 06 de junio de 2019, de <http://www.diverteka.com/?p=1966>
- EEQ. (2015). *Empresa Eléctrica Quito*. Obtenido de <https://www.eeq.com.ec:8443/>
- ElectroCornejo. (2019). *Medidores electrónicos*. Recuperado el 22 de mayo de 2019, de <http://www.electrocornejo.com/subcategoria.php?idcat=7&idsub=22>

- Expreso. (2011). *CNEL instala medidores inteligentes para controlar consumo de energía*. Recuperado el 22 de mayo de 2019, de https://www.expreso.ec/actualidad/cnel-instala-medidores-inteligentes-para-cont-XEgr_2768385
- Gadgets, E. (2019). *Tienda Online*. Recuperado el 04 de junio de 2019, de <https://electronicgadgets.co/electronica/-shield-lcd-16x2-arduino-208.html>
- Gaona, E., Rodríguez, C., & Rojas, H. (2014). Infraestructura de comunicaciones en microredes eléctricas. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 28-38.
- Guzmán, S. (2013). "Estudio y diseño de un sistema domiciliario para control de consumo de energía eléctrica utilizando redes eléctricas inteligentes". Quito, Ecuador.
- Heredia, D. (2013). Desarrollo de una guía enfocada a medidores de energía y conexiones de medidores. Pereira, Colombia.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Iztapalapa, México: Mc Graw Hill.
- Hurtado, J. (2012). *Introducción a las Redes de Comunicación industrial*. Obtenido de http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introducic3b3n-a-las-redes-de-comunicac3b3n-industrial.pdf
- Instructables. (2019). *SIM900 GSM GPRS SHIELD CON ARDUINO UNO*. Recuperado el 11 de junio de 2019, de <https://www.instructables.com/id/SIM900-GSM-GPRS-SHIELD-CON-ARDUINO-UNO/>
- Intriago, L., Ramírez, C., & Veloz, H. (2004). "Plan estratégico para la reducción de pérdidas comerciales en la Empresa Eléctrica Distribuidora Regional Manabí (EMELMANABI S.A.)". Guayaquil, Ecuador.
- Kessler, L. (2007). *Inspección de medidores: La prueba de potencia*. Obtenido de <http://www.afinidadelectrica.com/articulo.php?IdArticulo=141>
- Lara, E. (2013). *Fundamentos de Investigación*. México: Alfaomega.
- León, W. (2008). *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. México: Prentice Hall.
- Llumiluisa, R., & Tovar, C. (2011). Implementación del sistema de facturación y medidores prepago en la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.
- Macías, V. (2018). El Comercio. *Si tiene 6 medidores o más, a poner cabinas*, pág. 1.
- Mancheno, S. (2015). "Diseño y desarrollo de una red de sensores inalámbricos para la medición del consumo eléctrico en aplicaciones de bajo voltaje". Quito, Ecuador.
- Mayné, J. (2003). *Sensores Acondicionadores y Procesadores de señal*. Obtenido de http://www.edudevices.com.ar/download/articulos/sensores/SENSORES_GRAL.pdf
- MCBtec. (2015). *Fuentes Alimentación Lineales*. Recuperado el 04 de junio de 2019, de http://www.mcbtec.com/fuentes_lineales.html

- Microsoft. (2019). *Microsoft*. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-ec/>
- Moreno, J., & Ruíz, D. (2007). *Informe Técnico: Protocolo Zigbee (IEEE 802.15.4)*. Recuperado el 22 de mayo de 2019, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe_ZigBee.pdf
- Narváez, C., & Tamay, J. (2013). Análisis del Esquema Regulatorio de Organización del Sector Eléctrico Ecuatoriano vigente hasta Agosto del 2008 y Estudio de los efectos del Mandato constituyente No. 15 sobre el Mercado Eléctrico. Cuenca, Ecuador.
- Nieto, E. (2015). *Fuentes de alimentación conmutadas en la práctica*. Barcelona: Fidestec Ediciones.
- Ortiz, J. (2013). • “Diseño y construcción de un medidor de energía eléctrica digital con conexión inalámbrica a un computador, para el Laboratorio de Máquinas”. Latacunga, Ecuador.
- Penalva, J. (2016). *Empezar con Arduino (Genuino): cómo elegir la placa, modelos compatibles y kits de iniciación*. Recuperado el 31 de mayo de 2019, de <https://www.xataka.com/makers/empezar-con-arduino-genuino-como-elegir-la-placa-modelos-compatibles-y-kits-de-iniciacion>
- Quito, H., & Rodas, E. (2017). "Diseño e implementación de una red zigbee para determinar el consumo de energía de los usuarios de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.". Cuenca, Ecuador.
- RalcoNetworks. (2018). *Radioenlaces*. Obtenido de <http://www.ralco-networks.com/soluciones/lan/radioenlaces/>
- Rueda, L. (2019). *Transistores en circuitos de conmutación*. Recuperado el 29 de mayo de 2019, de http://perso.wanadoo.es/luis_ju/edigital/qnpn_pnp.html
- Ruíz, M. (2015). Interoperabilidad entre medidores inteligentes de energía eléctrica residencial. Quito, Ecuador.
- Salazar, A. (2017). "Sistema electrónico de monitoreo y control para la distribución de energía eléctrica en los hogares". Ambato, Ecuador.
- Samaniego, D., & Velesaca, D. (2016). "Diseño e implementación de un medidor de energía electrónico para vivienda, con orientación a la prevención de consumo y ahorro energético". Cuenca, Ecuador.
- Steren. (2019). *Transformadores*. Recuperado el 04 de junio de 2019, de <https://www.steren.com.mx/energia/transformadores>
- Tecmikro. (2019). *Tecmikro Ecuador*. Obtenido de <https://tecmikro.com/>
- Torrente, O. (2013). *Arduino curso práctico de formación*. Madrid: RC Libros.
- Valdiosera, A. (2013). Diseño de Medidor Inteligente e Implementación de Sistema de Comunicación Bidireccional. México.
- Vega, C. (2017). Estudio y diseño de una infraestructura de medición avanzada AMI para la Empresa Eléctrica Quito. Quito, Ecuador.

Vega, E. (2016). *Curso de Electricidad*. Recuperado el 22 de mayo de 2019, de <http://cursosvega.blogspot.com/p/contador-de-energia.html>

Vitutor. (2008). *Lección 1: Introducción a VB2019*. Obtenido de https://www.vbtutor.net/vb2019/vb2019_lesson1.html

ANEXOS

Anexo 1. Codificación del programa del Medidor inteligente	78
Anexo 2. Codificación del programa de la recepción de datos en Arduino IDE	86
Anexo 3. Contratación del medidor monofásico AM	91
Anexo 4. Manual de Usuario.....	95
Anexo 5. Manual Técnico	100
Anexo 6. Diagrama electrónico del medidor inteligente.....	109
Anexo 7. Placas PCB.....	110
Anexo 8. Cronograma de actividades.....	111

Anexo 1. Codificación del programa del Medidor inteligente

```

//Librerias para guardar datos, tiempo, comunicacion y LCD
#include <EEPROM.h>
#include <Time.h>
#include <TimeLib.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <LiquidCrystal.h>
//Definir pines GSM al Arduino
SoftwareSerial SIM900(7, 8); //7=tx y 8=RX
//Seteo de fecha y hora
int waittime = 1;
int hr=0; int mm=0; int sec=0; int dd=13; int mon=10; int yr=2016;
char status;
double T,P,p0,a;
long unsigned int pause = waittime * 5;
//Tiempo de calibracion para las lecturas del medidor
int calibrationTime = 30;
String detectionchange = " ";
boolean takeLowTime = false;
int lowIn = 0;
//Dato del tiempo
#define TIME_HEADER "T"
#define TIME_REQUEST 7
char timeString[12];
char dateString[12];
int dato; //Creamos una variable de nombre dato
int pulsos=1;
int bandera;
char inchar;
const int analogInPin = A1; // Pin de entrada analogo
int retardo = 2 ;
float lectura,ff,pKW,iA,vV,vS,S_Ratio;
int analogInput = A2;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 989000; //Resistencia R1
float R2 = 10000; //Resistencia R2
int value, val = 0;
float vinx = 0.0;
int rele= 3;
int x;
int ledb=2;
float pKWB=0;
int h=0;
int centmil=0;
int decemil=0;
int unimil=0;
int centenas=0;
int decenas=0;
int unidades=0;
int milesima=0;
int centesima=0;
int pulsosy=10; //con cada 10 pulsos aumenta una centesima
int pulsosx=0;

```

```

float fP;
float pKW2;

void setup() {
  //Comunicacion serial
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("INICIALIZANDO...");
  centesima = EEPROM.read(0);
  milesima = EEPROM.read(1);
  unidades = EEPROM.read(2);
  decenas = EEPROM.read(3);
  centenas = EEPROM.read(4);
  unimil = EEPROM.read(5);
  decemil = EEPROM.read(6);
  centmil = EEPROM.read(7);

  //Inicializa fecha y hora
  setSyncProvider( requestSync);
  setTime(hr,mm,sec,dd,mon,yr);
  //Comunicacion GSM a 19200 baudios
  SIM900.begin(19200);
  SIM900.power();
  //Comando AT del GSM
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
  delay(100);
  SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
  delay(100);
  SIM900.print("ATe0&w\r");
  Serial.println("Ready...");
  S_Ratio = 36.5; //Relacion (mV/mA) : 36.5
  vV = 110; //Valor de tension a computar
  ff = 4.15; //Factor frecuencia de 60Hz -> 4.15
  //Declaracion de salidas
  pinMode(rele, OUTPUT);
  pinMode(ledb, OUTPUT);
  //Apagado de rele y led
  digitalWrite(rele, LOW);
  digitalWrite(ledb, LOW);
  //Tipo de LCD
  lcd.begin(16, 2);
}
// -- smooth read routine -----
float smoothread(float fc){ // fc (factor corrector)
int ni = 35; // n. de iteraciones => smooth
// (ni) => rango 10 a 50 mejor promedio [smoothing]
float retorno = 0.0;
for (int x = 0; x< ni; x++){
do { // espero paso por cero
  delayMicroseconds(100);
} while (analogRead(1) != 0) ;
  delay (ff); // espera centro de ciclo
  delay (10); // estabilizacion CAD
  retorno = retorno +(analogRead(1)*fc);
}
return retorno;
}

```

```

    }
    return retorno / ni;
}
void loop(){
  sprintf(timeString, "%02d:%02d:%02d",hour(),minute(),second());
  sprintf(dateString, "%d-%02d-%02d",year(),month(),day());
  Serial.print("Fecha y hora: ");
  Serial.print(dateString);
  Serial.print(",");
  Serial.print(timeString);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(detectionchange);
  Serial.println("");
  delay(waittime);
  analisis();
  voltaje();
  sct013();
  pKWB=1/pKW;
  pKWB=pKWB*8;
  digitalWrite(ledb, HIGH);
  if (pKW>=0.0021){
    delay(10);
    pulsosx++;
    if (pulsosx==pulsosy){
      sumar();
      pulsosx=0;
    }
  }
  if (pKW<=0.0020){
  }
  digitalWrite(ledb, LOW);
  delay(pKWB);

  h++;
  if (h>=1 && h<=5){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Vol:");
    lcd.setCursor(4,0);
    lcd.print(vinx,3);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Amp:");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(iA,3);
  }
  if (h>=7 && h<=11){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("kWh:");
    lcd.setCursor(4,0);
    lcd.print(centmil);
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print(decemil);
  }
}

```

```

    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print(unimil);
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(centenas);
    lcd.setCursor(8,0);
    lcd.print(decenas);
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print(unidades);
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print(".");
    lcd.setCursor(11,0);
    lcd.print(milesima);
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print(centesima);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Kw:");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(pKW,3);
}

if (h>=13 && h<=17){
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("fP:");
  lcd.setCursor(4,0);
  lcd.print(fP,3);
}
if (h>=18){
  h=0;
}
}
void analisis(){

if (hour()==0){
  if (minute()==1){
    if (second())>30 &&second())<35){
      //setTime(hr,mm,sec,dd,mon,yr);
      sms1();
    }
  }
}
if (hour()==0){
  if (minute()==2){
    if (second())>30 &&second())<35){
      //setTime(hr,mm,sec,dd,mon,yr);
      sms2();
    }
  }
}
}

```

```

if (hour()==0){
  if (minute()==3){
    if (second(>30){
      setTime(hr,mm,sec,dd,mon,yr);
      sms3();
    }
  }
}
}
time_t requestSync(){
  Serial.write(TIME_REQUEST);
  return 0; // the time will be sent later in response to serial msg
}
}
void SIM900power(){
  digitalWrite(9, HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(9, LOW);
  delay(1000);
}
void sms1(){
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
  delay(100);
  SIM900.println("AT + CMGS = \"+593989461897\"");
  delay(80);
  SIM900.print("@"); //mensaje a enviar
  delay(80);
  SIM900.print(vinx,3);
  delay(80);
  SIM900.print(" ");
  SIM900.println((char)26);
  delay(80);
  SIM900.println();
  delay(2000);
  Serial.println("Mensaje 1 enviado"); //mensaje enviado
}
void sms2(){
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
  delay(100);
  SIM900.println("AT + CMGS = \"+593989461897\"");
  delay(80);
  SIM900.print("$");
  delay(80);
  SIM900.print(iA,3);
  delay(80);
  SIM900.print(" ");
  SIM900.println((char)26);
  delay(80);
  SIM900.println();
  delay(2000);
  Serial.println("Mensaje 2 enviado");
}
}

```

```

void sms3() {
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
  delay(100);
  SIM900.println("AT + CMGS = \""+593989461897+"\");
  delay(80);
  SIM900.print("%");
  delay(80);
  //SIM900.print(pKW, 3);
  delay(80);
  SIM900.print(centmil);
  delay(80);
  SIM900.print(decemil);
  delay(80);
  SIM900.print(unimil);
  delay(80);
  SIM900.print(centenas);
  delay(80);
  SIM900.print(decenas);
  delay(80);
  SIM900.print(unidades);
  delay(80);
  SIM900.print(".");
  delay(80);
  SIM900.print(milesima);
  delay(80);
  SIM900.print(centesima);
  delay(80);
  SIM900.print(" ");
  SIM900.println((char)26);
  delay(80);
  SIM900.println();
  delay(2000);
  Serial.println("Mensaje 3 enviado" );
}
void sct013() {
  lectura = smoothread (1) / 1.41;    // lectura (rms)
  vS = (lectura * 0.0048);           // valor de C.A.D.
  iA = (lectura * S_Ratio)/1000;     // Intensidad (A)
  //pKW = (vV * iA)/1000;            // Potencia (kW)
  pKW = (vinx * iA)/1000;           // Potencia (kW)
  pKW2=pKW;
  pKW2=pKW2*1000;
  fP=pKW2/ (vinx*iA);

  Serial.print("\n- Tension predefinida [V --> " );
  Serial.print(vinx,0);
  Serial.print("\n- Lectura del sensor [V --> " );
  Serial.print(vS,3);
  Serial.print("\n- Intensidad calculada [A --> " );
  Serial.print(iA,3);
  Serial.print("\n- Potencia calculada [kW --> " );
  Serial.print(pKW,3);
  Serial.print("\n-----\n" );
}

```

```

void voltaje(){
float sampleBVal = 0;
// read the value at analog input
for (int x = 0; x < 500; x++){
  val = analogRead(analogInput);
  sampleBVal = sampleBVal + val;
  recibir();
}
float value = sampleBVal/500;
float vout = ((value * 5.0)+ 12) / 1024.0; // see text
// el +12 es un valor ajustado para compensar los valores restantes
float vin = vout / (R2/(R1+R2));
vinx=vin;
Serial.print("Volts= ");
Serial.println(vin);
//delay(500);
}
void recibir(){
  if(SIM900.available() >0)
  {
    inchar=SIM900.read();
    Serial.println(inchar);
    if (inchar=='#'){
      delay(10);
      inchar=SIM900.read();
      Serial.println(inchar);
      if (inchar=='a'){
        delay(10);
        inchar=SIM900.read();
        Serial.println(inchar);
        if (inchar=='a'){
          sms3();
        }
        if (inchar=='b'){
          digitalWrite(rele, LOW);
        }
        if (inchar=='c'){
          digitalWrite(rele, HIGH);
        }
      }
    }
    SIM900.println("AT+CMGD=1,4"); // delete all SMS
    SIM900.print("ATe0&w\r");
  }

  }//llave recepcion sms
}
void sumar(){
centesima ++;
EEPROM.write(0, centesima );
if (centesima > 9){
centesima=0;
milesima ++;
}

```

```
EEPROM.write(0, centesima);
EEPROM.write(1, milesima);
}
if (milesima > 9){
milesima=0;
unidades ++;
EEPROM.write(1, milesima);
EEPROM.write(2, unidades);
}
if (unidades > 9){
unidades=0;
decenas ++;
EEPROM.write(2, unidades);
EEPROM.write(3, decenas);
}
if (decenas > 9){
decenas=0;
centenas ++;
EEPROM.write(3, decenas);
EEPROM.write(4, centenas);
}
if (centenas > 9){
centenas=0;
unimil ++;
EEPROM.write(4, centenas);
EEPROM.write(5, unimil);
}
if (unimil > 9){
unimil=0;
decemil ++;
EEPROM.write(5, unimil);
EEPROM.write(6, decemil);
}
if (decemil > 9){
decemil=0;
centmil ++;
EEPROM.write(6, decemil);
EEPROM.write(7, centmil);
}
if (centmil > 9){
centmil=0;
EEPROM.write(7, centmil);
}
}
```

Anexo 2. Codificación del programa de la recepción de datos en Arduino IDE

```

|//Librerias comunicacion serial GSM
#include <SoftwareSerial.h>
//Librerias para tiempo
#include <Time.h> #include <TimeLib.h>
char inchar;
//Serial del GSM
SoftwareSerial SIM900(7, 8); //jumper 2 a tx y 3 a RX
//Variables de leds int led1 = 13;
int led2 = 9;
int x;
int lapso=0;
//Variable para guardar los caracteres que envía el SIM900
char incoming_char = 0;
int dat=0;
String vectorCaracteres;
String vectorCaracteres2;
String vectorCaracteres3;
char incoming= 0;
int waittime = 1;
// Inicializacion de fecha y hora
int hr=0;
int mm=0;
int sec=0;
int dd=13;
int mon=10;
int yr=2016;
char status;
double T,P,p0,a;
long unsigned int pause = waittime * 5; //Deteccion de tiempo cada 5 segundos
int calibrationTime = 30;
String detectionchange = " ";
boolean takeLowTime = false;
int lowIn = 0;
//Definicion de tiempo y fecha
#define TIME_HEADER "T"
#define TIME_REQUEST 7
char timeString[12];
char dateString[12];

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //Activar Salidas del arduino
  pinMode(led1, OUTPUT); pinMode(led2, OUTPUT);
  //Inicializar apagado los leds
  digitalWrite(led1, LOW);
  digitalWrite(led2, LOW);
  //Encender GSM
  SIM900power();
  SIM900.begin(19200);
  for (int x = 0;x<100; x++){
    SIM900.print("AT+CSCLK=1\r");
    delay(50);
  }
}

```

```

//Envio de mensaje SMS
SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
delay(100);
SIM900.print("AT+CNMI=2,2,0,0,0\r");
delay(100);
SIM900.print("ATe0&w\r");
Serial.print("Ready...");
//Inicializacion de tiempo
setSyncProvider( requestSync);
setTime(hr,mm,sec,dd,mon,yr);
Serial.print("#");
delay(1000);
Serial.print("$");
delay(1000);
Serial.print("#");
delay(1000);
Serial.print("$");
delay(1000);
}
void SIM900power(){
  digitalWrite(9, HIGH);
  delay(2000);
  digitalWrite(9, LOW);
  delay(100);
}

void loop(){
  if (lapso==0){
    if(SIM900.available() >0)
    {
      inchar=SIM900.read();
      Serial.print(inchar);
      if (inchar=='@'){
        delay(10);
        lapso=1;
        dat=1;
        vectorCaracteres = 0;
        setTime(hr,mm,sec,dd,mon,yr);
        delay(500);
        Serial.print("#");
      }
      if (inchar=='$'){
        delay(10);
        lapso=2;
        dat=1;
        vectorCaracteres2 = 0;
        setTime(hr,mm,sec,dd,mon,yr);
        delay(500);
        Serial.print("#");
      }
    }
  }
}

```

```

    if (inchar=='$'){
        delay(10);
        lapso=3;
        dat=1;
        vectorCaracteres3 = 0;
        setTime(hr,mm,sec,dd,mon,yr);
        delay(500);
        Serial.print("#");
    }
}
repcionpc();
}
if(lapso==1 && dat==1){
    if (SIM900.available() > 0){
        incoming_char = SIM900.read();
        //Guardamos el caracter que llega desde el SIM900 vectorCaracteres += incoming_char;
        if(incoming_char==' '){
            dat=0;
            lapso=0;
        }
    }
}
if(lapso==2 && dat==1){
    if (SIM900.available() > 0){
        incoming_char = SIM900.read();
        //Guardamos el caracter que llega desde el SIM900 vectorCaracteres2 += incoming_char;
        if(incoming_char==' '){
            dat=0;
            lapso=0;
        }
    }
}
if(lapso==3 && dat==1){
    if (SIM900.available() > 0){
        incoming_char = SIM900.read();
        //Guardamos el caracter que llega desde el SIM900 vectorCaracteres3 += incoming_char;
        if(incoming_char==' '){
            dat=0;
            lapso=4;//para subir a Visual Basic
        }
    }
}
if (lapso==4){
//Serial.println("Comunicando con Visual BAsic...");
Serial.print(" ");
Serial.print(vectorCaracteres);
Serial.print(" ");
Serial.print(vectorCaracteres2);
Serial.print(" ");
Serial.print(vectorCaracteres3);
delay(1000);
lapso=0;
}
sprintf(timeString, "%02d:%02d:%02d",hour(),minute(),second());
sprintf(dateString, "%d-%02d-%02d",year(),month(),day());
delay(waittime);
 analisis();
}

```

```

void analisis(){
  if (hour()==0){
    if (minute()==4){
      if (second()>30 &&second()<50){
        Serial.print("$");
      }
    }
  }
}
time_t requestSync(){
  Serial.write(TIME_REQUEST);
  return 0;
}
void recepcionpc(){

  if (Serial.available() > 0){
    incoming = Serial.read();
    //Guardamos el caracter que llega desde el SIM900
    if(incoming=='1'){
      SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
      delay(100);
      SIM900.println("AT + CMGS = \"+593991329664\"");
      delay(80);
      SIM900.print("#aa"); //mensaje a enviar delay(80);
      SIM900.println((char)26);
      delay(80);
      SIM900.println();
      delay(100);
      Serial.println("Mensaje 1 enviado" );
    }
    if(incoming=='2'){
      SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
      delay(100);
      SIM900.println("AT + CMGS = \"+593991329664\"");
      SIM900.print("#ab");
      delay(80);
      SIM900.println((char)26);
      delay(80);
      SIM900.println();
      delay(100);
      Serial.println("Mensaje 2 enviado" );
    }
    if(incoming=='3'){
      SIM900.print("AT+CMGF=1\r");
      delay(100);
      SIM900.println("AT + CMGS = \"+593991329664\"");
      delay(80);
    }
  }
}

```

```
SIM900.print("#ac");  
delay(80);  
SIM900.println((char)26);  
delay(80);  
SIM900.println();  
delay(100);  
Serial.println("Mensaje 3 enviado" );  
}  
//Mostramos el caracter en el monitor serie  
SIM900.println("AT+CMGD=1,4");  
//Borra todos los datos SMS  
SIM900.print("ATe0sw\r");  
}  
}
```

Anexo 3. Contratación del medidor monofásico AM



Quito, 7 de Agosto del 2019

CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

El medidor de energía eléctrica monofásico electrónico, perteneciente al Sr. Luis Miguel Anaguano, fue verificado en el Laboratorio de Medidores de la Empresa Eléctrica Quito, el 6 de Agosto del 2019, cuyas características se detallan a continuación.

Número	Forma	Marca	Modelo	Voltaje	Corriente	Tipo	Clase
S/N	1A	S/M	S/M	1X120V	1(30)A	AM	1

Las pruebas de verificación referentes al cumplimiento de la curva de operación, fueron realizadas utilizando el equipo de verificación y contrastación de medidores de energía eléctrica marca MTE cuyo medidor patrón tiene las siguientes características:

Tipo: SRS200.3
 No. De serie: 28245
 Clase: 0.02
 Fecha última de verificación y calibración: 2018-03-28

El medidor patrón (SRS200.3); fue verificado en Alemania, LABORATORIO DE CALIBRACION ZERA GMBH.

Se debe recalcar que al tratarse de un medidor de fabricación local no existe en los modelos con los que trabaja la Empresa eléctrica Quito, para lo cual se utilizó el modelo más cercano en características para la respectiva verificación de funcionamiento.

En el anexo 1, se adjunta una copia del certificado de calibración del medidor patrón, tipo SRS 200.3, con el que se realizaron las pruebas.

Los resultados de la verificación realizada al Medidor del Sr. Luis Miguel Anaguano, se encuentran detallado en el anexo 2 (PROTOCOLO DE MEDIDA)

De acuerdo a la verificación realizada cuyos resultados se indican en el anexo 2 se concluye que el contador de energía eléctrica se encuentra en normal funcionamiento, censando un porcentaje de error del 1.1 % encontrándose dentro de la clase de exactitud (Clase 1), con un registro normal de consumos y curva de operación establecida para este tipo de equipos; indicado en las normas IEC 62052-11 e IEC 62053-21

Atentamente.


 Ing. Santiago Chacón
 SUPERVISOR LAB. MEDIDORES (E)



Las Casas El-34 y Av. 10 de Agosto
 PSX: 3964-700
 Mariana de Jesús y 10 de Agosto
 PSX: 2553-010
 Casilla 17 01-473 • Código Postal 170518
 Quito - Ecuador



Figura. A.3.1. Área de verificación, contrastación y calibración de medidores EEQ



Figura. A.3.2. Equipo de calibración MTE, vista de perfil



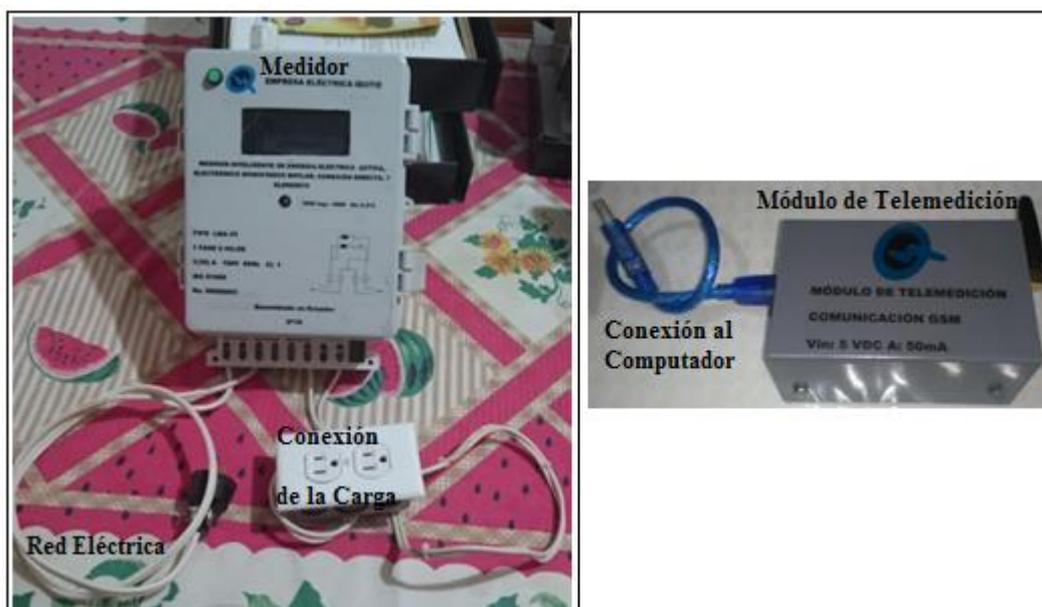
Figura. A.3.3. Equipo de calibración MTE, vista frontal



Figura. A.3.4. Medidor inteligente en equipo de calibración MTE

Anexo 4. Manual de Usuario

MEDIDOR INTELIGENTE DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN SISTEMA MONOFÁSICO BIFILAR, CON TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS A UNA CENTRAL PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO



Se ha realizado un manual de usuario con la finalidad de que cualquier persona tenga la capacidad de utilizar el medidor inteligente. A continuación, se elaboran los siguientes pasos para tener un funcionamiento correcto.

1. El medidor inteligente consta de una conexión de entrada dirigida a la conexión de la red de alimentación monofásica (fase, neutro) y dos conexiones de salida: una para conectar la carga deseada y otra para visualización de parámetros eléctricos del medidor inteligente. Además, el medidor contiene una pantalla LCD que muestra algunos parámetros eléctricos.



Figura. A.4.1. Medidor inteligente

2. Se tiene un segundo equipo que actúa como módulo de Telemedición, el cual posee una entrada de alimentación con cable USB.



Figura. A.4.2. Módulo de Telemedición

- Una vez reconocido los dos equipos, se procede a realizar las respectivas conexiones. En el caso del medidor se conecta a la red eléctrica y computador. Para el módulo de telemetración la conexión se realiza a un segundo computador.

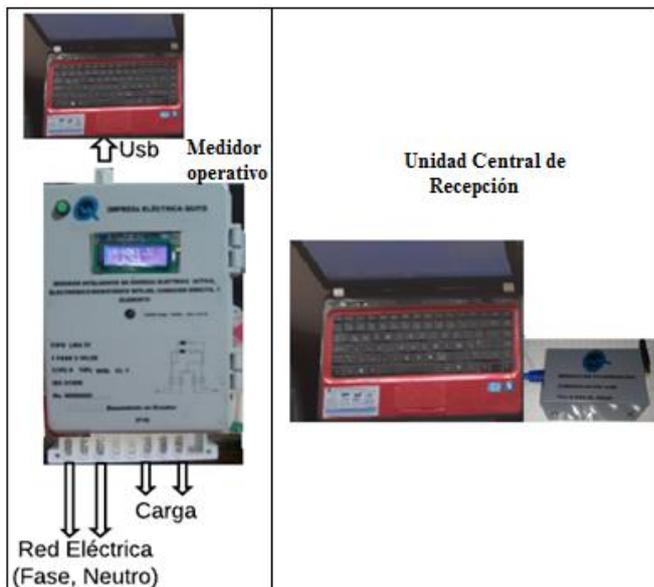


Figura. A.4.3. Conexiones del módulo de telemetración y medidor inteligente

- Si se desea ver los datos que muestra internamente el medidor inteligente, se abre el monitor serie del Arduino IDE. Aquí se observa, los datos leídos por el medidor y estos a su vez durante un periodo de tiempo son enviados vía GSM a la unidad central de recepción.

```

sketch_aug10a
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Monitor Serie
sketch_aug10a
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
COM3
Tomando lectura de sensor de corriente...
- Tension predefinida [V] --> 119
- Lectura del sensor [V] --> 0.001
- Intensidad calculada [A] --> 0.006
- Potencia calculada [W] --> 0.001
-----
BRQDA:
11:24:44.250 Fecha y hora: 2016-10-13, 00:00:08
Tomando lectura de sensor de voltaje...
Voltaje= 119.34
Tomando lectura de sensor de corriente...
- Tension predefinida [V] --> 120
- Lectura del sensor [V] --> 0.001
- Intensidad calculada [A] --> 0.006
- Potencia calculada [W] --> 0.001
-----
BRQDA:
11:27:21.500 Fecha y hora: 2016-10-13, 00:00:09
Tomando lectura de sensor de voltaje...
Voltaje= 119.67
Tomando lectura de sensor de corriente...
- Tension predefinida [V] --> 120
- Lectura del sensor [V] --> 0.001
- Intensidad calculada [A] --> 0.007
- Potencia calculada [W] --> 0.001
-----
BRQDA:
00:00:03.429 Fecha y hora: 2016-10-13, 00:00:10
Tomando lectura de sensor de voltaje...
Voltaje= 120.08
Tomando lectura de sensor de corriente...
  
```

Figura. A.4.4. Arduino IDE

5. Por último, se tiene la interfaz de comunicación que ofrece el módulo de telemedición y la aplicación realizada en Visual BASIC. Para ello, se realiza los siguientes pasos:

- En la computadora se busca la aplicación de la interfaz denominada “programa”.

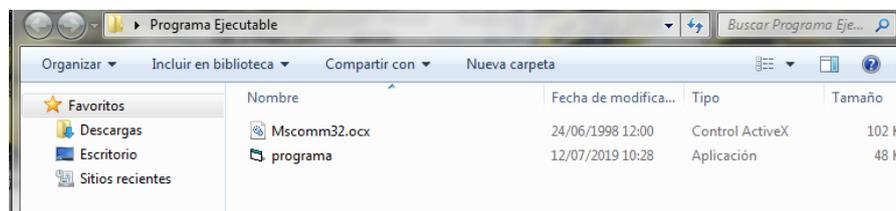


Figura. A.4.5. Ubicación de la interfaz

- Luego se da un clic derecho en la aplicación y se ejecuta como administrador para que la aplicación pueda abrirse.

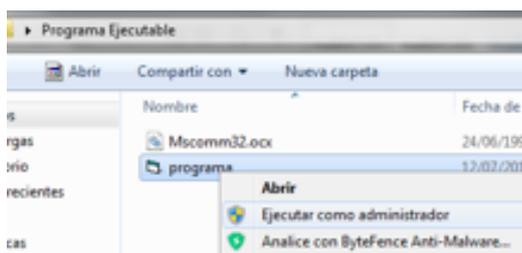


Figura. A.4.6. Abrir la interfaz gráfica

- Se observa una pantalla donde se deben ingresar cualquiera de los tres datos como suministro del medidor, cédula o número de teléfono celular.



Figura. A.4.7. Inicio de aplicación

- Una vez ingresado el dato, se valida a fin de que aparezca una pantalla, la cual contiene información sobre la fecha y hora, una pantalla negra donde indica cuando un mensaje del medidor es recibido, datos informativos del suministro, nombre de usuario y dirección, tres botones para toma de lecturas de medición, corte y reconexión del medidor. Por último, se tiene un LED monitor que se activa para indicar la recepción de datos vía GSM.

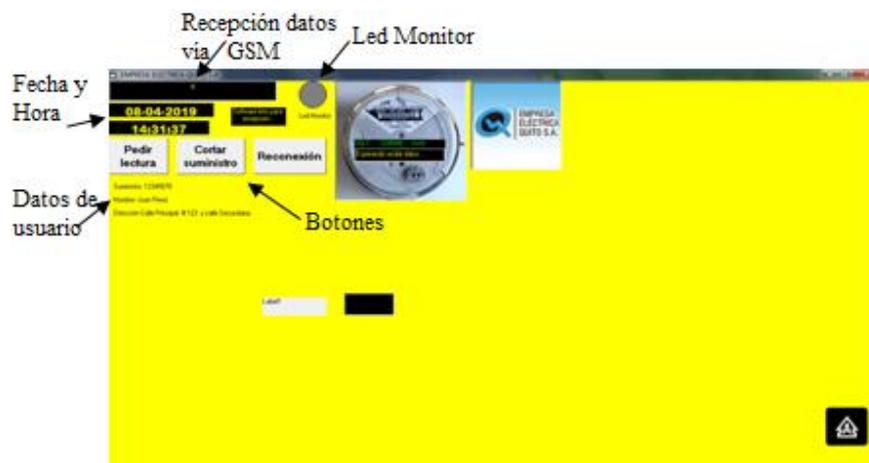


Figura. A.4.8. Pantalla principal de operación

- Cuando se desea saber la lectura en el medidor, se da clic en el botón “Pedir lectura”, con el propósito de abrir una hoja de cálculo en Excel donde se reciben datos relevantes como fecha, hora, número de suministro del medidor y energía consumida expresado en kilo vatio – hora.

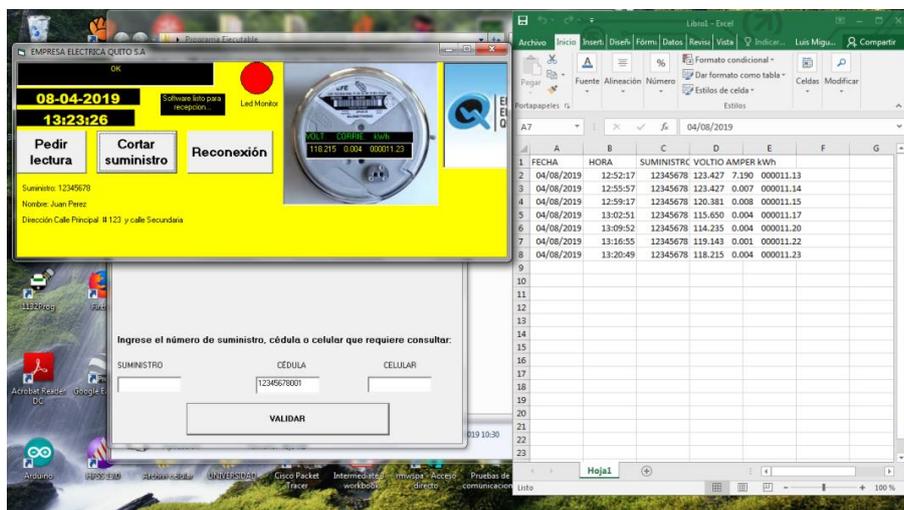
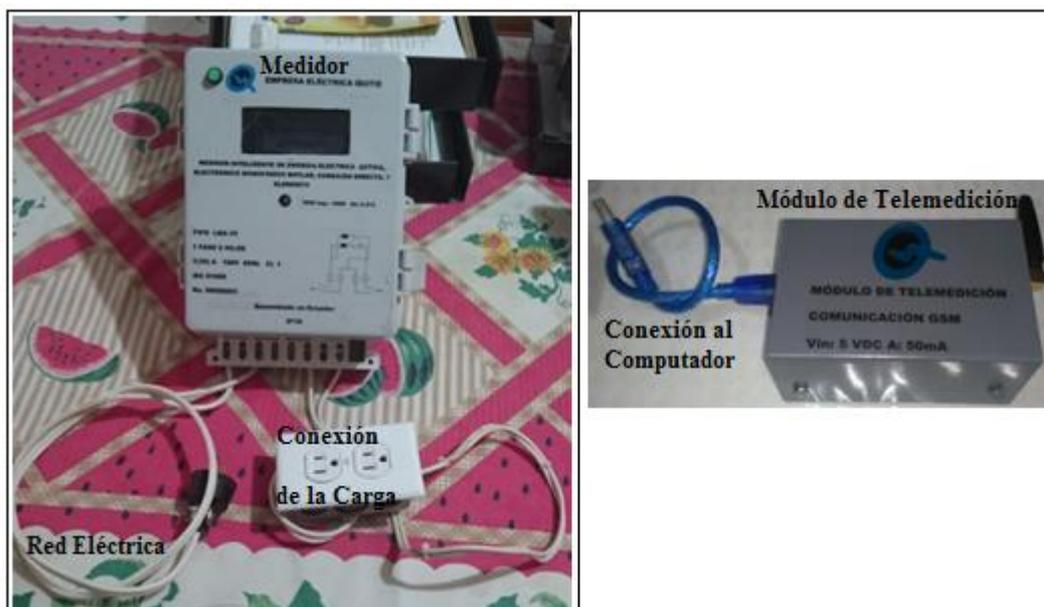


Figura. A.4.9. Hoja de cálculo

Anexo 5. Manual Técnico

MEDIDOR INTELIGENTE DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UN SISTEMA MONOFÁSICO BIFILAR, CON TRANSMISIÓN INALÁMBRICA DE DATOS A UNA CENTRAL PARA LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO



Se ha realizado un manual técnico con la finalidad de observar los elementos internos que conforma el medidor inteligente para envío y recepción de datos vía GSM. Como se observa el equipo posee dos módulos, el primero lo conforma un medidor inteligente provisto de elementos como Arduino Uno, pantalla LCD, sensores de voltaje y corriente, módulo shield GSM SIM900 y fuente de alimentación. En cambio, el segundo módulo está provisto del Arduino Uno y el módulo shield GSM.

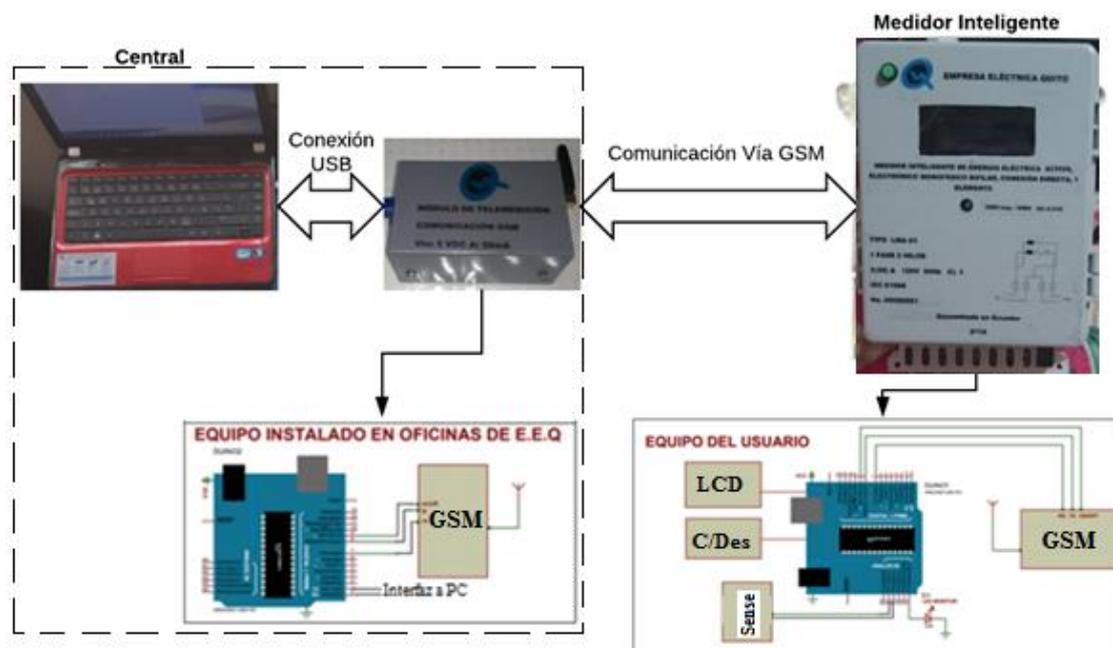


Figura. A.5.1. Constitución interna y externa del medidor inteligente y módulo de telemedición

En cuanto se refiere al hardware, tanto la unidad central de recepción de datos como el medidor inteligente utilizan elementos en común, tales como: plataforma Arduino uno y shield GSM SIM900. A continuación, se detallan las características técnicas de los siguientes elementos electrónicos:

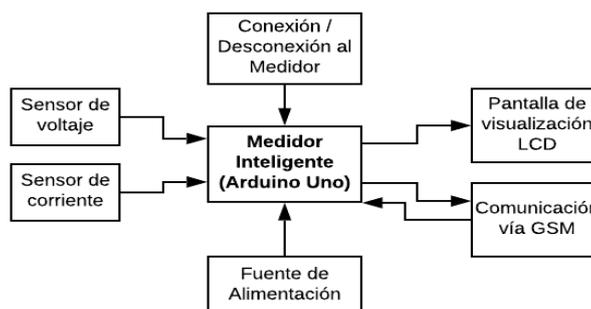


Figura. A.5.2. Esquema del medidor inteligente

1. El sensor de corriente utilizado es el modelo SCT013-030.



Product Specification

Date:2015-8-7

Product Name	Current transformer	Model	SCT013-030
--------------	---------------------	-------	------------

Characteristics: Opening size 13mm*13mm, 1m leading wire, standard $\Phi 3.5$ three-core plug output voltage output type.
 Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc.
 Patent No. : ZL 2015 3 0060067. X

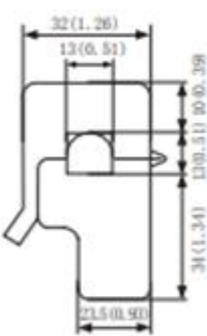
Technical Data

I_{PN}	Rated input	0-30A
I_{PM}	Max. detection input	
I_{OUT}	Rated output	0-1V
X	Accuracy	$\pm 1\%$
ϵ_L	Linearity	$\leq 0.2\%$
N	Turns ratio	1:1800
Φ	Phase shift	
R_L	Max. Sampling resistance	
V_{PN}	Work voltage	660V
f	Work frequency	50-1KHz
T_A	Operating temperature	-25..+70°C
T_S	Storage temperature	-40..+85°C
V_d	Dielectric strength, 50 Hz, 1 min	3KV

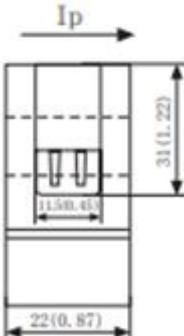


Fire resistance	UL94-V0
Material of core	Ferrite
Mounting type	Suspension
Weight	55g

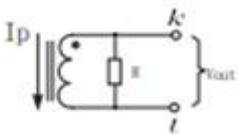
Dimension (mm(in). 1 mm= 0.0394 inch)



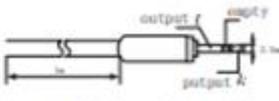
Front view



Side view



Schematic diagram



Standard three-core pligs schematic diagram
(can provide other wiring way)

<http://www.yhdc.com>

Figura. A.5.3. Catálogo del sensor de corriente

Además, posee un circuito de acondicionamiento para tener una lectura análoga en el Arduino. Está formado por un rectificador AC/DC y un comparador de voltaje, estos a su vez utilizan circuitos amplificadores LM358, resistencias, diodos y capacitores.

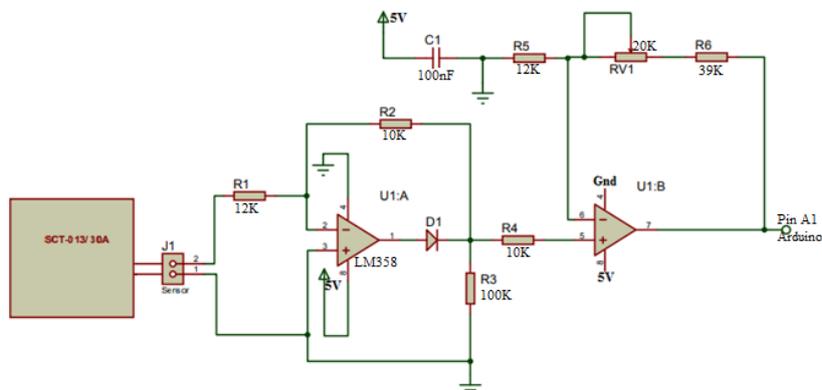


Figura. A.5.4. Circuito de acondicionamiento para el sensor de corriente

2. El sensor de voltaje utiliza un circuito de acondicionamiento formado por un transformador, puente de diodos, filtros capacitivos y resistencias en serie que actúan como divisor de voltaje.

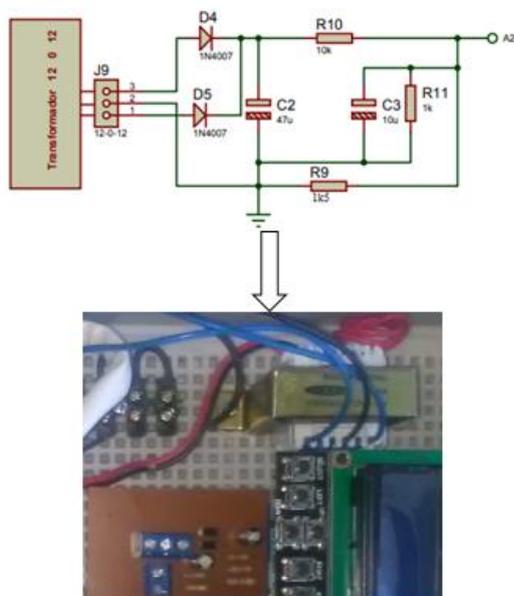


Figura. A.5.5. Zona rectificadora de voltaje

3. El circuito para corte/reconexión del medidor utiliza circuitos como resistencia, transistor 2N2222, diodo 1N4007, relé de 12 voltios, bornera y contactor.

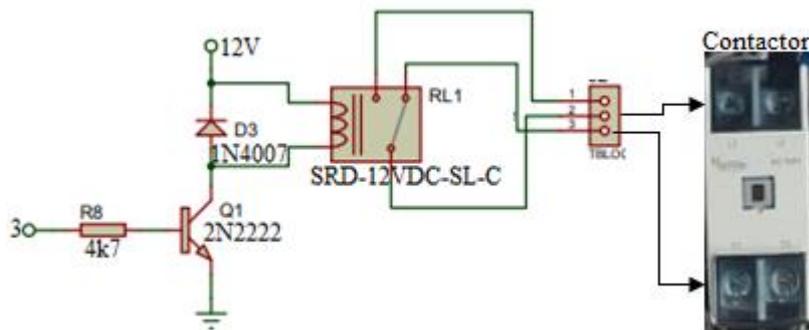


Figura. A.5.6. Circuito de corte y reconexión para la carga

4. La fuente de alimentación está formada por un circuito integrado LM2596.

DESCRIPCIÓN VALORACIONES (0) DETALLES Denunciar artículo

Avión RC Mini 360 DC-DC paso módulo convertidor Buck, 4.75 V-23 V a 1 V. 17 V 17x1 1x3,8mm Mini360 5 piezas nuevoLM2596

 1 pieza 18027663739 USD 9.89 (precio)	 21 piezas 18027663739 USD 4.98 (precio)	 21 piezas 18027663739 USD 4.99 (precio)	 21 piezas 18027663739 USD 9.49 (precio)
 1 pieza 18027663739 USD 4.99 (precio)	 1 pieza 18027663739 USD 13.35 (precio)	 1 pieza 18027663739 USD 34.99 (precio)	 1 pieza 18027663739 USD 12.58 (precio)

Especificación

Nombre del modelo: Mini-360 (módulo reductor/rectificador síncrono de tamaño ultra pequeño DC-DC)

Propiedades del módulo: buck sin enclavo

Rectificación: rectificación síncrona

Voltaje de entrada: 4.75 V-23 V

Voltaje de salida: 1.0 V-1.7 V

Corriente de salida: bajo el valor de 3A, largo a

Eficiencia de conversión: 95% (máximo)

Frecuencia de conmutación: 540 kHz

Regulación de salida: 30 mV (en carga)

Regulación de la carga: ± 0.5%

Regulación de voltaje: ± 2.5%

Temperatura de funcionamiento: -40 Celsius a + 85 Celsius

Características: utiliza inductor de potencia integrado y chip de control de rectificador síncrono, más pequeño y más eficiente.

Paquete modular:

5 * LM2596 de modelado

Etiquetas:

HoBiMart

Figura. A.5.7. Fuente regulada de voltaje DC-DC

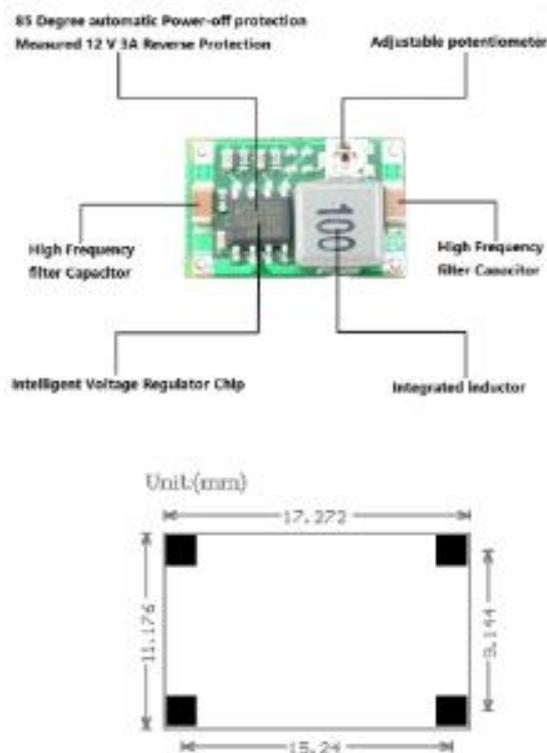


Figura. A.5.8. Componentes de la fuente regulada

5. El controlador que posee cada módulo (medidor y Telemedición) es el Arduino Uno.

The screenshot shows the Arduino Uno Rev3 product page on the Arduino store website. The page includes the following elements:

- Navigation menu: CASA, ALMACENAR, SOFTWARE, EDUCACIÓN, RECURSOS, COMUNIDAD, AYUDA
- Product name: ARDUINO UNO REV3 (Codigo: A000066)
- Price: \$ 22.00 (impuesto no incluido)
- Quantity selector: Cantidad: 1
- Buttons: AÑADIR A LA CESTA, ¿Querer aprender más?, EMPEZANDO
- Product image: A photograph of the Arduino Uno Rev3 board.
- Footer: Inicio de tienda > Arduino Uno Rev3
- Navigation links: NUEVOS PRODUCTOS, MÁS POPULAR, OFERTAS ESPECIALES
- Description: UNO es la mejor placa para comenzar con la electrónica y la codificación. Si esta es su primera experiencia jugando con la plataforma, UNO es el tablero más robusto con el que puede comenzar a jugar. La ONU es la junta más utilizada y documentada de toda la familia Arduino.

Figura. A.5.9. Arduino Uno

https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3

CASA ALMACENAR SOFTWARE EDU RECURSOS COMUNIDAD AYUDA

[VISIÓN GENERAL](#)
[ESPECIFICACIONES TÉCNICAS](#)
[DOCUMENTACIÓN](#)

Arduino Uno es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P (hoja de datos). Tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. Puede jugar con su UNO sin preocuparse demasiado por hacer algo mal, en el peor de los casos, puede reemplazar el chip por unos pocos dólares y comenzar de nuevo.

"Uno" significa uno en italiano y fue elegido para marcar el lanzamiento de Arduino Software (IDE) 1.0. La placa Uno y la versión 1.0 de Arduino Software (IDE) fueron las versiones de referencia de Arduino, ahora evolucionadas a versiones más nuevas. La placa Uno es la primera de una serie de placas Arduino USB, y el modelo de referencia para la plataforma Arduino; Para obtener una lista extensa de tableros actuales, pasados u obsoletos, consulte el índice de tableros Arduino.

Puede encontrar aquí la información de la garantía de su placa.

Empezando

Puede encontrar en la sección [Introducción](#) toda la información que necesita para configurar su placa, usar el software Arduino (IDE) y comenzar a jugar con la codificación y la electrónica.

[VISIÓN GENERAL](#)
[ESPECIFICACIONES TÉCNICAS](#)
[DOCUMENTACIÓN](#)

Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines de E / S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de E / S digitales PWM	6 6
Pines de entrada analógica	6 6
Corriente CC por pin de E / S	20 mA
Corriente DC para Pin de 3.3V	50 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0.5 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	68,6 mm
Anchura	53,4 mm
Peso	25 g

Figura. A.5.10. Características del Arduino Uno

6. Se tienen dos módulos shield GSM SIM900.

The image shows a screenshot of a website's product page for a 'MODULO SIM900 GSM GPRS SHIELD PARA ARDUINO'. The page layout includes a navigation bar at the top with the 'tecnikro' logo and a search bar. On the left side, there is a 'NOVEDADES' (New Arrivals) section listing various products like 'Arduino Uno R3', 'Servomotor Tower Pro', 'LM2596 Modulo regulador step down', 'Teclado Matricial Negro 3x4', and 'Protoboard 1660'. The main product area features a large image of the GSM module, its price (\$35.95), and a 'Añadir al carrito' (Add to cart) button. Below the product image, there are social media sharing options and a 'DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO' section. The description provides technical specifications such as 'Quad-Band 850/900/1800/1900 MHz', 'GPRS clase 10.08 multi-slot', and 'Compatible con RTC'. It also includes a 'Contenido' (Contents) list and instructions on 'Cómo probar el módulo GSM ICOMSAT V1.1' and 'Cómo enviar un mensaje ó hacer una llamada'. At the bottom left, there is a 'CATEGORÍAS' (Categories) sidebar with filters for 'ADAPTADORES DE INTERFAZ', 'ALIMENTACIÓN-PILAS-BATERÍAS', 'ARDUINO', 'Otros módulos', 'Sensores', 'Tarjetas programables', 'Transmisores-Receptores', 'COMPONENTES ELECTROMECHANICOS', 'COMPONENTES PASIVOS', and 'DISPOSITIVOS OPTOELECTRONICOS'.

Figura. A.5.11. Catálogo del módulo GSM

7. Se dispone de una pantalla LCD de 16 columnas y 2 filas.

https://electronicgadgets.co/electronica/-shield-lcd-16x2-arduino-208.html

Home > Electrónica > Shield Lcd 16x2 Arduino



Shield Lcd 16x2 Arduino

Tuitear Compartir Google+ Pinterest

Referencia SKU00222

Condición: Nuevo producto

Módulo diseñado para Arduino que permite visualizar información en 2 líneas por 16 caracteres. Para una mejor interacción con el usuario, dispone de retroiluminación LED y cinco botones para permitir la navegación y selección por el menú. Fácil manejo e implementación

5 artículos

\$ 14,990

Cantidad

1 - +

AÑADIR AL C...   

FICHA TÉCNICA **MÁS** RESEÑAS

Shield Lcd 16x2 Arduino

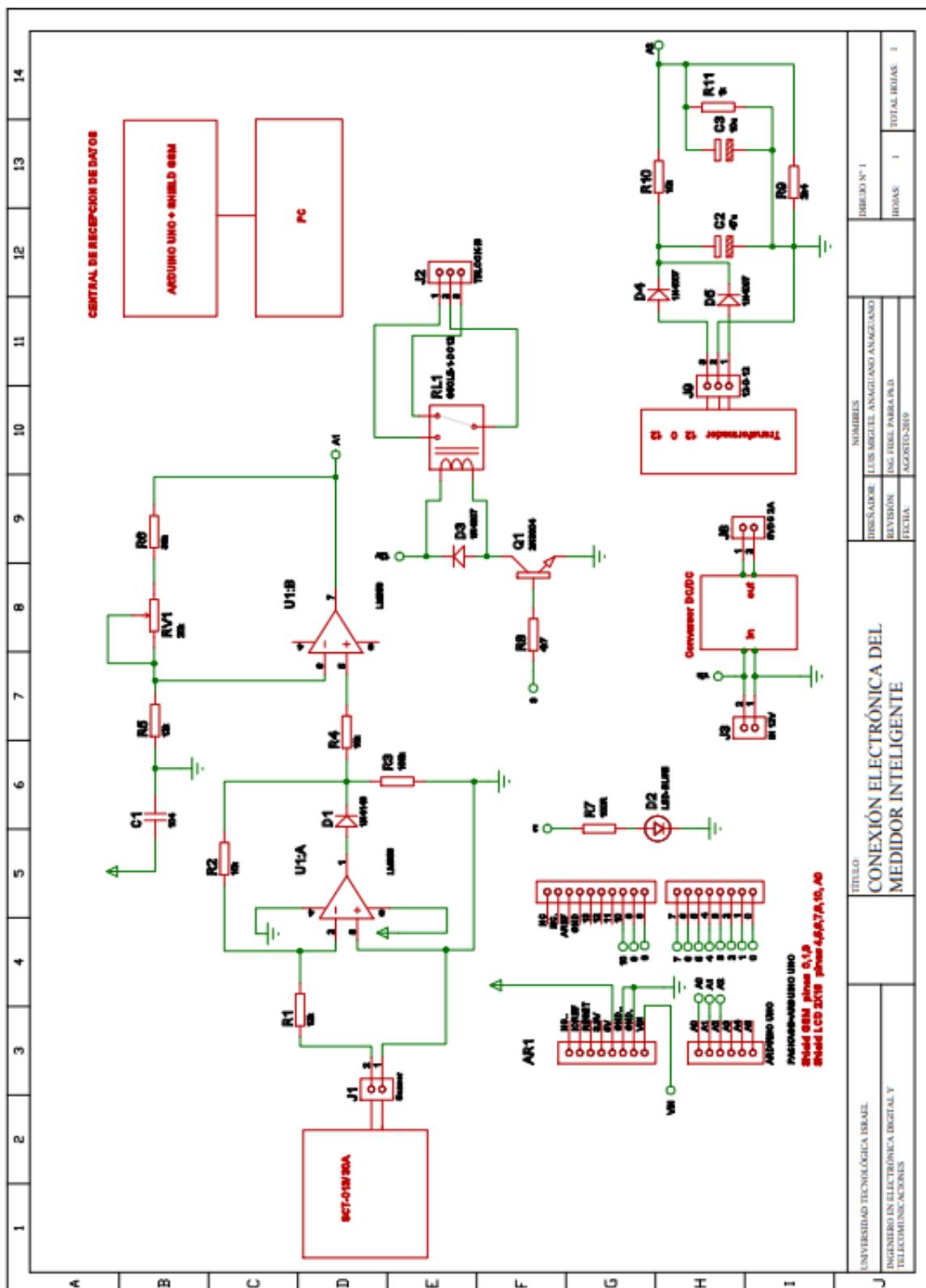
ESPECIFICACIONES GENERALES: Lcd 16x2 Fácil manejo 6 pulsadores Compatible con arduino uno y mega Librerías disponibles en internet

CARACTERÍSTICAS: Módulo diseñado para Arduino que permite visualizar información en 2 líneas por 16 caracteres. Para una mejor interacción con el usuario, dispone de retroiluminación LED y cinco botones para permitir la navegación y selección por el menú, Fácil manejo e implementación.

EL PAQUETE CONTIENE: Un Shield Lcd 16x2 Arduino

Figura. A.5.12. Catálogo del módulo LCD

Anexo 6. Diagrama electrónico del medidor inteligente



Anexo 7. Placas PCB

