



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS**  
**ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL**

**Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones**

**TEMA:**

---

**EQUIPO DE TELEMEDICIÓN ELÉCTRICA PARA CLIENTES  
RESIDENCIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA**

---

Proyecto de Graduación. Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Física y Electrónica

**AUTOR:** Juan Carlos Morales Sánchez

**TUTOR:** Ing. Manuel Rigoberto Otorongo Cornejo, Mg.

AMBATO- ECUADOR

MARZO 2018

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Investigación, sobre el tema: “EQUIPO DE TELEMEDICIÓN ELÉCTRICA PARA CLIENTES RESIDENCIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA”, de él señor JUAN CARLOS MORALES SÁNCHEZ, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato Marzo, 2018

El TUTOR  
  
Ing. Manuel Rigoberto Otorongo Cornejo. Mg.

## AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: “EQUIPO DE TELEMEDICIÓN ELÉCTRICA PARA CLIENTES RESIDENCIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA”, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad de autor.

Ambato Marzo, 2018



---

Juan Carlos Morales Sánchez

CC: 1804493565

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato Marzo, 2018



---

Juan Carlos Morales Sánchez

CC: 1804493565

## APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los Señores Docentes Ing. Marco Antonio Jurado Lozada Mg. y Dr. Alberto Ríos Villacorta, reviso y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado: “EQUIPO DE TELEMEDICIÓN ELÉCTRICA PARA CLIENTES RESIDENCIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA INALÁMBRICA”, presentado por el señor Juan Carlos Morales Sánchez de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica Ambato.



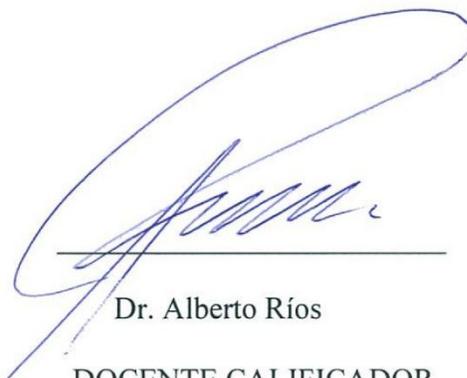
Ing. Elsa Pilar Urrutia Mg.

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Ing. Marco Jurado Mg.

DOCENTE CALIFICADOR



Dr. Alberto Ríos

DOCENTE CALIFICADOR

## **DEDICATORIA**

*A mi amado padre Isais, a mi amada  
abuelita Luz María, a mi amada  
madre Olga, a mis amados hermanos  
Mariela, Javier, Danilo y Luz Paola  
quienes con sacrificio, esfuerzo, cariño  
y apoyo han sido el pilar fundamental  
en mi desarrollo académico y  
personal.*

***Juan Carlos Morales Sánchez***

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por darme la sabiduría para  
cumplir cada una de las metas  
propuestas, y en los momentos  
complicados bendecirme para no  
rendirme y seguir adelante.*

*Juan Carlos Morales Sánchez*

## ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR .....	ii
AUTORÍA .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	xvii
RESUMEN .....	xix
ABSTRACT .....	xx
INTRODUCCIÓN.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA.....	1
1.1. TEMA .....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.3. DELIMITACIÓN.....	2
1.3.1. Delimitación de contenidos .....	2
1.3.2. Delimitación Espacial.....	3
1.3.3. Delimitación Temporal.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.5. OBJETIVOS .....	4

1.5.1. Objetivo General: .....	4
1.5.2. Objetivos Específicos: .....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	5
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2.2.1. Estructura institucional del sector eléctrico ecuatoriano. ....	8
2.2.2. Estructura empresarial del sector eléctrico en ecuatoriano. ....	9
2.2.3. Generación y Trasmisión de energía eléctrica.....	11
2.2.4. Pérdidas de energía eléctrica por Distribución .....	13
2.2.5. Sistema de tarificación eléctrica en el Ecuador .....	16
2.2.6. Facturación por servicio eléctrico mensual .....	20
2.2.7. Sistema eléctrico domiciliario .....	21
2.2.8. Medidor de energía eléctrica .....	22
2.2.9. Potencia eléctrica.....	29
2.2.10. Telemedición .....	32
2.2.11. Rede de comunicación Móvil e Inalámbrica .....	34
2.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN .....	37
CAPÍTULO III .....	38
3. METODOLOGÍA .....	38
3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	38
3.3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	39
3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	39

3.5. DESARROLLO DEL PROYECTO .....	39
CAPÍTULO IV .....	40
4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	40
4.1. INTRODUCCIÓN .....	40
4.2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN .....	40
4.2.1. Diagrama de bloques del sistema propuesto .....	41
4.3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE.....	42
4.3.1. Equipo de medición.....	42
4.3.2. Dispositivos de entrada y salida .....	45
4.3.3. Unidad de Monitoreo.....	52
4.4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE TELEMEDICIÓN ..	55
4.4.1. Diseño electrónico del equipo de telemedición.....	56
4.5. UTILIZACIÓN DEL SERVIDOR .....	60
4.5.1. Cliente.....	61
4.5.2. Servidor .....	63
4.5.3. MySQL.....	64
4.6. IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE TELEMEDICIÓN .....	65
4.7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	67
4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	80
4.9. PRESUPUESTO .....	86
4.10. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	87
CAPITULO V.....	92
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	92
5.1. CONCLUSIONES .....	92

5.2. RECOMENDACIONES .....	93
BIBLIOGRAFÍA .....	94
ANEXO A .....	103
ANEXO B.....	107
ANEXO C.....	109
ANEXO D .....	111
ANEXO E.....	113
ANEXO F .....	115
ANEXO G .....	117
ANEXO H .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1:</b> Sistema Eléctrico Nacional [19].....	13
<b>Figura 2. 2:</b> Sistema Eléctrico Domiciliario [22].....	21
<b>Figura 2. 3:</b> Medidor electromecánico [27] .....	24
<b>Figura 2. 4:</b> Medidor Electrónico [28].....	26
<b>Figura 2. 5:</b> Esquema simplificado de un sistema de telemedición [34] .....	33
<b>Figura 2. 6:</b> Redes Móviles e Inalámbricas [36].....	36
<b>Figura 4. 1:</b> Diagrama de bloques Equipo de Telemedición. ....	41
<b>Figura 4. 2:</b> Diagrama del sistema propuesto.....	41
<b>Figura 4. 3:</b> Adquisición de datos DAQ [39].....	43
<b>Figura 4. 4:</b> Distribución de pines Arduino Mega 2560 [42]. ....	44
<b>Figura 4. 5:</b> Transformador de voltaje [44]. ....	46
<b>Figura 4. 6:</b> SCT013-100 .....	48
<b>Figura 4. 7:</b> LCD 16x2 I2C [46].....	49
<b>Figura 4. 8:</b> Micro SD [47] .....	50
<b>Figura 4. 9:</b> Reloj en tiempo real DS1307 [49]. ....	52
<b>Figura 4. 10:</b> Modulo GSM/GPRS [50].....	54
<b>Figura 4. 11:</b> Módulo relé [51]. ....	55
<b>Figura 4. 12:</b> Diseño electrónico del prototipo .....	57
<b>Figura 4. 13:</b> Acondicionamiento de corriente [52].....	58
<b>Figura 4. 14:</b> Acondicionamiento de Voltaje [52].....	59
<b>Figura 4. 15:</b> Arquitectura cliente servidor [53] .....	60
<b>Figura 4. 16:</b> URL del servidor.....	62
<b>Figura 4. 17:</b> URL Aplicación .....	62
<b>Figura 4. 18:</b> Servidor Apache.....	64
<b>Figura 4. 19:</b> Diagrama de implementación del equipo de medición .....	65
<b>Figura 4. 20:</b> Shied de componentes.....	66
<b>Figura 4. 21:</b> Conexión Sensores .....	66
<b>Figura 4. 22:</b> Shied Arduino Acondicionamiento-DAQ.....	67

<b>Figura 4. 23:</b> Muestras ADC de Voltaje .....	68
<b>Figura 4. 24:</b> Muestra de voltaje para el ADC .....	69
<b>Figura 4. 25:</b> Muestras ADC de Corriente.....	69
<b>Figura 4. 26:</b> Valor del ADC de la entrada de corriente .....	70
<b>Figura 4. 27:</b> Comprobación de Voltaje en ítem 5.....	72
<b>Figura 4. 28:</b> Comprobación de corriente ítem 11 .....	73
<b>Figura 4. 29:</b> Ingreso y Almacenamiento en DB .....	76
<b>Figura 4. 30:</b> Servidor Web tabla de datos .....	77
<b>Figura 4. 31:</b> Perfil de Voltaje .....	78
<b>Figura 4. 32:</b> Perfil de Potencia en la carga .....	78
<b>Figura 4. 33:</b> Consumo acumulado.....	79
<b>Figura 4. 34:</b> Corte y reconexión de servicio electrico .....	80
<b>Figura 4. 35:</b> Análisis de Voltaje .....	81
<b>Figura 4. 36:</b> Análisis de corriente.....	83
<b>Figura 4. 37:</b> Análisis de potencia .....	84
<b>Figura 4. 38:</b> Análisis de consumo .....	85
<b>Figura 4. 39:</b> Beneficio .....	91
<b>Figura A 1:</b> Arquitectura ArduinoMega2560 .....	103
<b>Figura A 2:</b> Distribución de pines ArduinoMega2560 .....	104
<b>Figura B 1:</b> STC013-100 .....	107
<b>Figura B 2:</b> STC03-100 conexión con Arduino.....	108
<b>Figura C 1:</b> RTC real time clock .....	109
<b>Figura C 2:</b> RTC conexión con Arduino .....	110
<b>Figura D 1:</b> Micro SD .....	111
<b>Figura D 2:</b> Conexión Arduino Micro Sd .....	112
<b>Figura E 1:</b> LCD con I2C .....	113
<b>Figura E 2:</b> LCD conexión con Arduino .....	114
<b>Figura F 1:</b> SIMCOM 900 .....	115
<b>Figura G 1:</b> Modulo relé.....	117
<b>Figura G 2:</b> Conexión Modulo relé con Arduino .....	118



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1:</b> Ventajas y desventajas antecedentes investigativos .....	7
<b>Tabla 2. 2:</b> CNEL-EP Empresas de Distribución [16].....	10
<b>Tabla 2. 3:</b> Empresas Eléctricas en Ecuador [16]. .....	11
<b>Tabla 2. 4:</b> Generación de Energía Eléctrica [16].....	12
<b>Tabla 2. 5:</b> Pérdidas de energía eléctrica [16].....	15
<b>Tabla 2. 6:</b> Sistema de tarificación eléctrica en Ecuador [7]. .....	16
<b>Tabla 2. 7:</b> Cargos tarifarios usuarios residenciales [7].....	17
<b>Tabla 2. 8:</b> Tarifa general sin demanda [7].....	19
<b>Tabla 2. 9:</b> Medidores Eléctricos [23], [24], [25], .....	23
<b>Tabla 2. 10:</b> Comparación de medidores .....	27
<b>Tabla 2. 11:</b> Comparación de las tecnologías redes inalámbricas [36].....	37
<b>Tabla 4. 1:</b> Tabla comparativa para la selección de Microcontrolador [40], [41]. ..	43
<b>Tabla 4. 2:</b> Tabla comparativo para la selección del sensor de voltaje [43]. .....	45
<b>Tabla 4. 3:</b> Selección del sensor de corriente [45]. .....	47
<b>Tabla 4. 4:</b> Dispositivos de visualización [45].....	48
<b>Tabla 4. 5:</b> Selección del módulo de almacenamiento.....	50
<b>Tabla 4. 6:</b> Selección de módulo de tiempo real [48], [49].....	51
<b>Tabla 4. 7:</b> Estándar de Comunicación [36].....	52
<b>Tabla 4. 8:</b> Selección del módulo relé [51]. .....	54
<b>Tabla 4. 9:</b> Medición de voltaje Multímetro/Prototipo .....	71
<b>Tabla 4. 10:</b> Medición de Corriente Pinza/prototipo .....	72
<b>Tabla 4. 11:</b> Medición de Potencia Calculada/Prototipo .....	74
<b>Tabla 4. 12:</b> Comparación mediciones de consumo .....	75
<b>Tabla 4. 13:</b> Errores de Voltaje .....	81
<b>Tabla 4. 14:</b> Errores de Corriente.....	82
<b>Tabla 4. 15:</b> Error de potencia.....	84
<b>Tabla 4. 16:</b> Error de consumo.....	85
<b>Tabla 4. 17:</b> Presupuesto del Prototipo .....	86

<b>Tabla 4. 18:</b> Costos Corte/Reconexión. [54].....	87
<b>Tabla 4. 19:</b> Costos de lectura. [24] .....	88
<b>Tabla 4. 20:</b> Costos Anuales .....	88
<b>Tabla 4. 21:</b> Tasa interna de retorno .....	89
<b>Tabla 4. 22:</b> Periodo de recuperación de la inversion.....	90
<b>Tabla A 1:</b> Características técnicas Arduino Mega.....	105
<b>Tabla B 1:</b> Características técnicas STC013-100 .....	108
<b>Tabla C 1:</b> Características técnicas RTC .....	110
<b>Tabla D 1:</b> Características técnicas Micro sd.....	112
<b>Tabla E 1:</b> Características técnicas LCD .....	114
<b>Tabla F 1:</b> Características técnicas SIM 900 .....	116
<b>Tabla G 1:</b> Características técnicas módulo relé.....	118

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

BPL	
Broadband Power Line .....	6
CA	
Corriente alterna.....	72
CENACE	
Centro Nacional de Control de Energía.....	9
CGI	
Interface de entrada comun.....	61
CNEL-EP	
Corporación Nacional de Electricidad.....	10
DAQ	
Dispositivo de adquisición de datos .....	42
DR	
Respuesta a la demanda .....	5
GPRS	
General Packet Radio Service.....	6
HTML	
Lenguaje de marcas de hipertexto .....	61
HTTP	
Protocolo de transferencia de hipertexto .....	61
IEC	
Comisión Electrotécnica Internacional.....	28
Landys Gyr	
Medidores de EASSA para clientes industriales (S4) .....	6
PCB	
Placa de circuito impreso.....	65
PHP	
Procesador de hipertexto.....	63
PLC	
Power Line Communication .....	6
SERCOP	
Servicio Nacional de Contratación Pública .....	88
SM	
Medidor Inteligente.....	5
SNT	
Sistema Nacional de Transmisión.....	12
Telnet	

Telecommunication Network .....	6
WLAN	
Red de Área Local Inalámbrica .....	37
WMAN	
Red de Area Metropolitana.....	37
WPAN	
Redes inalámbricas de área personal .....	37
WWAN	
Red Inalámbrica de Area Amplia .....	37

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación se enfocó en el diseño y construcción de un equipo de telemedición eléctrica para un hogar o vivienda que se encuentra dentro del grupo de tarificación eléctrica residencial, este equipo permitió monitorear el consumo eléctrico de una vivienda ubicada en las calles Av. Jorge Chacón y Mejía del cantón Pelileo. Para ello se emplea una tarjeta Arduino, sensores de corriente y de voltaje, módulo de almacenamiento micro SD, pantalla de cristal líquido de 16x2, modulo relé, Shied de componentes electrónicos utilizada para el acondicionamiento de señales eléctricas y una Shied GPRS que se encarga de la comunicación hacia un servidor LAMP conectado a internet.

Este equipo permite el monitoreo del consumo eléctrico en el hogar, para ello envía valores (voltaje, corriente, potencia y consumo eléctrico) hacia una base de datos en un servidor con el fin de generar un registro de la red de transmisión de baja voltaje a la que está conectada su bornera de entrada, la potencia generada por la carga conectada en la bornera de salida y el consumo eléctrico de la vivienda. Con esto el usuario puede realizar un control periódico de su consumo mensual y la empresa de distribución detectar caídas de voltaje o apagones, además, de un control de la bornera de salida en caso de requerir una desconexión o conexión del usuario en mora (falta de pago del servicio eléctrico).

Para presentar los datos se emplean dos funciones, una es localmente en la pantalla LCD del equipo instalado en la vivienda (usuario) y la segunda es de manera remota mediante el ingreso a una página web (servidor) que presenta información relacionada con el equipo de telemedición, cada una de estas visualizaciones mantiene su función principal que es la presentación del consumo eléctrico residencial para el cual fue construido el equipo y los parámetros principales que se recogen para este fin (voltaje, corriente, potencia) .

**Palabras Clave:** Redes Eléctricas, Telemedición, LAMP.

## ABSTRACT

The present degree focused in the design and construction of a team of telemetric electrical for a home or house that is within the group of residential electrical tariffication, this allowed to monitor the electrical consumption of a house located in the streets Av. Jorge Chacón and Mejía of the Pelileo city. For this, an Arduino card, current and voltage sensors, micro SD storage module, 16x2 liquid crystal display, relay module, electronic component Shied used for the conditioning of electrical signals and a Shied GPRS is used. the communication to a LAMP server connected to the internet.

This equipment allows the monitoring of electricity consumption in the home, for it sends values (voltage, current, power, consumption) to a database on a server in order to generate a record of the low voltage transmission network to the that its input terminal is connected, the power generated by the load connected to the output terminal board and the electrical consumption of the house. With this the user can perform a periodic control of their monthly consumption and the distribution company detect voltage drops or blackouts, in addition, a control of the output terminal in case of requiring a disconnection or connection of the user in default (lack of payment of electric service).

To present the data, two functions are used, one is locally on the LCD screen of the equipment installed in the dwelling (user) and the second is remotely by entering a web page (server) that presents information related to the computer telemetering, each of these visualizations maintains its main function which is the presentation of the residential electrical consumption for which the equipment was built and the main parameters that are collected for this purpose (voltage, current, power).

**Keywords:** Electrical Networks, Telemetering, LAMP.

## INTRODUCCIÓN

En el país, el desarrollo y puesta en marcha de proyectos de telemedición residencial es un tema relativamente nuevo que va tomando importancia debido a que los sistemas que incorporan telemedición (medición a distancia) presentan ventajas como lectura de consumo en zonas de difícil acceso por vía terrestre, alejados del centro de control, ubicados en zonas conflictivas o peligrosas, entre otras. Esto ha generado la necesidad de contar con equipos de telemedición residencial para el registro del consumo eléctrico. En este proyecto, se implementa un equipo de telemedición con hardware y software libre. Asimismo, se establecen los parámetros de desarrollo y construcción del prototipo y se valida su correcto funcionamiento a través de las pruebas experimentales.

El trabajo se desarrolló en 5 capítulos, el primer capítulo se estableció el tema, planteamiento del problema, delimitación temporal y espacial del proyecto, justificación que sustentó el desarrollo del proyecto y finalmente los objetivos tanto general como específicos que han sido cumplidos.

El segundo capítulo se analizaron los antecedentes investigativos sobre temas relacionados con el proyecto, la fundamentación teórica que sustentó su desarrollo y finalmente la propuesta de solución.

El tercer capítulo abarca la modalidad de investigación bibliográfica y experimental utilizada, también la recolección de la información que sirvió para el procesamiento y análisis de datos necesarios para el desarrollo del equipo de telemedición eléctrica.

El cuarto capítulo contiene los recursos humanos y económicos para el desarrollo del proyecto, la selección de dispositivos y materiales electrónicos a ocuparse, diagrama del bloque del sistema implementado, placas simuladas y ruteadas en el software Proteus y la implementación del sistema con sus pruebas de validación respectivas. Finalmente, en el quinto capítulo se desarrollaron las conclusiones y recomendaciones del equipo de telemedición eléctrica para clientes residenciales propuesto.

# **CAPÍTULO I**

## **1. EL PROBLEMA**

### **1.1. TEMA**

Equipo de telemedición eléctrica para clientes residenciales mediante tecnología inalámbrica.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente hay mayor crecimiento en la generación de energía eléctrica en el mundo es así, que grandes empresas de generación buscan maneras de aumentar su producción. Anualmente la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos junto con la Agencia Internacional de Energía presentan estadísticas sobre el estado del sector eléctrico, en el año 2017 se experimentó un crecimiento del 16.7% con respecto al 2016 marcando el mayor incremento en la última década referente a esta categoría [1].

Estas nuevas formas de generación requieren de un mejor monitoreo y control en el sector eléctrico, para esto es indispensable la incorporación de un nivel tecnológico superior, formando las llamadas redes eléctricas inteligentes o Smart Grids, este tipo de red se han desarrollado de manera paulatina en toda Sud América; en países como Brasil y Chile se utilizan estas redes de medición inteligente, enfocadas al segmento residencial en el primer país e industrial y comercial en el segundo [2] [3] [4].

En el país aún queda mucho por avanzar en este ámbito, se han construido centrales de generación hidroeléctrica como Coca Codo Sinclair dentro del plan estratégico para el desarrollo del país planteado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. El suministro de energía eléctrica en el Ecuador se realiza a través de empresas eléctricas de distribución, para las provincias de Tungurahua, Pastaza, Napo y Morona Santiago se encuentra encargada la Empresa Eléctrica de Ambato Regional Centro Norte SA [5]. La cual instala un medidor digital de energía activa en el hogar o vivienda del usuario que requiere el servicio de electricidad, la información queda registrada en el contador de energía y es leída mensualmente por el personal de la empresa con la finalidad de generar una planilla por el servicio, esta información es accesible al usuario una vez concluido el mes [4]. Tanto la empresa de distribución como el usuario únicamente conocen el consumo mensual generado en la vivienda al final de cada mes esto conlleva a inconvenientes en la lectura de medidores, debido a que es muy común que la compañía de electricidad no obtenga las cifras reales de lecturas, teniendo así que realizar un cálculo aproximado del consumo, a esto se suma avería en la red doméstica o un alto consumo en los electrodomésticos generando costos elevados en las planillas, adicionalmente, la empresa eléctrica debe realizar suspensiones del servicio a clientes que presenten mora en el pago de planillas lo que genera gastos directos e indirectos para los usuarios [6] [7].

### **1.3. DELIMITACIÓN**

#### **1.3.1. Delimitación de contenidos**

Área académica: Programación y redes

Línea de investigación: Tecnologías de la Información y de la Comunicación

### **1.3.2. Delimitación Espacial**

El proyecto de investigación se realizó en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, previo a la obtención de Título Terminal de Tercer nivel de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones.

### **1.3.3. Delimitación Temporal**

El presente proyecto de Investigación se realizó el periodo octubre 2017 – marzo 2018 de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Graduación para Obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente las viviendas no cuentan con un equipo de telemedición eléctrica que proporcione información de manera oportuna a la empresa distribuidora que se encarga de realizar una estimación del costo del servicio eléctrico, ni un mecanismo que permita la desconexión o conexión automática de los clientes que se encuentran en mora por no pagar a tiempo su planilla.

Los beneficios de este proyecto serán para todos los usuarios que tengan un medidor de energía en su vivienda, para las empresas eléctricas de distribución que requieran disminuir los costos directos e indirectos que se generan al movilizar personal para la toma de lecturas, cortes y reconexiones de clientes.

La importancia del proyecto se basa en prevenir los problemas que se presentan al realizar malas lecturas o proyecciones por falta de estas, al utilizar tecnología de comunicación móvil se consigue transmitir información a grandes distancias lo cual es indispensable debido a que la oficina de la empresa eléctrica se encuentra alejada de los sectores en donde están instalados los medidores. Se dispone de herramientas de hardware y software libre que no

requieren de pago de licencias, adicionalmente, la Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato cuenta con recursos humanos capacitados, laboratorios, instrumentos de medición precisos e infraestructura técnica para el desarrollo de este proyecto.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo General:**

Implementar un prototipo de telemedición eléctrica para clientes residenciales mediante tecnología inalámbrica.

### **1.5.2. Objetivos Específicos:**

- Investigar sobre los equipos de medición de energía eléctrica para consumo residencial existentes.
- Comparar las tecnologías inalámbricas que abarque los requerimientos generales para la obtención y transmisión de datos.
- Construir un prototipo de medición de energía eléctrica residencial que incluya telemedición.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

De la investigación y búsqueda realizada en repositorios de Universidades, Escuelas Politécnicas Nacionales e Internacionales, así como también bases de datos de artículos académicos relacionados con la telemedición y monitoreo de redes eléctricas inteligentes y el proceso que estas comprenden, a continuación, se describen los trabajos más relevantes relacionados con el proyecto:

En marzo del 2016 en la Escuela de Ingeniería Eléctrica e Informática de la Universidad Estatal de Washington, Y. Jiang , C. Liu y Yin Xu como parte de su proyecto de Ingeniería Eléctrica realizaron una investigación sobre las aplicaciones de vanguardia de las Smart Dystrubution Systems (SDS), se analizó el impacto de los eventos externos en los sistemas de distribución y resalto la importa de utilizar medidores inteligentes que faciliten la interrupción y el restablecimiento del servicio eléctrico mediante la utilización de actuadores [8].

En marzo del 2016 en la Universidad de Cuenca, la investigación de Jairo Andrés Armijos Abril y Álvaro Daniel Pesántez que presentaron el tema "Diseño de un medidor inteligente con funciones de respuesta a la demanda en infraestructuras de medición avanzada", describe la metodología de diseño de un medidor inteligente (SM) con funciones de respuesta a la demanda (DR). La arquitectura de hardware del prototipo de medidor inteligente utiliza, como unidad central de procesamiento, un circuito integrado dedicado ADE7753 para el cálculo del consumo energético. Este prototipo se integra a una simulación de una red

eléctrica de distribución, que toma decisiones óptimas de consumo y gestiona el uso de las cargas conectadas en el medidor inteligente [9].

En 2016 en la Universidad Politécnica Salesiana el trabajo de investigación de Diego Israel Samaniego y Diego Fernando Velesaca con el tema "Diseño e implementación de un medidor de energía electrónico para vivienda, con orientación a la prevención de consumo y ahorro energético", incorpora tecnología de libre acceso (Arduino), la cual se comunica con un servidor web encargado de registrar toda la información relacionada al consumo energético del cliente en una base de datos, la consulta del consumo eléctrico se realiza previo al registro. Estos valores se pueden ver de forma gráfica ya sea diaria, semanal o mensual [10].

En la Universidad Técnica de Ambato La investigación de Adriana Paulina Araujo Reyes quien realizó el "Diseño de un sistema de telemedición de la energía eléctrica de la Red Subterránea para la empresa eléctrica Ambato Regional Centro Norte S. A.". Este proyecto utiliza un simulador y una base de datos diseñada en Oracle y gestionada por los técnicos del centro de control de la EEASA para monitorear los medidores Landys Gyr (S4), los cuales están interconectados por medio de una tarjeta GPRS que envía información desde el medidor S4 hacia el centro de control, con esta investigación se define que el tiempo promedio de respuesta de un dato entre servidores debe ser <100mseg, el porcentaje mínimo de disponibilidad del servicio será menor que 3 minutos y la velocidad de transmisión podrá ser hasta de 19200 Kbps [4].

En la Escuela Politécnica Nacional, el estudio realizado por Alexis Iván Paredes Cusco y Wilson Alexander Martínez Espinoza, en su proyecto "Estudio y diseño de un sistema de telemedición para medidores de energía de la empresa eléctrica Quito utilizando la tecnología Broadband Over Power Line (BPL)", quienes tomando como referencia dos empresas proveedoras de equipos BPL/PLC, proponen una solución encaminada a la utilización de la red existente mediante un modelo de gestión como Operador Global; esta propuesta incorpora un equipo repetidor con puerto Ethernet 10/100 Mbps que soporta Telnet además de una salida BPL de 50 Ohm, un equipo en la parte del cliente de características similares

y un modem BPL que establecerá la conexión entre los clientes y el centro de control de la empresa eléctrica Quito S. A. [11].

En la Universidad Politécnica Salesiana la investigación realiza por Christian Wladimir Gallardo Cruz realizó el “Análisis de factibilidad para la implementación de un sistema de telemedición utilizando el método de radio frecuencia para una empresa de distribución”, se encamina una investigación experimental que arroja un resultado óptimo para el desarrollo de un sistema de telemedición mediante radio frecuencia, que permite la obtención del consumo eléctrico de manera rápida y precisa. Este utiliza medidores con capacidad de comunicación por radio frecuencia que envía la información a un concentrador ubicado en cada transformador de distribución, el cual enviara los datos hacia el centro de control o base de datos de la empresa de distribución; el centro de control está encargado del manejo del sistema como la emisión de planillas en forma ágil, esto permite eliminar el error generado durante la etapa de lectura y emisión de planillas [12].

En la tabla 2.1 se presentan las ventajas y desventajas recogidas de los antecedentes investigativos, que ofrecieron la base para el desarrollo de prototipo de telemedición eléctrica que es el principal objetivo de esta investigación.

**Tabla 2. 1:** Ventajas y desventajas antecedentes investigativos

<b>Ventaja</b>	<b>Desventaja</b>
La incorporación de Smart Distribution Systems otorgan una panorámica completa del estado actual de las red de distribución eléctrica.	Para incorporar Smart Distribution Systems se necesita un análisis total y minucioso de la red eléctrica, para determinar los elementos que se requieren para el buen funcionamiento de la SDS.
La implementación de medidores inteligentes facilitan la lectura y trasmisión del valor de consumo eléctrico desde la vivienda en donde se encuentra instalado,	Los medidores inteligentes para la trasmisión de información desde la viendo en donde están instalados hasta el centro de control necesitan una red de transporte de

hasta el centro de control de la empresa eléctrica.	datos, que generalmente no se encuentra disponible de manera gratuita.
La utilización de medidores inteligentes permiten un monitoreo en tiempo real del estado de la red eléctrica y lectura de los mismos.	Se requiere un mayor nivel tecnológico para la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real. Esto presenta una inversión monetaria alta.
La tecnología GPRS es una de las más utilizadas para la comunicación entre los medidores inteligentes y centro de control de las empresas eléctricas de distribución.	Para utilizar la tecnología GPRS en un sistema de comunicación necesariamente se debe utilizar la red celular para conectarse con el centro de control de la empresa eléctrica, o estructurar una red de comunicación propia.

**Elaborado por:** Juan Morales

## **2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

### **2.2.1. Estructura institucional del sector eléctrico ecuatoriano.**

El Ecuador cuenta con la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, la cual indica en el capítulo I, artículo 9 la estructura institucional del sector eléctrico ecuatoriano, de la siguiente manera [13]:

- **Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER.**- El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable es la entidad responsable de satisfacer las necesidades de Energía Eléctrica del país, mediante la formulación de normativa pertinente, planes de desarrollo y políticas sectoriales para el aprovechamiento eficiente de sus recursos, garantizando que la provisión de electricidad responda a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad [14].

- **Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL.-** La Agencia de Regulación y Control de Electricidad tiene como funciones principales la planificación para el desarrollo del sector eléctrico, además regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses del consumidor o usuario final [13].
- **Operador Nacional de Electricidad, CENACE.-** El Operador Nacional de Electricidad constituye un órgano técnico estratégico adscrito al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Actúa como operador técnico del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.) y administrador comercial de las transacciones de bloques energéticos, responsable del abastecimiento continuo de energía eléctrica al mínimo costo posible, preservando la eficiencia global del sector [13].
- **Institutos especializados.-** Los institutos especializados contribuyen al desarrollo sostenible de la sociedad ecuatoriana, a través de la investigación científica y tecnológica, brindando insumos que faciliten la masificación de las mejores prácticas y la implementación de políticas y proyectos, en el campo de la eficiencia energética y las energías renovables [15].

### **2.2.2. Estructura empresarial del sector eléctrico en ecuatoriano.**

La estructura empresarial del sector eléctrico ecuatoriano es la encargada de la generación, transmisión y distribución de la electricidad en todo el país y actúa a través de [13]:

- Empresas públicas.
- Empresas de economía mixta.
- Empresas privadas.
- Consorcios o asociaciones.
- Empresas de economía popular y solidaria.

En Ecuador están encargadas de la distribución y comercialización de la electricidad en el territorio ecuatoriano dos grupos, el primero conformado por las empresas adscritas a la Corporación Nacional de Electricidad CNEL-EP y el segundo conformado por las Empresas Eléctricas [16].

- **Corporación Nacional de Electricidad, CNEL-EP.**

La Corporación Nacional de Electricidad CNEL-EP son un grupo de empresas de distribución y comercialización de energía eléctrica. Actualmente tiene le responsabilidad de servir a más de 2,4 millones de clientes, esto represento un aproximado del 49% de los clientes a nivel nacional para el año 2016 [16].

En la tabla 2.2 se indica las empresas de distribución eléctrica que se encuentran dentro de la Corporación Nacional de Electricidad CENEL-EP

**Tabla 2. 2:** CNEL-EP Empresas de Distribución [16].

<b>EMPRESA</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>
<b>CNEL-EP</b>	CNEL-Bolívar
	CNEL-El Oro
	CNEL-Esmeraldas
	CNEL-Guayaquil
	CNEL-Guayas Los Ríos
	CNEL-Los Ríos
	CNEL-Manabí
	CNEL-Milagro
	CNEL-Santa Elena
	CNEL-Santo Domingo
	CNEL-Sucumbíos

**Elaborado por:** Juan Morales

- **Empresas Eléctricas.**

Las Empresas Eléctricas en Ecuador prestan el servicio eléctrico al 51% de los clientes a nivel nacional esto corresponde al año 2016, este grupo de Empresas de Distribución Eléctrica se detallan en la tabla 2.3 [16]:

**Tabla 2. 3:** Empresas Eléctricas en Ecuador [16].

<b>Empresa</b>	<b>Denominación</b>
<b>Empresas eléctricas</b>	E. E. Ambato
	E. E. Azogues
	E. E. Centro sur
	E. E. Cotopaxi
	E. E. Galápagos
	E. E. Norte
	E. E. Quito
	E. E. Riobamba
	E. E. Sur

**Elaborado por:** Juan Morales

### **2.2.3. Generación y Trasmisión de energía eléctrica**

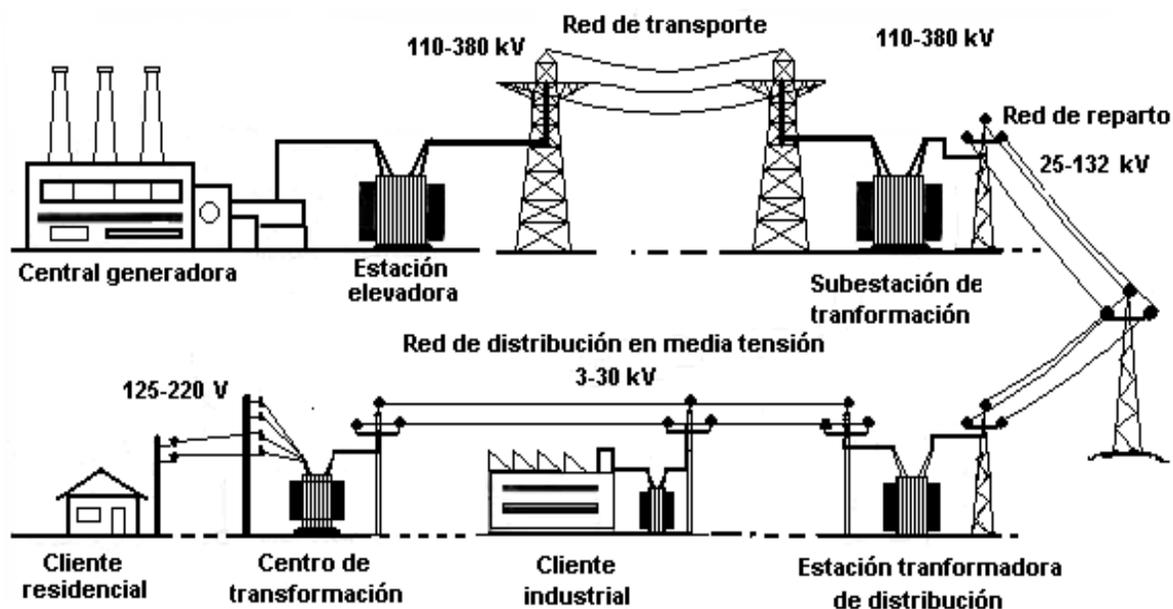
La generación de energía eléctrica es el proceso de conversión de una energía primaria como puede ser energía potencial del agua en un embalse, la fuerza del viento, la radiación solar, la combustión, etc., en energía eléctrica, la cual se lleva a cabo en lo que se conoce como centrales de producción o generación, a un voltaje relativamente bajo por lo que es necesario conectarlo a una subestación elevadora e iniciar el proceso de transmisión [17]. En el año 2016 la energía puesta a disposición de los clientes finales a través del Sistema Nacional de Transmisión procedente de energía renovable fue de 68.31%, energía no renovable 31.33% y la obtenida por interconexiones fue de 0.36% en la tabla 2.4 se muestran estos valores [16].

**Tabla 2. 4:** Generación de Energía Eléctrica [16].

<b>Generación de Energía Eléctrica</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Fuente</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Energía Renovable</b>	Hidráulica	66.53
	Eólica	0.36
	Fotovoltaica	0.17
	Biomasa	1.19
	Biogás	0.06
<i>Total Energía Renovable</i>		<i>68.31</i>
<b>No Renovables</b>	Térmica MCI	14.1
	Térmica Turbo gas	9.91
	Térmica Turbo vapor	7.32
<i>Total Energía No Renovable</i>		<i>31.33</i>
<i>Total Producción Nacional</i>		<i>99.64</i>
<b>Interconexión</b>	Importación	0.36
<i>Total Energía Entregada para Servicio Público</i>		<i>100</i>

**Elaborado por:** Juan Morales

La transmisión de energía eléctrica se hace a través del Sistema Nacional de Transmisión SNT, se encuentra conformado por centrales generadoras eléctricas, líneas de voltaje de 230kV, 138kV, 69kV y líneas menores a 69kV, entre otros elementos como sub estaciones de transformación descritos en el diagrama unifilar de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC-EP correspondiente al año 2016, en la figura 2.1 se muestra un esquema grafico del SNT [18].



**Figura 2. 1:** Sistema Eléctrico Nacional [19].

#### 2.2.4. Pérdidas de energía eléctrica por Distribución

La pérdida de energía eléctrica por distribución es un parámetro que las empresas de distribuidoras toman muy en cuenta es la evaluación constante del nivel de pérdidas en su área de concesión, de forma que se pueda definir los mecanismos necesarios para su reducción; el valor de las pérdidas de energía es uno de los indicadores de la gestión técnica administrativa de las empresas eléctricas, por ello es necesario cuantificar la energía eléctrica que se pierde. En el sistema de distribución eléctrico se identifican dos tipos, la primera se identifica como pérdidas técnicas y la segunda se denomina pérdidas no técnicas [16].

- **Pérdidas técnicas**

Las pérdidas técnicas que se registran son producidas principalmente por la resistencia de los conductores que transportan la energía desde los lugares de generación hasta los clientes finales. Existen pérdidas de transmisión de alto voltaje (resistivas, efecto corona) y pérdidas en las líneas de distribución (efecto joule), estas se originan en la distribución primaria y

secundaria. Al existir miles de elementos que componen el sistema es muy complejo tratar de obtener cálculos exactos de estas pérdidas, por esto las empresas de distribución utilizan simuladores especializados para realizan cálculos estimados de las perdidas técnicas en las distintas etapas del sistema [20] [21].

- **Pérdidas no técnicas**

Las pérdidas consideradas como no técnicas corresponden al consumo inadecuado e ilegal de energía eléctrica, por conexiones directas sin medición o redes clandestinas, sumado a esto se consideran los problemas en medidores defectuosos o alteraciones en los equipos de medida instalados para el registro de consumo en los usuarios finales [16].

En la tabla 2.5 se presenta las pérdidas de energía eléctrica registradas en todo el sistema de distribución que presentan las Empresas distribuidoras y unidad de negocio de CNEL EP. De la energía disponible en el sistema de distribución el 12.21% corresponden a pérdidas a nivel nacional, de las cuales el 8.1% son pérdidas técnicas y el 4.1% a pérdidas no técnicas con respecto a la energía total generada. Las unidades de negocio que mayores pérdidas presentaron son: CNEL Manabí con 24,09 %, CNEL Esmeraldas con 22,75 % y CNEL Los Ríos con 19,67 %, estos porcentajes son referidos a la energía que cada unidad de negocio maneja. Por otra parte, las empresas que menores pérdidas porcentuales registraron son: E.E. Azogues con 4,25 %, la E.E. Ambato con 5,80 %., y la E.E. Quito con 6,17 %, estos porcentajes porcentajes son referidos a la energía total que cada empresa eléctrica maneja, estas estadísticas son referentes al año 2016 [16].

**Tabla 2. 5:** Pérdidas de energía eléctrica [16].

<b>Empresa</b>	<b>Disponible en el Sistema (MWh)</b>	<b>Pérdidas del Sistema (MWh)</b>	<b>Pérdidas Técnicas del Sistema (MWh)</b>	<b>Pérdidas No Técnicas del Sistema (MWh)</b>	<b>Pérdidas del Sistema</b>
<b>CNEL-Bolívar</b>	87.499,80	5.740,24	5.739,62	0.62	6.56
<b>CNEL-El Oro</b>	1.119.026,43	168.644,82	108.242,13	60.402,69	15.07
<b>CNEL-Esmeraldas</b>	570.312,92	129.773,20	52.144,98	77.628,22	22.75
<b>CNEL-Guayaquil</b>	5.571.673,87	654.732,75	468.437,08	186.295,67	11.75
<b>CNEL-Guayaquil Los Ríos</b>	2.141.226,52	326.174,41	250.737,49	75.436,93	15.23
<b>CNEL-Los Ríos</b>	444.087,51	87.331,35	34.512,26	52.819,08	19.67
<b>CNEL-Manabí</b>	1.625.335,67	391.583,30	194.606,63	196.976,68	24.09
<b>CNEL-Milagro</b>	684.047,97	127.102,88	50.451,99	76.650,89	18.58
<b>CNEL-Sta. Elena</b>	667.595,15	101.269,42	57.957,14	43.312,27	15.17
<b>CNEL-Sto. Domingo</b>	673.342,42	76.013,78	58.804,96	17.208,82	11.29
<b>CNEL-Sucumbíos</b>	331.294,27	51.394,02	40.954,70	10.439,32	15.51
<b>CNEL EP</b>	13.915.442,53	2.119.760,17	1.322.588,98	797.171,19	15.23
<b>E.E. Ambato</b>	644.314,14	37.366,34	36.662,53	703.80	5.80
<b>E.E. Azogues</b>	110.193,60	4.684,60	4.259,16	425.44	4.25
<b>E.E. Centro Sur</b>	1.078.265,84	76.852,72	66.537,34	10.315,38	7.13
<b>E.E. Cotopaxi</b>	536.995,03	45.806,23	37.382,50	8.423,73	8.53
<b>E.E. Galápagos</b>	51.755,98	4.747,98	3.840,02	907,97	9.17
<b>E.E. Norte</b>	575.892,71	53.149,41	36.272,05	16.877,36	9.23
<b>E.E. Quito</b>	4.395.810,63	271.290,11	217.634,53	53.655,58	6.17
<b>E.E. Riobamba</b>	377.827,30	41.393,28	30.119,99	11.273,28	10.96
<b>E.E. Sur</b>	355.784,53	35.890,14	31.184,29	4.705,85	10.09
<b>Total</b>	<b>22.042.282,30</b>	<b>2.690.940,98</b>	<b>1.786.481,40</b>	<b>904.459,58</b>	<b>12,21</b>

**Elaborado por:** Juan Morales

### 2.2.5. Sistema de tarificación eléctrica en el Ecuador

El sistema de tarificación eléctrica en el Ecuador se rige al artículo 17 de la Codificación del Reglamento de Tarifas Eléctricas, en la tabla 2.6 se indica las características de consumo y se consideran tres categorías de tarifas: residencial, general y alumbrado público; y, por el nivel de voltaje, tres grupos: alta voltaje, media voltaje y baja voltaje [7].

**Tabla 2. 6:**Sistema de tarificación eléctrica en Ecuador [7].

<b>Sistema de tarificación eléctrica</b>	
<b>Categorías de tarifas</b>	Residencial
	General
	Alumbrado Publico
<b>Nivel de Voltaje</b>	Alto voltaje
	Medio voltaje
	Bajo Voltaje

**Elaborado por:** Juan Morales

- **Categorías de tarifas residencial**

La categoría de tarifa residencial corresponde exclusivamente al uso doméstico de la energía eléctrica, además se incluyen a los consumidores de escasos recursos económicos y de bajo consumo. En este grupo se contempla la tarifa residencial para el Programa Emblemático de Eficiencia Energética para la Cocción por Inducción y el Calentamiento de Agua Sanitaria con Electricidad en sustitución del Gas Licuado de Petróleo conocido como PEC en el sector residencial y la tarifa residencial temporal. [7].

En la tabla 2.7 se presenta los ítems que se toman en cuenta para el cálculo monetario del consumo de energía eléctrica de un usuario, este estos ítems se encuentran rango de consumo

expresado en kilowatts por mensuales, valor de un kilowatt por mes y costo de comercialización de energía. Por ejemplo, el consumo mensual de una vivienda es 130 kW en el periodo de un mes, el valor que se debe cancelar por consumo eléctrico será  $(130 \times 0.095) + 1.414 = 13.77$  USD [7].

**Tabla 2. 7:** Cargos tarifarios usuarios residenciales [7].

<b>Categoría residencial</b>		
<b>Rango de consumo kW/mes</b>	<b>Valor USD kW/mes</b>	<b>Costo por comercialización USD/consumidor</b>
0-50	0,091	1.414
51-100	0,093	
101-150	0,095	
151-200	0,097	
201-250	0,099	
251-300	0,101	
301-350	0,103	
351-500	0,105	
501-700	0,1285	
701-1000	0,1450	
1001-1500	0,1709	
1501-2500	0,2752	
2501-3500	0,4360	
Superior	0,6812	
<b>Categoría residencial temporal</b>		
-	0,1285	1.414

**Elaborado por:** Juan Morales

- **Categorías de tarifas general**

En categoría de tarifa general se encuentran los consumidores que básicamente están destinados o dedicados al comercio, la industria y la prestación de servicios públicos y privados, en este grupo de tarifa se encuentran la general de bajo voltaje, general sin demanda y general con demanda. A continuación se indican algunas características de los usuarios que están dentro de este grupo.

- Locales y establecimientos comerciales públicos o privados.
- Locales públicos o privados destinados a la elaboración o transformación de productos por medio de cualquier proceso industrial y sus oficinas administrativas.
- Instalaciones de Bombeo de Agua.
- Entidades de asistencia social y beneficio público (hospitales, centros de salud, asilos, similares del estado, guarderías, escuelas, colegios, etc.).
- Entidades Oficiales (sector público).
- Escenarios Deportivos.
- Servicio Comunitario.
- Y todos los que no se consideren residenciales [7].

En la tabla 2.8 se indican los ítems que se toman en cuenta para el cálculo monetario del consumo eléctrico en la tarifa general sin demanda horario, en esta categoría resalta la comercial e industrial artesanal estas se aplican a la mayoría de locales comerciales y pequeños negocios de los clientes de la empresa de distribución [7].

**Tabla 2. 8:** Tarifa general sin demanda [7].

<b>Categoría general sin demanda</b>		
<b>Rango de consumo kW/mes</b>	<b>Energía USD kWh</b>	<b>Costo por comercialización USD/consumidor</b>
<b>Comercial</b>		
0-300	0,092	1.414
Superior	0,103	
<b>Escenarios deportivos, servicios comunitario</b>		
101-150	0,082	1.414
151-200	0,093	
<b>Bombeo agua</b>		
251-300	0,072	1.414
301-350	0,083	
<b>Bombeo agua servicio público de agua potable</b>		
101-150	0,058	1.414
151-200	0,066	
<b>Industrial artesanal</b>		
101-150	0,083	1.414
151-200	0,099	
<b>Asistencia social, beneficio público y culto religioso</b>		
101-150	0,083	1.414
151-200	0,099	

**Elaborado por:** Juan Morales

- **Tarifación por nivel de voltaje**

La tarificación por nivel de voltaje se aplica considerando el nivel de voltaje que se entre en el punto de conexión del cliente, así se tiene; el primero es de alto voltaje, comprende dos grupos uno es AT1 que corresponde a voltajes superiores a 138kV y AT2 que comprende un rango mayor a 40kV hasta 138kV. El segundo es de medio voltaje, este corresponde a voltajes

de suministro en el punto de entrega mayor a 600 V hasta 40 kV. El último es de bajo voltaje y corresponde a voltajes de suministro en el punto de entrega inferior a 600 V [7].

### **2.2.6. Facturación por servicio eléctrico mensual**

De acuerdo al Artículo 23 del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, la emisión de facturas se realizará mensualmente y no podrá ser inferior a 28 días ni exceder los 33 días calendario, además, no excederá de doce facturaciones en el año. Para los casos de excepción determinados en el Artículo 40 de la Ley Orgánica de Defensa al Consumidor, que hacen referencia a pérdida, daño o imposibilidad física de acceder al sistema de medición la factura mensual se calculará sobre la base del consumo promedio de los últimos seis meses facturados. Si no se efectúa la medición en dos períodos consecutivos por las razones anteriores se notificará al consumidor [13].

La empresa eléctrica de distribución al momento de facturar cobra por la energía consumida en el mes kilowatts hora por mes kWh/mes y además rubros extras por; disposiciones del ARCONEL, decretos ministeriales, ordenanzas municipales, etc. En la provincia de Tungurahua la empresa encargada del suministro eléctrico es la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., en la factura mensual se añaden rubros que incrementan la planilla los cuales son:

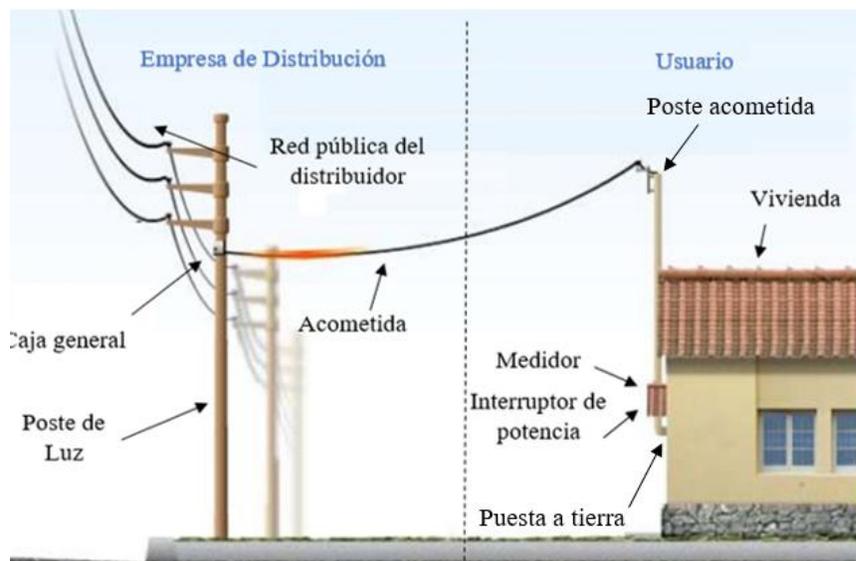
- Penalización por bajo factor de potencia: Se aplica para tarifas de media y alta tensión, este se da por una penalización por bajo factor de potencia si es que éste tiene un valor menor a 0,92.
- Cargo por comercialización: Es independiente de la energía consumida, este rubro tiene un cargo único de 1,414 USD por consumidor [13].

### 2.2.7. Sistema eléctrico domiciliario

El sistema eléctrico domiciliario es un conjunto de elementos que hacen llegar la electricidad a todos los aparatos domésticos de una casa, las partes que conforman este sistema eléctrico de una vivienda son [22]:

- Elementos de conducción (cables eléctricos para instalación).
- Elementos de consumo (aparato o dispositivo que consuma electricidad denominados cargas).
- Elementos de control y protección (interruptores, contactores, breques térmicos, fusibles y cajas de conexión).
- Elementos varios (contactos, barra de contactos y medidor).

En la figura 2.2 muestra el sistema eléctrico domiciliario que se compone de dos partes diferenciadas, la primera corresponde a la red de distribución de la empresa eléctrica compuesta por la red pública del distribuidor, poste de luz, transformador de voltaje y acometida, y la segunda es el usuario que se compone de poste de acometida, medidor eléctrico, interruptor de potencia, sistema de puesta a tierra y la vivienda.



**Figura 2. 2:** Sistema Eléctrico Domiciliario [22].

El análisis se enfoca en la descripción y funcionamiento de los medidores de consumo eléctrico domiciliario. A continuación, se describe su funcionamiento, tipos de medidores, entre otros parámetros de medición eléctrica y generalidades técnicas como voltaje, corriente, potencia y consumo todos estos relacionados a la electricidad.

### **2.2.8. Medidor de energía eléctrica**

El medidor de energía eléctrica es un equipo que ayuda a controlar o medir el consumo de energía suministrada a un cliente, este equipo mide la cantidad de energía eléctrica que se consume en la vivienda, permitiendo a la empresa distribuidora de electricidad tener información para realizar una facturación adecuada de la energía consumida en kilovatios-hora (KWh). [23]

En la tabla 2.10 se muestra las principales generalidades técnicas que se presentan en los medidores eléctricos utilizados en la vivienda para el registro del consumo energético, entre los cuales se destacan los medidores por:

- Su construcción.
- El tipo energía que miden.
- La conexión a la red eléctrica.
- Su exactitud.

**Tabla 2. 9:**Medidores Eléctricos [23], [24], [25],

<b>Medidores Eléctricos</b>	
<b>Característica</b>	<b>Tipo</b>
<b>Construcción</b>	Electromagnético
	Electrónico
<b>Energía que miden</b>	Energía Activa
	Reactiva
<b>Conexión a la red eléctrica</b>	Monofásico Bifilar
	Monofásico trifilar
<b>Exactitud</b>	Clase 1
	Clase2

**Elaborado por:** Juan Morales

### **Medidores de energía según su construcción**

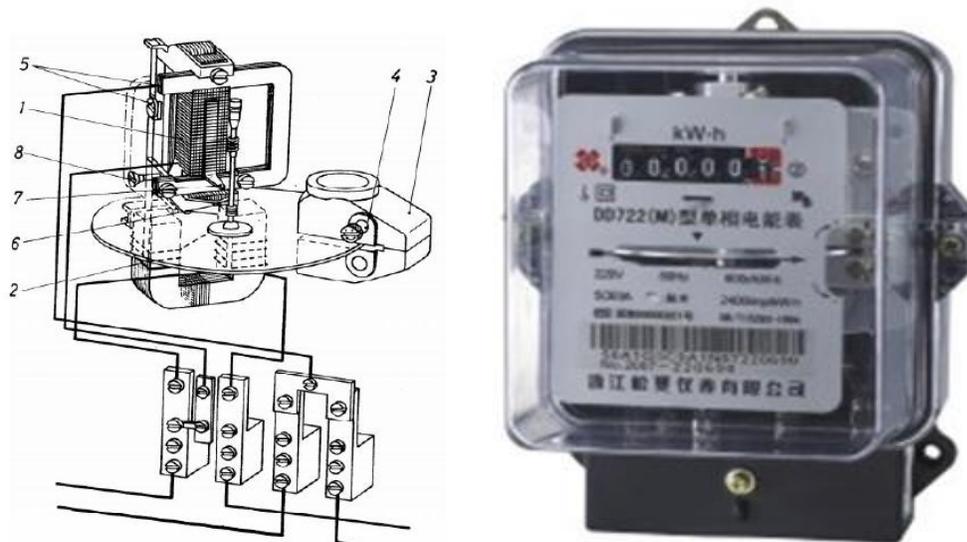
Los medidores de energía eléctrica según su construcción se dividen en dos categorías, medidores electromagnéticos y medidores electrónicos los cuales se describen a continuación [23] [26]:

- **Medidor electromagnético**

El contador de energía electromecánico consta de un disco que tiene una velocidad de giro directamente proporcional a la corriente consumida. Está contenido por un núcleo de chapa magnética en el que van montados dos bobinas, una en serie por el conductor que circula la corriente denominada bobina de corriente y la otra en derivación sobre los conductores denominado bobina de voltaje, la información del consumo se presenta en un registrador mecánico [23].

En la figura 2.3 se muestra el diagrama esquemático y la estructura física de un medidor electromecánico que se compone de:

1. Bobina de voltaje.
2. Bobina de corriente.
3. Imán de frenado.
4. Tornillo de regulación gruesa.
5. Abrazadera.
6. Bloqueo de marcha inversa
7. Ángulo marcha inversa.
8. Tornillo para regulación fina [26].



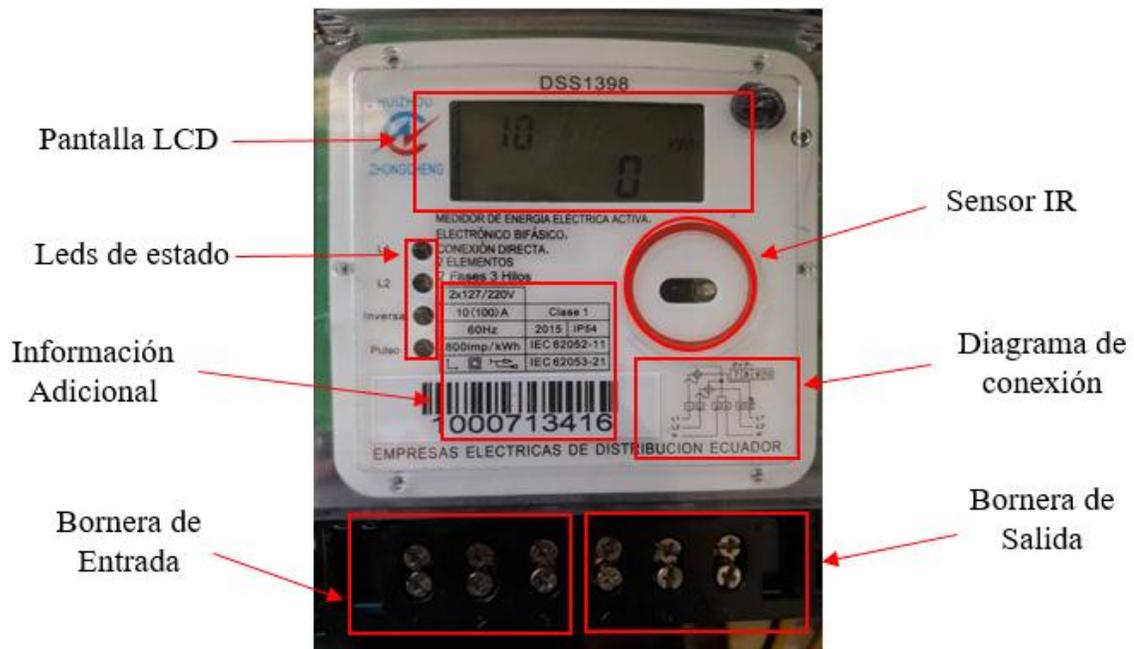
**Figura 2. 3:** Medidor electromecánico [27]

- **Medidor electrónico**

El medidor electrónico utiliza elementos electrónicos para el registro del consumo eléctrico, como un microprocesador, memoria, sensores de corriente y voltaje, etc. Estos medidores cuentan con una mejor precisión en la medición comparados con los electromecánicos, además ofrecen la posibilidad de calcular el factor de potencia y tener un registro detallado del consumo eléctrico. [28].

En la figura 2.4 se puede observar la estructura física de un contador de energía electrónico, que en su placa de datos se puede observar que es un medidor de energía eléctrica activa, bifásico de conexión directa a la red eléctrica, se presenta una conexión de 2 fases en 3 hilos, soporta una corriente máxima de circulación en sus borneras de 100 A y es de clase 1. Adicionalmente se observa que pertenece a las Empresas Eléctricas de Distribución del Ecuador y cuenta con:

- Pantalla LCD
- Leds de estado
- Bornera de conexiones de entrada
- Bornera de conexión de salida
- Sensor infrarrojo
- Diagrama de conexión
- Información adicional [28].



**Figura 2. 4:** Medidor Electrónico [28].

La tabla 2.11 se presenta las ventajas y desventajas que ofrece un medidor electromecánico frente a un medidor electrónico, entre las ventajas más importantes del medidor electrónico se resalta la inserción de nueva tecnología para la toma de lecturas, en las viviendas en donde se encuentran instalados estos equipos de medición, además reducir el error al realizar la medición con los electromecánicos.

**Tabla 2. 10:** Comparación de medidores

<b>Indicador</b>	<b>Medidor Electromecánico</b>	<b>Medidor Electrónico</b>
<b>Posee partes móviles</b>	SI	NO
<b>Error de medición</b>	Bajo	Muy Bajo
<b>Realiza de forma autónoma la totalización de energía consumida</b>	SI	SI
<b>Permite visualización</b>	Local	Local/Remota
<b>Permite telemedición</b>	NO	SI
<b>Posee Memoria de datos</b>	NO	SI
<b>Registra medidas absolutas e incrementales</b>	NO	SI
<b>Admite varios parámetros tarifarios</b>	NO	SI
<b>Posee respaldo de batería</b>	NO	SI

**Elaborado por:** Juan Morales

### **Medidores según el tipo de energía medida.**

Los medidores de energía eléctrica según el tipo de energía que miden se dividen en medidores de energía activa y medidores de energía reactiva

- **Medidores de Energía activa.** - Los medidores de energía eléctrica activa registran el valor de la potencia activa que es consumida por una carga eléctrica conectada en la bornera de salida del medidor, y es medida en kilo Watts por hora, kWh.
- **Medidores de Energía reactiva.** – Los medidores de energía eléctrica reactiva, miden las perturbaciones que se presentan en cargas eléctricas como motores, y otros

aparatos electrónicos que generan campos magnéticos. A esta energía se la denomina “energía reactiva” y se mide en kilo Volts-ampereos reactivos por hora kVArh [25].

### **Medidores de energía según la conexión a la red eléctrica.**

Los medidores de energía según la conexión a la red eléctrica se identifican principalmente por el número de conductores que se conectan a la red y se utilizan principalmente para la medición en viviendas y locales comerciales, así se tienen:

- **Monofásico Bifilar.** - El medidor monofásico bifilar se utiliza frecuentemente en instalaciones residenciales, el cual cuenta con un solo conductor activo o fase y un neutro.
- **Monofásico Trifilar.** - El medidor monofásico trifilar se utiliza para el registro del consumo de una acometida monofásica de fase partida (120v – 240v) y posee dos fases y un neutro en su bornera de entrada.
- **Medidor Trifásico.** – El medidor trifásico registra el consumo de una acometida trifásica de tres fases y un neutro, este medidor es utilizado en sector industrial [29].

### **Medidores de energía según su exactitud**

Los medidores de energía según su exactitud se encuentran descritos en la norma IEC 62053-21: “Equipos de medición de energía eléctrica -C.A. Requisitos particulares. Medidores de energía activa -clases 1 y 2-.”, estos equipos de medida se encuentran dentro de las siguientes clasificaciones:

- **Clase 1.-** Los equipos de medición eléctrica de la clase 1, realizan la totalización de energía activa y reactiva para cargas mayores a 45kVA.
- **Clase 2 .-** Los equipos de medición eléctrica de clase 2 se encuentran como monofásicos y bifásicos y se utilizan en la medición de la energía activa residencial, para cargas menores a 45kVA [25], [29].

### 2.2.9. Potencia eléctrica

La potencia eléctrica determina la velocidad a la cual se consume o se suministra energía en los circuitos eléctricos o electrónicos. Se representa con la letra P y la unidad de medida es el Vatio (Watt) que representa un suministro de energía de un joule por segundo (J/S) [30].

**Potencia aparente(S).** - La potencia aparente de un circuito de corriente alterna es la suma vectorial de la potencia que disipa dicho circuito y se transforma en calor o trabajo esta se conoce como potencia activa o real; y la potencia que genera campos electromagnéticos conocida como potencia reactiva. La potencia compleja es completamente útil únicamente si el factor de potencia es la unidad. Se la designa con la letra S y se mide en voltamperios (VA), la potencia activa se mide en vatios (W), y la reactiva se mide en voltamperios reactivos (VAR) [31].

**Potencia instantánea (p(t)).** - La potencia instantánea está definida como como la potencia entregada a un dispositivo en cualquier instante de tiempo. Es el producto entre el voltaje instantánea  $v(t)$  y la corriente instantánea  $i(t)$  y se determina por la ecuación 1 [31].

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (1)$$

**Potencia activa o real (P).** - La potencia activa o real está asociada a la transformación de energía eléctrica en trabajo (mecánico, lumínico, térmico, etc.). su unidad de medida es el Watt (W) esta potencia es posible medirla como un valor puntual con un voltímetro y en un circuito corresponde a la potencia consumida por los elementos resistivos. Esta potencia P es el promedio de la potencia instantánea p(t) a lo largo de un periodo en la ecuación 2 se define T como el periodo [31].

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) dt + \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} V_m I_m \cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i) dt \quad (3)$$

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta) \quad (4)$$

**Potencia aparente (Q).** – La potencia aparente no está asociada con la realización de ningún trabajo externo al circuito (movimiento, calor, etc.) ya que toda la energía almacenada por una bobina o capacitor durante un ciclo de la onda senoidal se devuelve en el siguiente ciclo. Se la representa por la letra Q y su unidad es Voltio-Amperio reactivo (VAr) [31].

Sea:

$$v(t) = V_m \text{sen}(\omega t) [V] \text{ y } i(t) = I_m \text{sen}(\omega t - \theta) [A] \quad (5)$$

$$p(t) = v(t) * i(t) = V_m \text{sen}(\omega t) * I_m \text{sen}(\omega t - \theta) \quad (6)$$

Usando la identidad trigonométrica:  $\text{sen}(A)\text{sen}(B) = \frac{1}{2} [\cos(A - B) - \cos(A + B)]$  y reemplazando en la ecuación 6 se tiene :

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos(\omega t - (\omega t - \theta)) - \cos(\omega t + \omega t - \theta)] \quad (7)$$

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos(\theta) - \cos(2\omega t - \theta)] \quad (8)$$

Usando la identidad trigonométrica:  $\cos(A - B) = \cos(A) \cos(B) + \text{sen}(A)\text{sen}(B)$  y reemplazando en la ecuación 8 se tiene:

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos(\theta) - \cos(2\omega t) \cos(\theta) + \text{sen}(2\omega t) \text{sen}(\theta)] \quad (9)$$

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m \cos\theta [1 - \cos(2\omega t)] + \frac{1}{2} V_m I_m \text{sen}\theta \text{sen}(2\omega t) \quad (10)$$

$$p(t) = p_a(t) + q_r(t) \quad (11)$$

Donde:

$p_a(t)$ : *Componente activa*

$q_r(t)$ : *Componente reactiva*

Definiendo a la potencia activa como:

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \cos\theta \text{ [W]} \quad (12)$$

Y potencia reactiva como

$$Q = \frac{1}{2} V_m I_m \sin\theta \text{ [VAr]} \quad (13)$$

**Valor eficaz o valor cuadrático medio (RMS).** – El valor eficaz cuadrático medio se utiliza para medir la eficacia de una fuente de voltaje o corriente, se define como la potencia media entregada a un elemento de un circuito [31]. El voltaje eficaz se la calcula a partir de la ecuación 14.

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad (14)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (15)$$

Para el cálculo de la corriente eficaz se toma en cuenta la ecuación 16.

$$P = \frac{I_{rms}^2}{R} \quad (16)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{(t)}^2 dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (17)$$

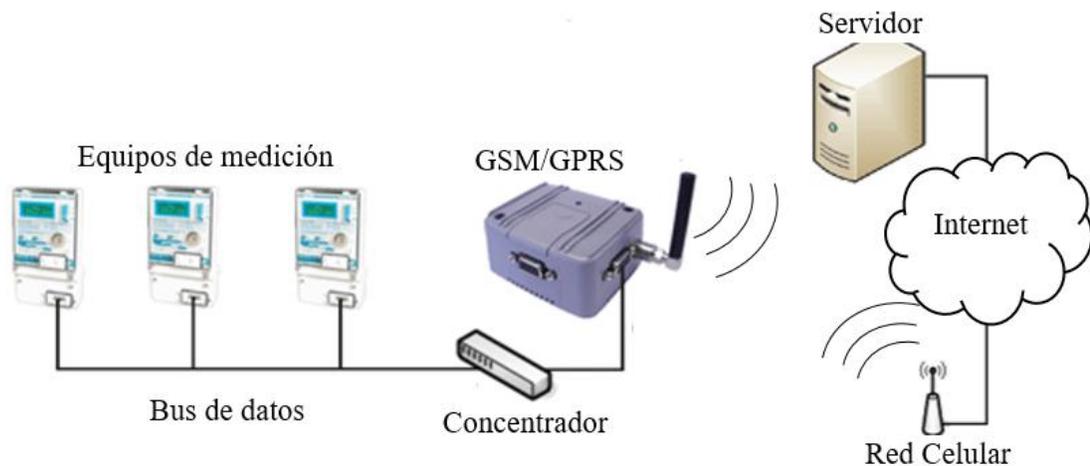
**Factor de potencia (fp).** - El Factor de Potencia es la división entre la potencia promedio y la potencia aparente, su valor es adimensional.

$$fp = \frac{P}{S} = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (18)$$

En circuitos el factor de potencia es igual al  $\cos(\theta)$ , donde  $\theta$  es el ángulo de fase entre las señales de voltaje y corriente. [32]

### 2.2.10. Telemedición

Consiste en una medición efectuada con ayuda de elementos intermedios que permiten que la medida sea interpretada a una cierta distancia. La característica distintiva de la telemedida es la naturaleza de los sistemas de transmisión, que incluyen la conversión de la cantidad medida en una magnitud representativa de otra clase (que puede transmitirse convenientemente para la medición a distancia). En la figura 2.5 se muestra un esquema simplificado de telemedición y se observa que la distancia real no tiene importancia debido a que los sistemas utilizan tecnología como GSM o GPRS (Cobertura global) para establecer una conexión bidireccional entre el servidor encargado de almacenar y presentar la información y los equipos de medida instalados en el lugar que se desea realizar el monitoreo de variables como temperatura, presión, estado de una salida(activo o inactivo), etc. [33].



**Figura 2. 5:** Esquema simplificado de un sistema de telemedición [34]

**Telemedición eléctrica.** - La telemedición eléctrica consiste en emplear sensores (voltaje y corriente) o transductores analógicos o digitales, destinados a la adquisición de datos eléctricos como, potencia activa, corriente, voltaje, etc. Para enviarlos a través de un sistema de telecomunicaciones a una estación de control en donde los valores son procesados y visualizados; la aplicación de tele lectura permite, reducir costos directos e indirectos, ofrecer innovación tecnológica y es una alternativa para el monitoreo del consumo eléctrico en los hogares. Además, puede proporcionar a la empresa distribuidora información en tiempo real del estado de su sistema [35]. Entre las ventajas más importantes de la telemedición eléctrica se destacan:

- Monitorear el consumo de energía en tiempo real.
- Realizar tele lectura de los medidores de energía.
- Llevar un registro de los picos de consumo en intervalos (horas, días, semanas).
- Ejecutar cortes y reconexiones inmediatas a usuarios que estén en mora.
- Identificar a los usuarios finales que se encuentren sin servicio eléctrico por alguna razón de fuerza mayor como avería en transformador o alguna sub estación a la que el usuario está conectado [35].

### **2.2.11. Rede de comunicación Móvil e Inalámbrica**

Una red de comunicación inalámbrica incluye una serie de dispositivos interconectados para soportar la transmisión de información por enlaces inalámbricos tales como las ondas de radio [36].

Una red de comunicación móvil está integrada por dispositivos que pueden intercambiar información y cuyo punto de conexión puede cambiar dinámicamente. A medida que el usuario se mueve su conexión cambian automáticamente [36].

Las redes inalámbricas pueden ser clasificadas de acuerdo a diversos criterios. En la figura 2.6 se muestra una taxonomía basada en el área de cobertura, las cuales se describen a continuación como: Redes de Área Personal Inalámbricas (Wireless Personal Area Networks, WPAN), Redes de Área Local Inalámbricas (Wireless Local Área Networks, WLANs), Redes de Área Metropolitana Inalámbricas (Wireless Metropolitan Área Networks, WMANs) y Redes de Área Amplia Inalámbricas (Wireless Wide Área Networks, WWANs) [36].

**Redes de Área Personal Inalámbricas (WPAN).** – Las Redes de Área Personal Inalámbricas abarcan un área muy pequeña como una habitación u oficina, entre los estándares utilizados en estas redes se encuentran Bluetooth, Zig Bee y Ultra Wide Band. Entre las características más destacadas se tienen:

- Maneja velocidades ideales de hasta 4Mbps que dependen de factores como la luz del ambiente, proximidad entre los dispositivos y obstáculos.
- En esta tecnología su velocidad de trasmisión va desde 1Mbps y un alcance máximo de 100 metros.
- Para la trasmisión usa ondas de radio frecuencia a 2.4GHz.
- Está orientado a aplicaciones de voz y datos [36] [37].

**Redes de Área Local Inalámbricas, WLANs.** - Las Redes de Área local Inalámbrica tienen una cobertura limitada de unos pocos metros abarcando áreas como una oficina, edificio o incluso un campus universitario. El estándar más utilizado a nivel mundial para este tipo de redes es el IEEE 802.11. Entre sus características más destacables se encuentran:

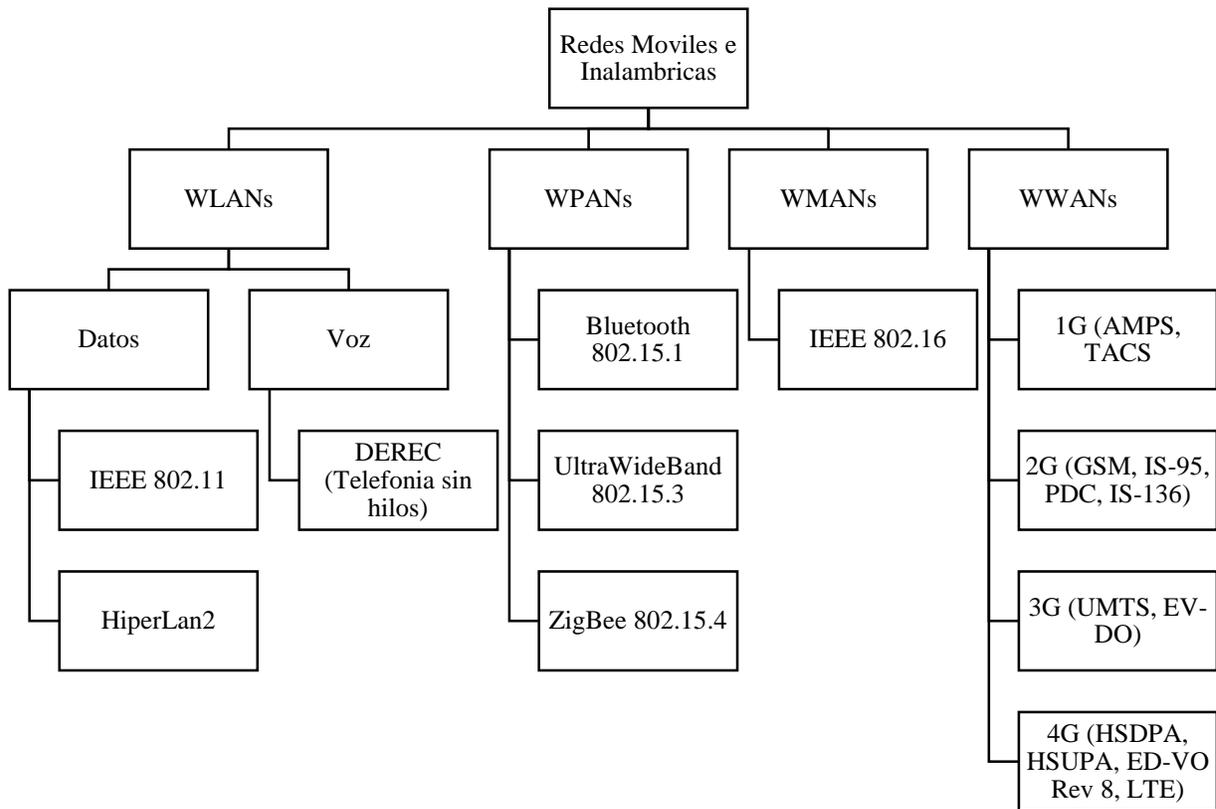
- Permite transmitir información en tiempo real en cualquier lugar de la organización o empresa alcanzando cualquier usuario dentro de la red,
- Facilita el acceso instantáneo a usuarios temporales de la red.
- Supera un mayor número de obstáculos, así, es útil en zonas donde no es posible llegar con el cableado [36] [37].

**Redes de Área Metropolitana Inalámbricas (WMANs).** - Las Redes de Área Metropolitana Inalámbricas tienen una cobertura mayor a las anteriores alcanzando unos cuantos kilómetros que pueden cubrir áreas como las de una ciudad. Uno de los estándares para este tipo de redes es el IEEE 802.16. Entre sus características más destacables se encuentran:

- Ofrece una amplia gama de medios de transmisión, como los enlaces satelitales, microondas, etc.
- No se limita a espacios geográficos determinados [36] [37].

**Redes de Área Amplia Inalámbricas (WWANs).** – Las redes de Área Amplia Inalámbricas están destinadas a cubrir grandes áreas con muchos kilómetros, tales como un país [36].

En Ecuador el 89.68% de la población el país tiene acceso al servicio móvil y el prestador de este servicio CONECEL S.A. tiene la mayor participación en este mercado con el 64.86% del total de abonados registrados, estadística referente al año 2017 proporcionadas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones [38].



**Figura 2. 6:** Redes Móviles e Inalámbricas [36]

En la tabla 2.12 se describe el rango de operación, tasa de trasmisión de datos, estándar de comunicación, de las redes inalámbricas descritas anteriormente. Se destaca a las Redes de Área Amplia Inalámbricas (WWANs) por el rango de cobertura global, la tecnología que utiliza es fácilmente accesible y su conectividad con otras redes inalámbricas [36].

**Tabla 2. 11:** Comparación de las tecnologías redes inalámbricas [36]

	<b>WPAN</b>	<b>WLAN</b>	<b>WMAN</b>	<b>WWAN</b>
Tecnología	Bluetooth Ultra Wide Band Zig Bee	802.11b 802.11a 802.11g 802.11n	802.16 802.16a 802.16e	GSM GPRS CDMA 2.5G 3G 4G
Tasa de datos	Tasa de datos medias(1 a 2 Mbps)	Tasas de datos Altas (11 Mbps a 200 Mbps)	Muy altas tasas de datos 350 Mbps	Tasas de datos de bajas a medias,10 Kbps a 2.4 Mbps.
Rango	Rango muy corto, 3m.	Rango con 100 m	Rango medio,50 Km	Rango global
Conectividad	Laptop a PC a periféricos.	Computador a computador y la Internet.	LAN o computador a una línea cableada de alta velocidad de Internet.	Da Smart Phones y PDASs a WANs y a la Internet.

### 2.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La implementación de un prototipo de equipo de medición de energía eléctrica que incluya telemedición, disminuirá errores de lectura y facturación, brindando un mayor tecnicismo a través de nueva tecnología. Adicionalmente reducirá el tiempo y costo que las empresas eléctricas actualmente invierten realizando las lecturas convencionales.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación del proyecto estuvo orientado a dar solución a un problema que surge de las necesidades de la empresa de distribución eléctrica y los usuarios, realizando así una:

**Investigación Aplicada**, que busca la utilización de conocimientos adquiridos para la solución de problemas, dirigida a la construcción de un dispositivo de telemedición eléctrico.

**Investigación Bibliográfica**, debido a que la búsqueda de información del tema de se realizó en publicaciones disponibles en Internet y con esta se elaboró el marco teórico, de tal forma que se profundizo en el tema y subtemas de la investigación.

**Investigación de Campo**; aplicando esta se tomó información de medidores existentes para realizar una comparación y el desarrollo el análisis correspondiente con el equipo propuesto.

#### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Por las características de la investigación. No se requirió población y muestra.

### **3.3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La recolección de información se realizó a través de la investigación de campo, en la vivienda ubicada en el cantón Pelileo de la provincia de Tungurahua. También se tomaron en cuenta fuentes bibliográficas, repositorios de publicaciones, videotecas, institutos de investigación, Internet, etc., en la implementación del prototipo.

### **3.4. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

Una vez que se obtuvo la información de la investigación, se procedió a procesar la está en forma ordenada y sistemática, presentando cuadros comparativos entre dispositivos referentes al tema de investigación.

### **3.5. DESARROLLO DEL PROYECTO**

El desarrollo del presente proyecto se ejecutó basado en:

- Recopilar información sobre los equipos de medición eléctrica existentes para medición en viviendas.
- Identificar las características de los medidores instalados para la toma de lecturas residenciales.
- Examinar los parámetros que se toman en cuenta para el cálculo monetario por servicio eléctrica residencial.
- Investigar sobre tecnología inalámbrica que se utiliza en equipos de telemedición eléctrica.
- Contrastar las ventajas y desventajas de la tecnología inalámbrica.
- Seleccionar los elementos que se requieren para construir el equipo de telemedición eléctrica.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del equipo de telemedición.
- Detección y corrección de fallos encontrados en el equipo de telemedición eléctrico al realizar las pruebas de funcionamiento.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo se realizó con el objetivo de monitorear el consumo de energía eléctrica en el hogar, con la implementación de un equipo de medición eléctrica.

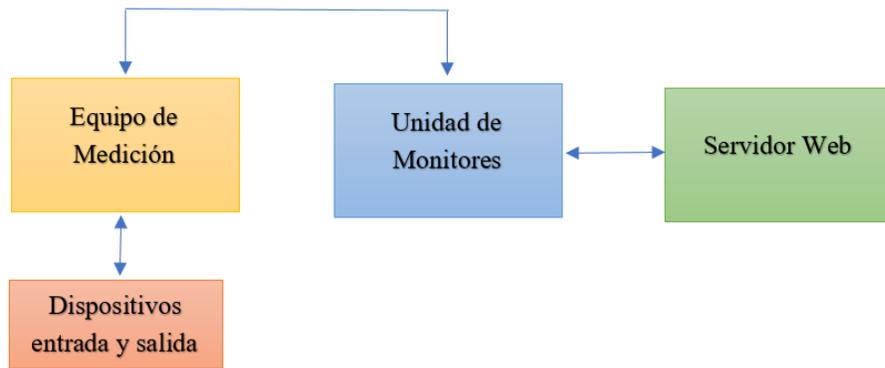
Se realizó el diseño e implementación del equipo de telemedición de energía eléctrica; para eso fue necesario el estudio del estado del arte donde se determinó y seleccionó los dispositivos y equipos necesarios para el cumplimiento del proyecto.

El equipo está constituido en su totalidad con hardware y software libre, de fácil accesibilidad en el mercado. Además, se lo puede conectar de manera directa en cualquier hogar tomando en cuenta que se debe tener conocimientos de instalaciones eléctricas.

Este capítulo se desarrolló de la propuesta, también el diseño general de la propuesta, la implementación del prototipo, así como las pruebas de funcionamiento y el análisis de resultados.

#### **4.2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN**

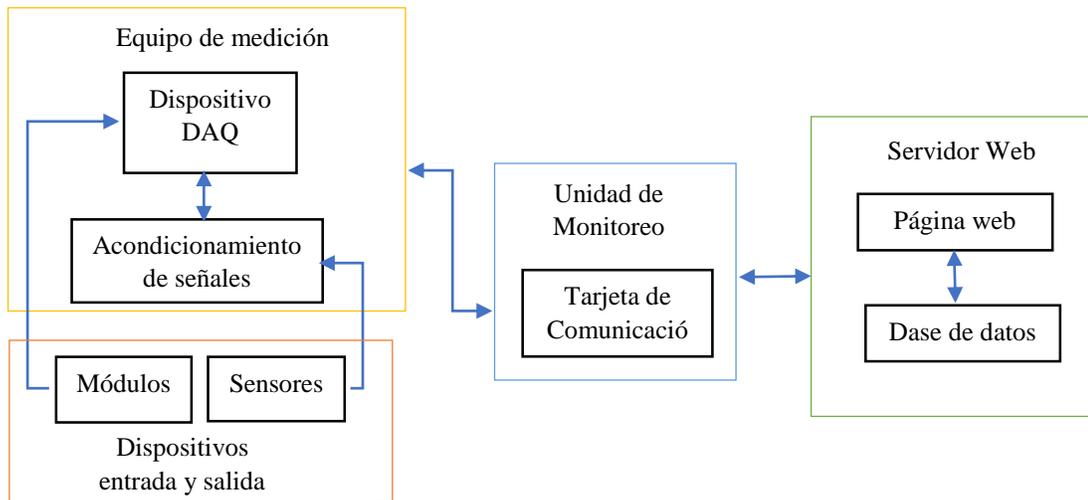
El equipo de telemedición de energía eléctrica está constituido por tres bloques principales: equipo de medición, comunicación y el servidor. Esto se indica en la figura 4.1 que muestra el diagrama de general para telemedición eléctrica.



**Figura 4. 1:** Diagrama de bloques Equipo de Telemetría.

**Elaborado por:** Juan Morales

#### 4.2.1. Diagrama de bloques del sistema propuesto



**Figura 4. 2:** Diagrama del sistema propuesto

**Elaborado por:** Juan Morales

Las etapas de diseño y construcción del equipo de telemetría de la figura 4.2 se detallan a continuación:

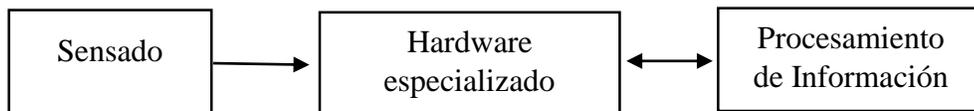
- **Dispositivos de entrada y salida.** – Esta etapa cuenta con sensores de voltaje y corriente, son elementos que convierten magnitudes físicas en señales eléctricas y permiten el cálculo de los valores para la estimación de consumo eléctrico, y módulos para registrar los datos de los sensores y activar los actuadores.
- **Equipo de medición.** - Esta etapa cuenta con el acondicionamiento de señales que sirve de circuito limitador de corriente y acoplamiento, además de estandarizar la señal que emiten los sensores para que sean leídas por el puerto del microprocesador, y el dispositivo de adquisición de datos, que se encarga de almacenar y procesar las señales acondicionadas.
- **Unidad de monitoreo.** – Está compuesta por una Shied encargada de la comunicación con el servidor.
- **Servidor web.** - El servidor web cuenta con una base de datos que sirve para registrar la información que se envía desde el medidor y una página web encargada de presentar graficas de los datos recogidos.

### 4.3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

#### 4.3.1. Equipo de medición

El equipo de medición es el conjunto de elementos electrónicos, diseñado para instalarse de manera independiente en la vivienda. Tienen como finalidad recoger información sobre los sensores de corriente y voltaje para enviarlos al servidor mediante la tarjeta de comunicación.

En la figura 4.3 se muestra el diagrama del proceso de toma de señales, para ello se cuenta con una etapa de sensado, adquisición de datos por hardware y procesamiento de información por software. Los datos que llegan a los sensores se pasan el hardware especializado que se encarga de convertir las señales físicas en digitales. Sus funciones principales es la Conversión Análogo Digital ADC de las señales que entrega la etapa de acondicionamiento.



**Figura 4. 3:** Adquisición de datos DAQ [39].

**Elaborado por:** Juan Morales

- **Selección del microprocesador para la adquisidora de datos de la placa electrónica**

El microcontrolador es el hardware especializado que se encarga de procesamiento los datos entregados por la etapa de acondicionamiento y recogidos por los sensores. En él se ejecuta todo tipo de cálculos, procesos e instrucciones, pero lo que es necesario analizar los requerimientos del prototipo. La tabla 4.1 muestra las características técnicas de algunos microcontroladores.

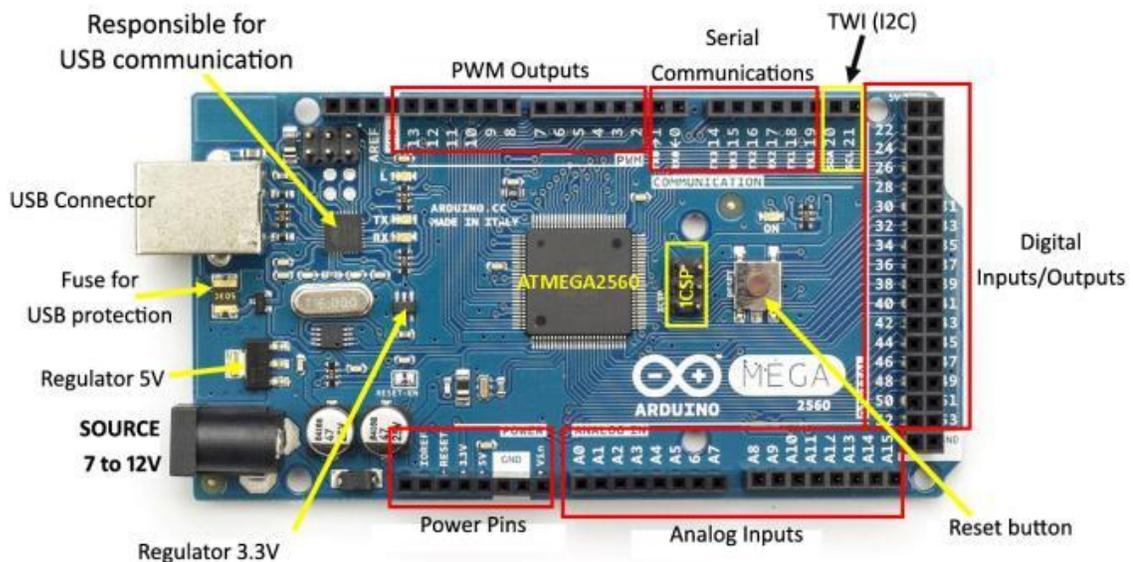
**Tabla 4. 1:** Tabla comparativa para la selección de Microcontrolador [40], [41].

Microcontrolador	ATMEL	Arduino UNO	Arduino MEGA 2560	RASPBERRY
	AVR Atmega 168 o 328	AVR Atmega 328	AVR Atmega 2560	Broadcom BCM2835
<b>Pines digitales E/S</b>	23	14/14	54/54	40GPIO
<b>Pines analógicos E/S</b>	-	6/0	16/0	-
<b>Frecuencia de trabajo (Mhz)</b>	20	16	16	-
<b>Voltaje de alimentación (V)</b>	1.8 – 5.5	7-12	7-12	3.3
<b>Memoria Flash (Kb)</b>	16 o 32	32	128 o 256	-
<b>Memoria RAM</b>	2 Kb	2Kb	8Kb	256MiB SDRAM
<b>Memoria EEPROM</b>	1Kb	1Kb	4Kb	-
<b>Voltaje en pines digitales (V)</b>	1.8 o 5.5	5	5	3.3

<b>Corriente maxima en pines digitales (mA)</b>	40	40	40	16
<b>Conversor Analogico digital</b>	8 bits	8 bits	10 bits	-
<b>Precio (USD)</b>	4	12	20	45

**Elaborado por:** Juan Morales

Analizando los microcontroladores de la tabla 4.1, para el procesamiento de datos se seleccionó el Arduino mega 2560, ya que dispone de 54/54 pines digitales E/S y 16 pines analógicos de entrada, Interfaces I2C, EMI, SPI y USART, el conversor analógico cuenta con una resolución de 10 bits, se encuentra con facilidad en el mercado y es bajo coste. Además, este microprocesador cuenta con un desarrollo en Arduino fácil de utilizar. En la figura 4.4 se muestra la distribución de pines del Arduino Mega 2560.



**Figura 4. 4:** Distribución de pines Arduino Mega 2560 [42].

### 4.3.2. Dispositivos de entrada y salida

Los dispositivos de entrada y salida se encuentran: sensores, módulos y una pantalla de cristal líquido; la finalidad de los sensores es detectar magnitudes físicas para transformarlas en variables eléctricas, que puedan ser procesadas por la unidad de monitoreo.

#### 4.3.2.1. Sensado de variables eléctricas

El sensado de variables eléctricas consiste en recolectar datos mediante sensores; para este proyecto se utilizaron dos tipos, los cuales son analógicos y digitales, que permitió tomar muestras de voltaje y corriente.

#### Sensado de voltaje

El sensado de voltaje requiere medir el valor que se encuentra en la red eléctrica de la acometida del medidor.

- **Selección del sensor de voltaje**

El sensor de voltaje es el encargado de proporcionar una señal que pueda ser leída por el microcontrolador y sea utilizada para el cálculo del consumo eléctrico. En la tabla 4.2 se muestran las características técnicas de algunos sensores de voltaje.

**Tabla 4. 2:** Tabla comparativo para la selección del sensor de voltaje [43].

<b>Sensor de voltaje</b>	<b>Passport PS 2115</b>	<b>EATON VoltageWatch P52215</b>	<b>AC FZ1440</b>	<b>Transformador de voltaje</b>
<b>Voltaje que mide</b>	CC	AC	AC	AC
<b>Exactitud</b>	±20 mV	±15% del valor nominal	-	±20% de valor nominal
<b>Comunicación</b>	USB	No	No	No

<b>Voltaje de entrada</b>	10V	480V	250V	120V
<b>Precio USD</b>	12	216	10	10

**Elaborado por:** Juan Morales

Analizando los sensores de la tabla 4.2, En base a las características presentadas en la tabla 4-3, se seleccionó el transformador de voltaje debido a que mide voltaje AC directamente de la red eléctrica que trabaja a 120V nominales, además, es fácil de instalar y la relación costo beneficio es adecuada en comparación con otros equipos existentes en el mercado. En la figura 4.5 se muestra las características del dispositivo empleado en el prototipo son; voltaje de entrada de 120V y salida de 12 V con tap central, frecuencia de trabajo 50 y 60Hz, y corriente de máxima de salida de 500mA.



**Figura 4. 5:** Transformador de voltaje [44].

### Sensor de corriente

El sensado de corriente requiere medir el valor de corriente total que se encuentra en la carga conectada en la vivienda.

- **Selección del sensor de corriente**

El sensor de corriente alterna detecta variaciones en la magnitud, y generan una señal proporcional que puede ser de voltaje, corriente analógica o una señal digital. Existen distintos tipos de sensores de corriente los más utilizados se presentan en la tabla 4.3:

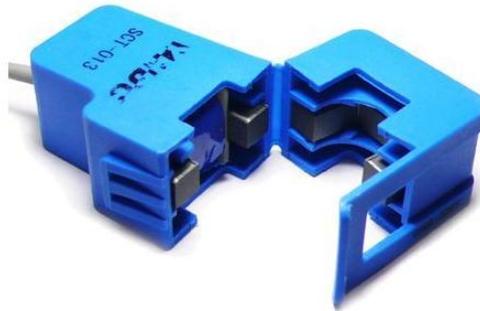
**Tabla 4. 3:**Selección del sensor de corriente [45].

<b>Sensor de corriente</b>	Resistivo SHUNT	ACS712	ACS714	SCT 013-100
<b>Rango de medición</b>	100 A	+20 A a -20 A	+30 A a -30 A	0 a 100A
<b>Sensibilidad</b>	-	185mV/A	65mV/A	0.5mV/A
<b>Voltaje de salida</b>	-	0.5V a 4.5V	0,52V a 4,48V	0mV a 50mV
<b>Resolución</b>	-	49mA	74mA	26mA
<b>Precio USD</b>	5	8	12	14

**Elaborado por:** Juan Morales

Luego de realizar el análisis de la tabla 4.3 y se decidió utilizar el sensor SCT013-000, que cuenta con un amplio rango de medición de corriente que llegando hasta 100A, el cual es un valor lo suficientemente alto para cumplir el propósito del prototipo, otro de los aspectos determinantes al momento de su elección es que al ser de tipo efecto hall, y

su estructura tipo pinza facilita la instalación línea de fase o neutro; en la figura 4.10 se muestra el sensor utilizado en el proyecto.



**Figura 4. 6:**SCT013-100

### Selección de la pantalla de Visualización

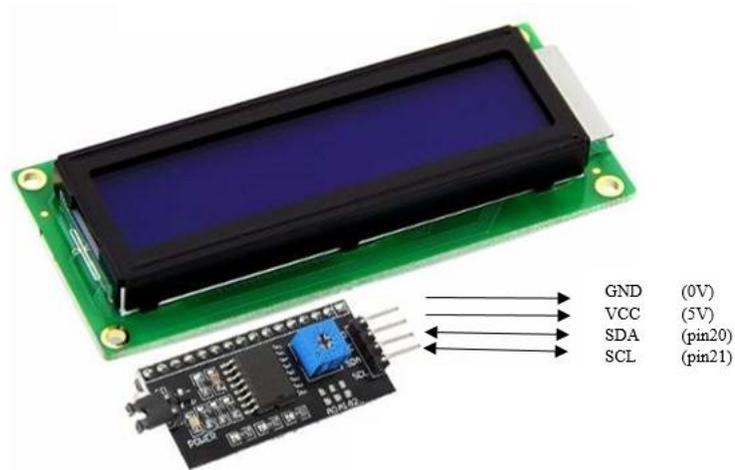
La pantalla de visualización se utiliza para presentar los datos procesados por el Arduino Mega 2560, existen diferentes dispositivos que permiten la visualización como contadores, matrices de leds y pantallas. En la tabla 4.4 se presentan los más utilizados:

**Tabla 4. 4:** Dispositivos de visualización [45].

Dispositivo	Resolución	BUS	Panel Táctil	Color	Memoria	Costo
LCD Oled	128x64 píxeles	4 bits	NO	Monocromático	NO	\$ 25
LCD 16x2 I2C	32 caracteres	4 bits	NO	Monocromático	RAM 80bits	\$ 9
TFT 3.2'	320 x 240 píxeles.	16 bits	SI	65536	SD hasta 1Gb	\$ 35

**Elaborado por:** Juan Morales

Para la selección del dispositivo de visualización se analizó la tabla 4.4 y se tomó en cuenta que la función principal de esta pantalla es presentar el consumo de energía eléctrica acumulado, por ello se utiliza una LCD 16x2 con comunicación I2C que facilita el intercambio de información con Arduino. En la figura 4.12 se muestra la conexión con Arduino y sus terminales señalizadas.



**Figura 4. 7:** LCD 16x2 I2C [46].

### **Selección del módulo de Almacenamiento**

El módulo de almacenamiento sirve para registrar la información de voltaje, corriente y consumo al igual que la fecha y la hora en que se realiza la medición de estas variables. Entre las características más destacables se tiene:

- Tener un bajo consumo, hay que tener en cuenta que este tipo de sistemas pueden trabajar durante semanas, meses y hasta años
- Tener una buena capacidad de almacenamiento de datos
- Costo bajo de los componentes y disponibilidad

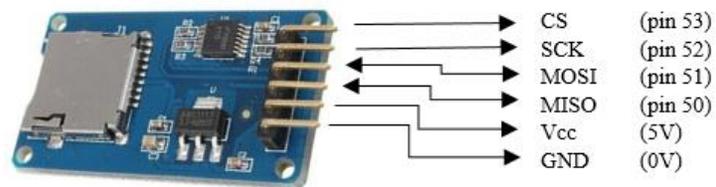
En la tabla 4.5 se detallan las características de varios módulos de almacenamiento que se pueden utilizar para guardar información.

**Tabla 4. 5:**Selección del módulo de almacenamiento

<b>Módulo de almacenamiento</b>	<b>Micro SD</b>	<b>Modulo SD</b>	<b>Unidad extraíble</b>
<b>Voltaje de Funcionamiento</b>	5V	3.3V	5V
<b>Protocolo de comunicación</b>	SPI	SPI	USB
<b>Tipo de tarjeta que soporta</b>	Micro SD	SD	Integrada en chip
<b>Almacenamiento</b>	8 Gb	4Gb	128Gb
<b>Consumo de energía</b>	Muy bajo	bajo	bajo
<b>Precio USD</b>	4	8	70

**Elaborado por:** Juan Morales

Luego de analizar la tabla 4.5, se seleccionó el modelo Micro SD para utilizarlo como respaldo de datos en caso de perder la fuente primaria de energía, además, el bajo consumo que presenta, el protocolo de comunicación SPI compatible con Arduino, la capacidad de almacenamiento, su bajo costo y la disponibilidad el mercado local llevo a su utilización en esta investigación, en la figura 4.13 se muestra su estructura física y la distribución de pines con respecto al Arduino mega 2560.



**Figura 4. 8:** Micro SD [47]

## Selección del módulo reloj en tiempo real

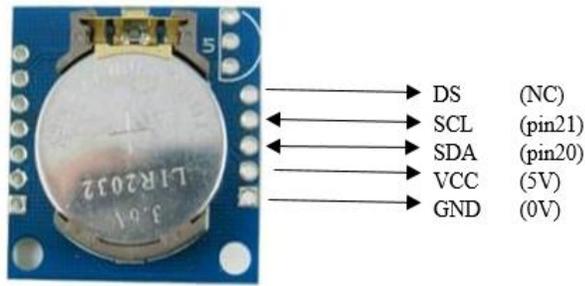
Un reloj de tiempo real o real time clock (RTC) realiza el seguimiento de la hora actual, incluido en un circuito integrado que dispone de una fuente alternativa que puede seguir manteniendo el tiempo mientras la fuente de alimentación principal está apagada o no se encuentra disponible. En la tabla 4.6 se muestran una comparación entre los módulos que se utilizan para obtener la fecha y la hora actual.

**Tabla 4. 6:** Selección de módulo de tiempo real [48], [49]

Módulo RTC	DS 3231	DS 1307	DS 1302
Voltaje de operación	3.3V a 5V	4.5V a 5.5V	3.3V a 5V
Memoria EEPROM	4K*8bits	4K*8bits	-
Posee batería	No incluida	Si incluye	No incluye
Comunicación	I2C	I2C	Serial
Adicional	-	Medición de Temperatura	-
Precio USD	7	4	4

**Elaborado por:** Juan Morales

Para seleccionar el módulo RTC se analizó la tabla 4.6, y se seleccionó el módulo DS 1307 para obtener la fecha y hora actual por sus características como, poseer una comunicaron I2C compatible con Arduino, traer incorporada la batería, presentar la opción adicional de medición de temperatura y encontraste en el mercado local a un costo muy accesible. En la figura 4.14 se muestra su estructura física y la conexión que se realiza con los pines del Arduino mega 2560.



**Figura 4. 9:** Reloj en tiempo real DS1307 [49].

### 4.3.3. Unidad de Monitoreo

La unidad de monitoreo se encarga de establecer una comunicación entre el medidor de energía y la base de datos del servidor web.

### Comunicación Inalámbrica

La comunicación inalámbrica se utiliza para transferir información desde el emisor hacia un receptor mediante la utilización de medios no guiados. En la tabla 4.7 de exponen diferentes tecnologías de comunicación, las más utilizadas utilizadas se detallan a continuación:

**Tabla 4. 7:** Estándar de Comunicación [36].

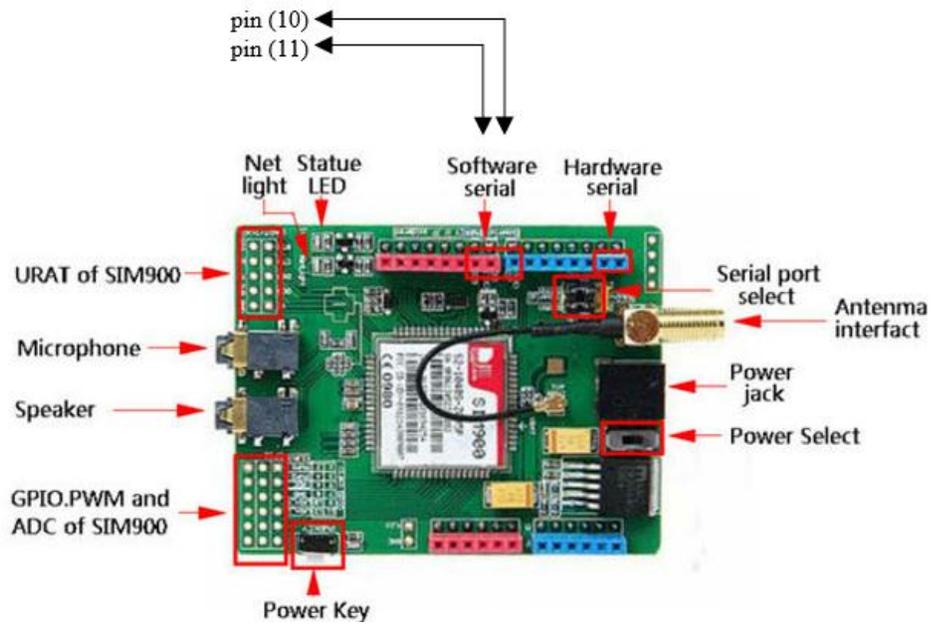
<b>Tecnología</b>	<b>ZeeBee 802.15.4</b>	<b>Bluethooth 802.15.1</b>	<b>WiFi 802.11</b>	<b>GSM GPRS</b>	<b>Ethernet 802.3</b>	<b>USB 2.0</b>
<b>Velocidad de TX</b>	250 kbps	1-32Mbps	11-248Mbps	60kbps	0.1-100Gbps	480Mbps
<b>Rango de trabajo (m)</b>	75	1-100	30-100	8000	100	5m
<b>Medio de TX</b>	RF	RF	RF	Radio	Par trenzado	Guiado

<b>Número máximo Nodos</b>	65000	30	-	Depende de la estación base	100	127
<b>Topología</b>	Maestro Esclavo	Maestro Esclavo	Estrella	Estrella	Estrella	Estrella

**Elaborado por:** Juan Morales

Luego de analizar la tabla 4.7, la tecnología que se empleó en el desarrollo del prototipo fue GSM/GPRS debido a que no se dispone de una red de transporte de datos propia que conecte al medidor con el servidor web, además, su rango de cobertura es prácticamente global ya que se comunica mediante la red móvil existente. La tarjeta de comunicación inalámbrica que trabaja con esta tecnología es la SIMCOM900 por lo cual se seleccionó este módulo. En la figura 4.15 se muestra el diagrama físico y la distribución de pines que se utiliza para conectarla con el Arduino mega 2560.

Para el registro en la red móvil es necesario la utilización de un chip de cualquier operadora que sea compatible con el módulo, en nuestro caso se utilizó un chip claro; debido a que compañía celular tiene mayor cobertura en la provincia de Tungurahua.



**Figura 4. 10:** Modulo GSM/GPRS [50].

### Selección del módulo Relé

El modulo relé es un interruptor eléctrico o electrónico que permite utilizar alta potencia en su bornera de salida utilizando señales de control como entradas; su principal función es la interrupción de corriente entre dos puntos, en el proyecto se utiliza como control para realizar una desconexión/conexión del servicio eléctrico en la bornera del medidor de energía cuando el usuario este en mora por no pago a tiempo de su planilla de servicio eléctrico. En la tabla 4.8 se indican los módulos relé compatibles con Arduino, así:

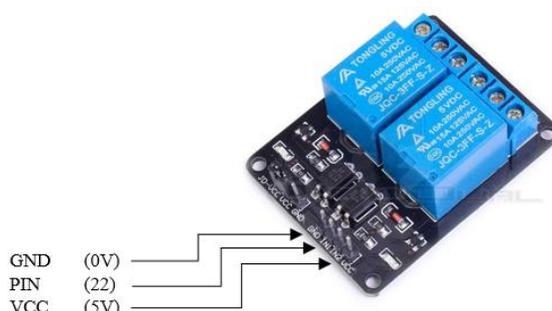
**Tabla 4. 8:**Selección del módulo relé [51].

Módulo Relé	Estado solido	De contacto
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	5V	5V
<b>Voltaje de activación</b>	3.3V a 5V	5V

<b>Voltaje de salida</b>	250VAC o 30VDC	250VAC o 30VDC
<b>Corriente de salida</b>	2A	10A
<b>Precio USD</b>	20	4

**Elaborado por:** Juan Morales

Para seleccionar el módulo relé se analizó la tabla 4.8, y se escogió para el proyecto el módulo relé de contacto con dos canales, debido a que maneja una salida de 10A con un voltaje de 250VAC, además, su precio es accesible para implementar el prototipo. En la figura 4.16 se observa la estructura física y la distribución de pines en referencia al Arduino mega 2560.



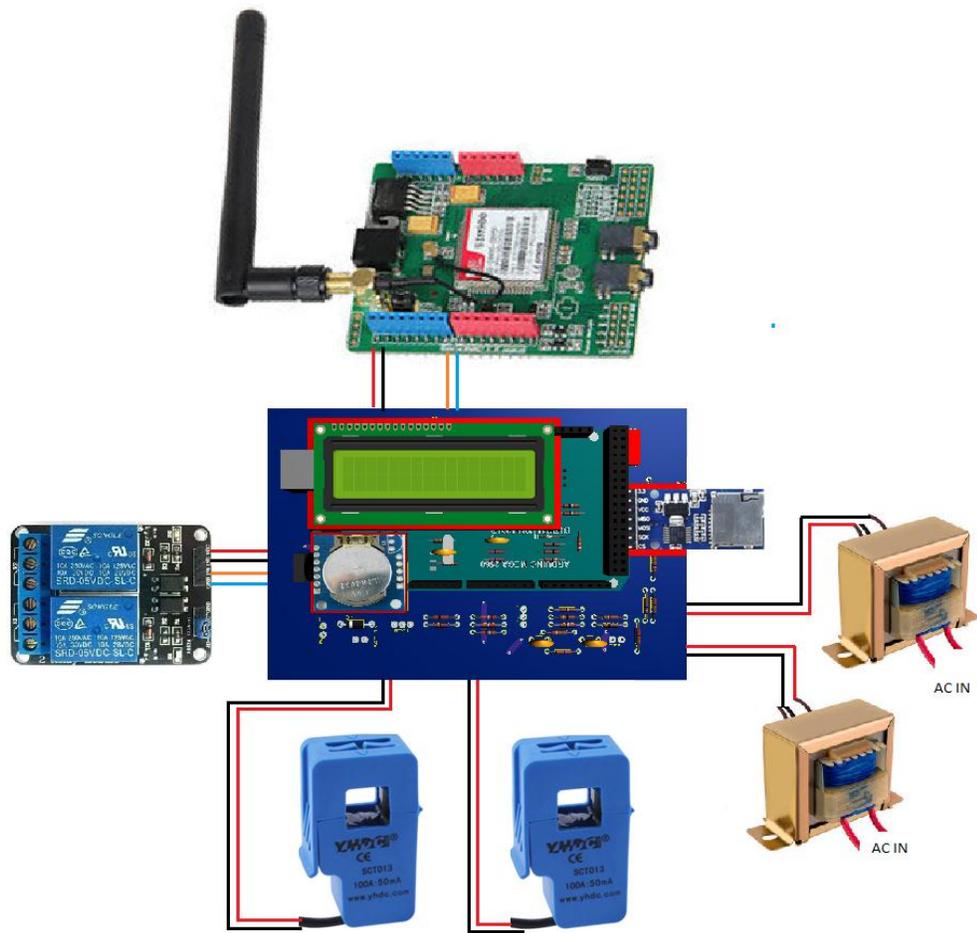
**Figura 4. 11:** Módulo relé [51].

#### 4.4. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE TELEMEDICIÓN

El diseño y la implementación del equipo de telemedición tiene como propósito general monitorear y registrar el consumo de energía eléctrica en una vivienda para tener una perspectiva real de los valores de voltaje en la red eléctrica y corriente de la carga conectada en el medidor. Para generar un histórico del consumo diario, semanal o mensual de un usuario residencial mediante un servidor web.

#### **4.4.1. Diseño electrónico del equipo de telemedición**

En la figura 4.24 se muestra el diseño electrónico del prototipo de telemedición, este cuenta con un microcontrolador Arduino mega 2560 encargado de realizar todas las operaciones matemáticas y ejecutar el programa que controla las entradas y salidas, un módulo de comunicación inalámbrica SIMCOM 900 que establece la comunicación vía GPRS con el servidor web, dos sensores de corriente STC 013-100 y dos sensores de voltaje de 120VAC-12VAC encargados de enviar señales eléctricas a la tarjeta de adquisición de datos, un módulo de tiempo real DS1307 que facilita la hora y la fecha, un módulo micro SD de 8Gb para registro de parámetros eléctricos, un módulo relé encargado de conectar y desconectar al usuario en caso de estar en mora y una pantalla lcd para visualizar el consumo eléctrico.



**Figura 4. 12:**Diseño electrónico del prototipo

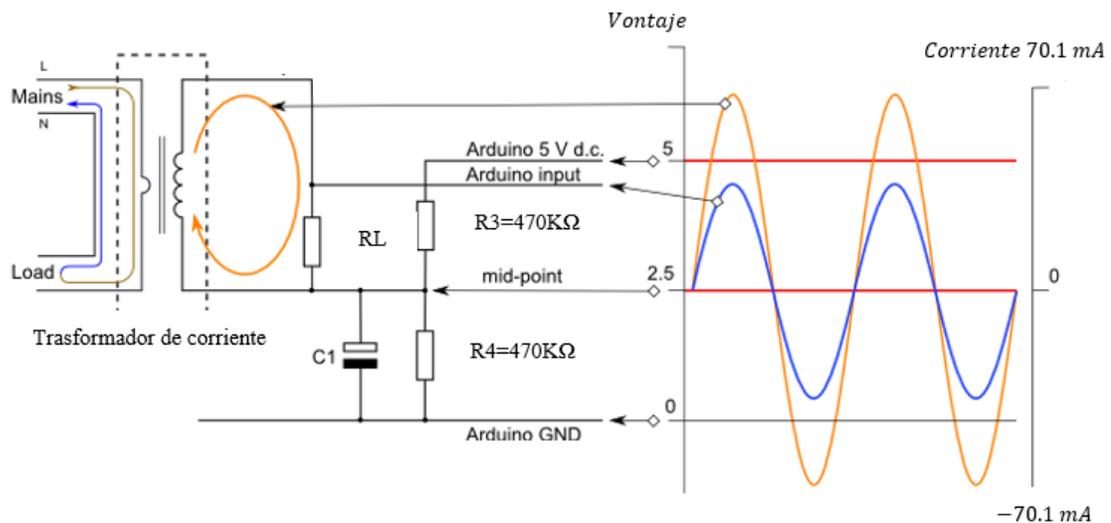
**Elaborado por:** Juan Morales

### **Adquisición de datos**

Los datos recolectados por los sensores de corriente STC 013-100 y los transformadores de voltaje 120Vac a 12Vac, pasa por un circuito acondicionador que se encarga de entregar una señal a los pines analógicos del microcontrolador (A0, A1, A4 y A5) entre 0Vcc y +Vcc que es voltaje de trabajo del Arduino mega 2560.

## Acondicionamiento de señales

Para procesar las señales es necesario una etapa de acondicionamiento, el sensor de corriente entrega 500mA a la salida para una corriente de 100A, es por esta razón que se realizó un acondicionamiento de la señal de corriente; esto se logró utilizando una resistencia Shunt en donde se mide la caída de voltaje, en la figura 4.13 se muestra el circuito de acondicionamiento y su respectiva forma de onda, así:

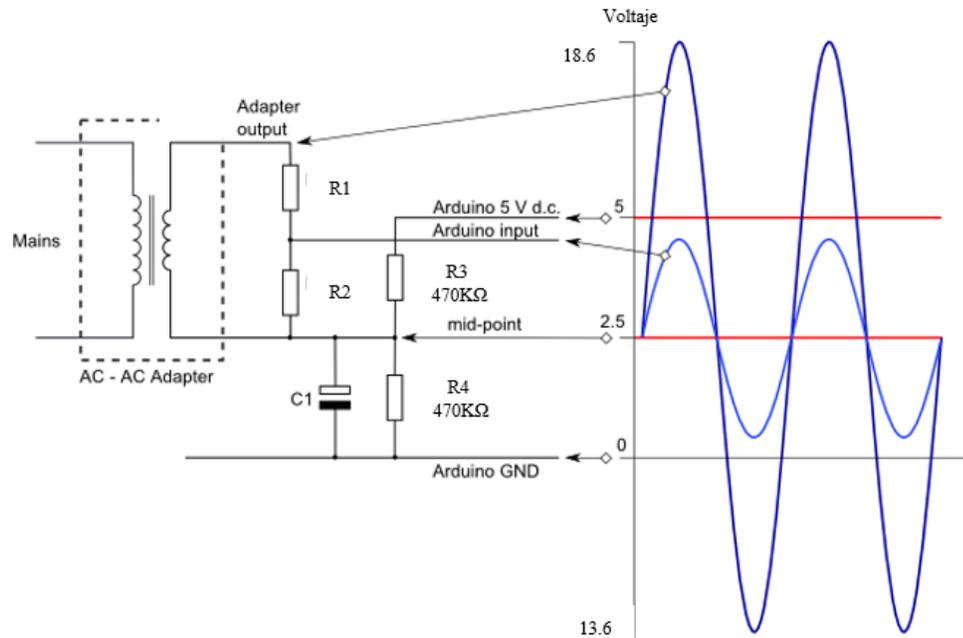


**Figura 4. 13:** Acondicionamiento de corriente [52].

En color naranja se representa la señal de corriente en la salida del sensor que circula por RL, R4 y R3 crear una componente continua de 2.5V que es la que aparece en el punto medio, y la señal de color azul es el voltaje medidor en RL que ingresa al pin del microcontrolador.

El Arduino Mega 2560 tiene una resolución de convertidor de 10 bits, es decir que al momento de la cuantificación de la señal analógica esta se representó en valores de 0 a 1023.

Para el acondicionamiento de la señal de voltaje del transformador se emplea la figura 4.14, la salida del transformador entrega 12Vac cuando existe 120Vac en su entrada, para reducir este voltaje se emplea un divisor de tensión entre R1 y R2, mientras R3 con R4 generan una componente continua de 2.5V que es el punto medio de la señal de entrada del pin analógico del microcontrolador.



**Figura 4. 14:** Acondicionamiento de Voltaje [52].

### Procesamiento de datos

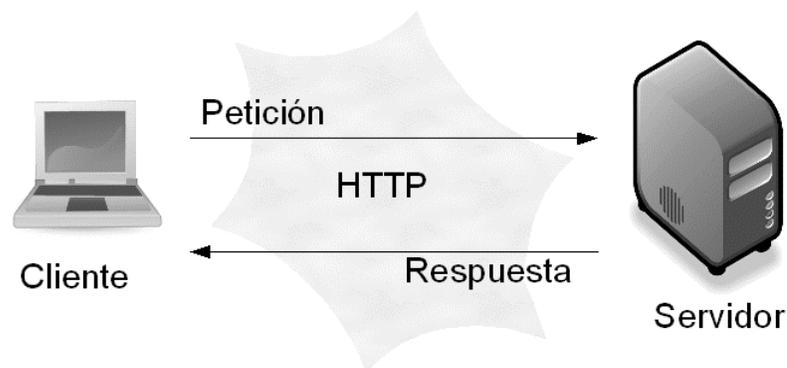
Para el procesamiento de datos se realizó un programa en el Entorno de Desarrollo de Arduino. Se configuro las entradas y salidas del microcontrolador, inicializado de puertos puertos para la comunicación serial con los módulos y la comunicación con el módulo gestor de conexión con el servidor web.

El equipo de medición eléctrica realiza el cálculo del consumo, voltaje y potencia empleando el microcontrolador, este se comunica con el módulo de tiempo real para hacer la petición de

la hora y fecha, estos datos se visualizan en la pantalla de cristal líquido, y se guardan en la memoria micro SD, al final envía un registro de voltaje, consumo, fecha y hora al servidor web. Aquí se almacenan estos valores y mediante una página web son visualizados desde cualquier navegador.

#### 4.5. UTILIZACIÓN DEL SERVIDOR

Para la gestión de información se utiliza un concepto llamado arquitectura cliente-servidor; los datos de potencia, consumo, voltaje, fecha y hora, llegan al servidor vía internet. Esta arquitectura de comunicación aprovecha el estándar TCP/IP, HTTP para realizar una petición al servidor. En la figura 4.16 se muestra la arquitectura básica cliente-servidor.



**Figura 4. 15:**Arquitectura cliente servidor [53]

Éste modelo intenta proveer usabilidad, flexibilidad, interoperabilidad y escalabilidad en las comunicaciones. Su funcionamiento es sencillo: se tiene una máquina cliente, que requiere un servicio de una máquina servidor, y éste realiza la función para la que está programado.

### 4.5.1. Cliente

El cliente maneja todas las funciones relacionadas con la manipulación y despliegue de datos, por lo que están desarrollados sobre plataformas que permiten construir interfaces gráficas de usuario, además de acceder a los servicios distribuidos en cualquier parte de la red.

Las funciones que lleva a cabo el proceso cliente, se resumen en los siguientes puntos:

- Administrar la interfaz de usuario.
- Procesar la lógica de la aplicación y hacer validaciones locales.
- Generar requerimientos de bases de datos.
- Recibir resultados del servidor.

Desde el punto de vista de las comunicaciones, un proceso servidor escucha en un puerto de comunicaciones TCP (por defecto, el 80), y espera las solicitudes de conexión de los clientes Web. Una vez que se establece la conexión, el protocolo TCP se encarga de mantener la comunicación y garantizar un intercambio de datos libre de errores; para acceder al servidor hace falta un dominio en internet, sin este no es posible acceder a la información que está almacenada en una base de datos, para poder comunicarse el cliente utiliza HTTP.

Es necesaria la utilización de un navegador web que debe estar instalado en la capa de aplicación del lado del cliente, HTTP se basa en sencillas operaciones de solicitud/respuesta. El cliente establece una conexión con el servidor y envía un mensaje con los datos de la solicitud; el servidor responde con un mensaje similar, que contiene el estado de la operación y su posible resultado. Todas las operaciones pueden adjuntar un objeto o recurso sobre el que actúan; cada objeto Web (documento HTML, fichero multimedia o aplicación CGI) es conocido por su URL.

El navegador web que se utiliza puede ser cualquiera, este dependerá de la plataforma o dispositivo que se utilice para realizar la petición al servidor, con esto se garantiza que independientemente del sistema operativo que se realice la petición, la información generada será visualizada de manera transparente.

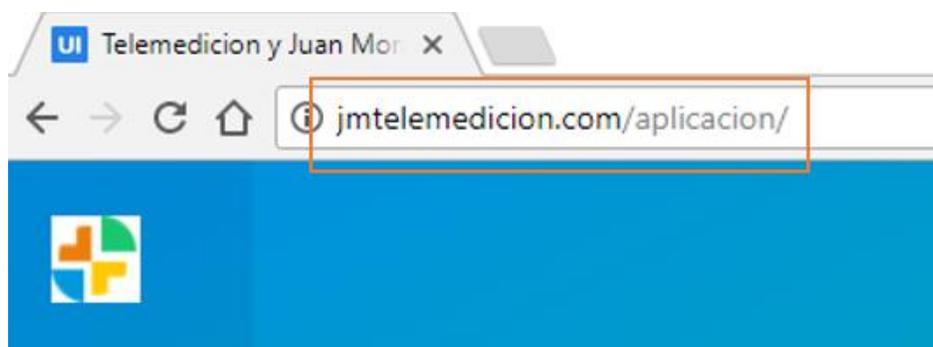
El dominio que se creó para la utilización de la página web es *jmtелеmedicion.com* que se accede desde el navegador Google Chrome en la figura 4.17 se muestra el ingreso.



**Figura 4. 16:**URL del servidor

**Elaborado por:** Juan Morales

Y la URL que se utiliza para visualizar la información es *jmtелеmedicion.com/aplicación* se verifica en la figura 4.18 que es donde están guardados los archivos HTML que son los encargados de presentar los datos.



**Figura 4. 17:**URL Aplicación

**Elaborado por:** Juan Morales

#### 4.5.2. Servidor

El servidor es Apache que opera bajo el protocolo de transferencia de hipertexto HTTP, con este se mantiene la información siempre disponible las 24 horas del día con seguridad tanto de hardware, software y una conexión segura para evitar posible fallos o errores en los servicios; garantizando que el acceso se pueda hacer desde cualquier punto de internet.

La instalación de Apache se la realiza desde la consola mediante el comando:

```
sudo apt-get install apache 2 -y
```

Una vez instalado el paquete de Apache, se configura la IP de nuestro equipo como estática, esta dirección será la que se utilice para acceder al servidor. La dirección de acceso al sistema de Monitoreo es la *jmtелеmedicion.com*

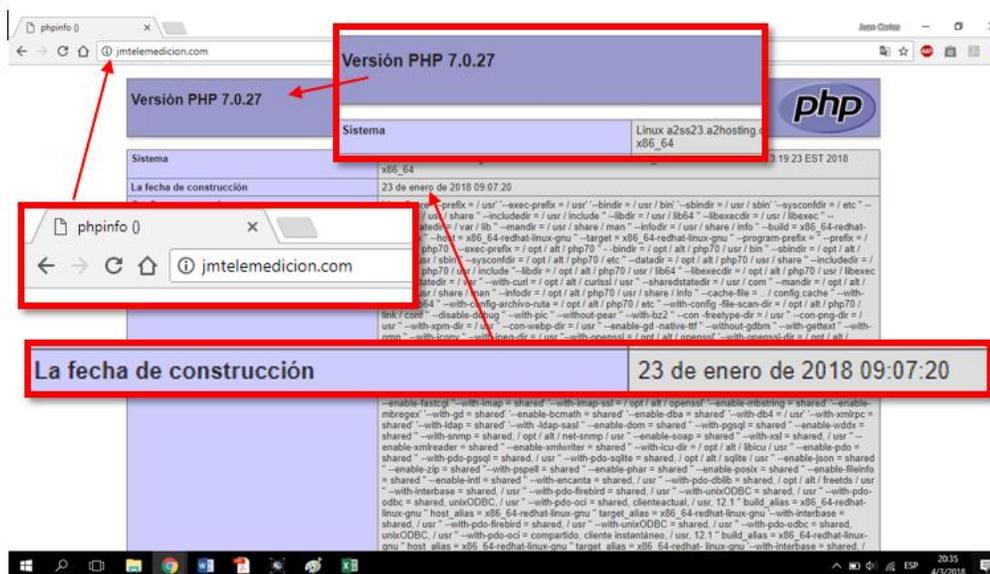
Para comprobar que la instalación de Apache se realizó correctamente se puede ingresar desde un navegador web a la dirección del servidor y debe aparecer un mensaje que Apache está trabajando.

En la figura 4.19 se muestra la información básica del servidor apache, la versión de PHP instalada y la fecha que se puso en operación. Al instalar apache se crea un directorio */var/www/html/*, en este directorio se almacenan las páginas y documentos web que posteriormente servirán para la gestión de información remota. Para guardar o modificar cualquier tipo de archivos que este directorio contenga es necesario otorgar permisos de root o administrador a las carpetas, para esto se utiliza los comandos.

```
cd /var/www/html
```

```
ls -al
```

```
chmod 777 /var/www/
```



**Figura 4. 18:** Servidor Apache

**Elaborado por:** Juan Morales

Por último, se reinicia el servicio con la instrucción: *sudo service apache2 restart*

### 4.5.3. MySQL

El sistema de gestión de base datos que se utilizó fue MariaDB, que cumple con las mismas funciones de MySQL incluyendo importantes mejoras como compatibilidad con múltiples gestores de almacenamiento, mayor velocidad para consultas y sub consultas, código abierto y menor cantidad de errores.

Para su instalación se utilizó el comando:

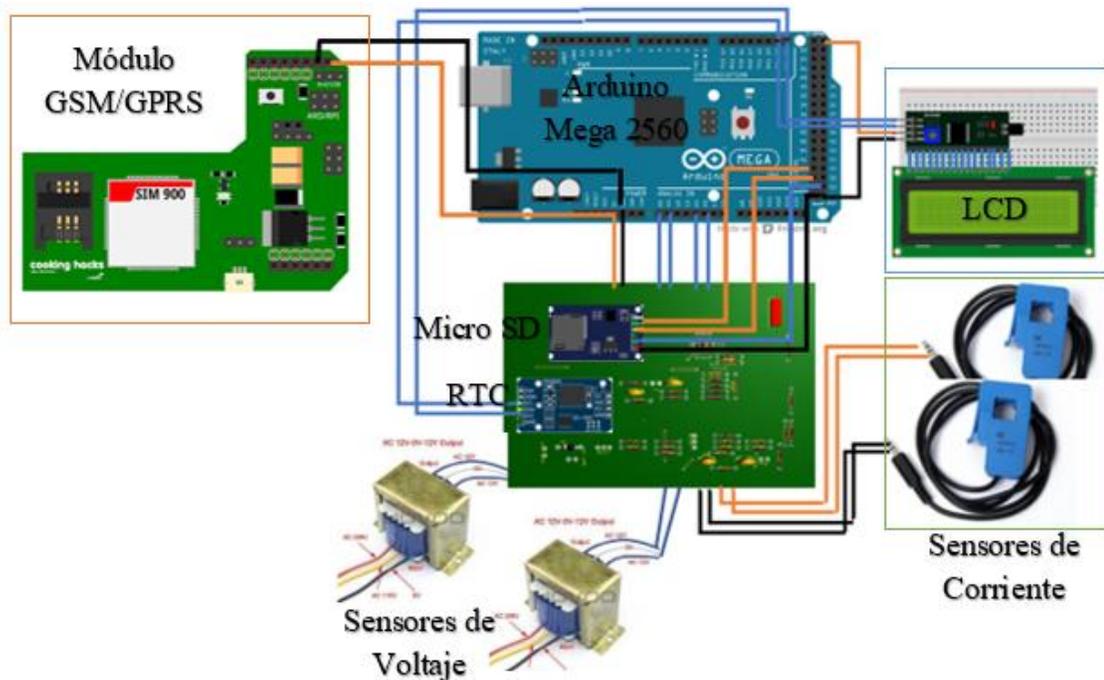
*apt-get -y install mariadb-server mariadb-client*

Una vez instalado el sistema pedirá que se proporcione una contraseña para el usuario root y reiniciamos el servicio.

*sudo service mariadb restart*

#### 4.6. IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE TELEMEDICIÓN

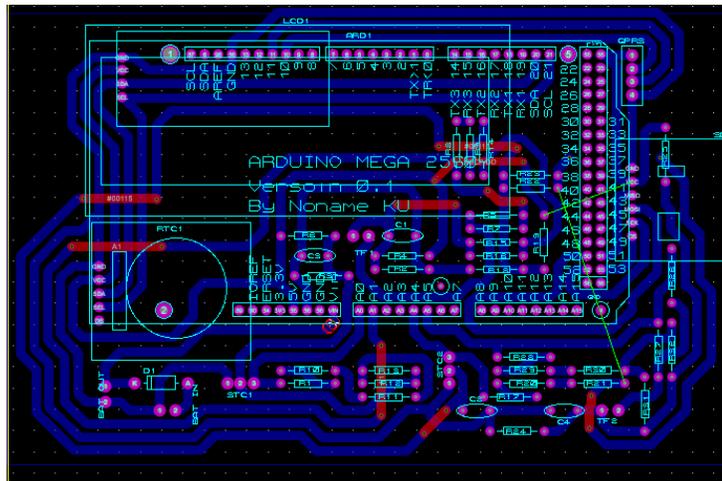
Para la implementación se realiza un diagrama de conexiones que se detalla en la figura 4.19. En el esquema se puede visualizar la ubicación de cada elemento utilizado en el desarrollo del prototipo. El proceso de implementación se inicia con el acondicionamiento de los sensores para esto se realiza una PCB.



**Figura 4. 19:** Diagrama de implementación del equipo de medición

**Elaborado por:** Juan Morales

La PCB se indica en la figura 4.20, fue diseñada en Proteos con el ánimo de crear una Shield, en otras palabras, la PCB se monta encima de la placa de desarrollo Arduino Mega 2560, con esto se logra obtener un equipo compacto y funcional; en el acondicionamiento se toman conexión directa con los pines A0, A1, A4, A5.



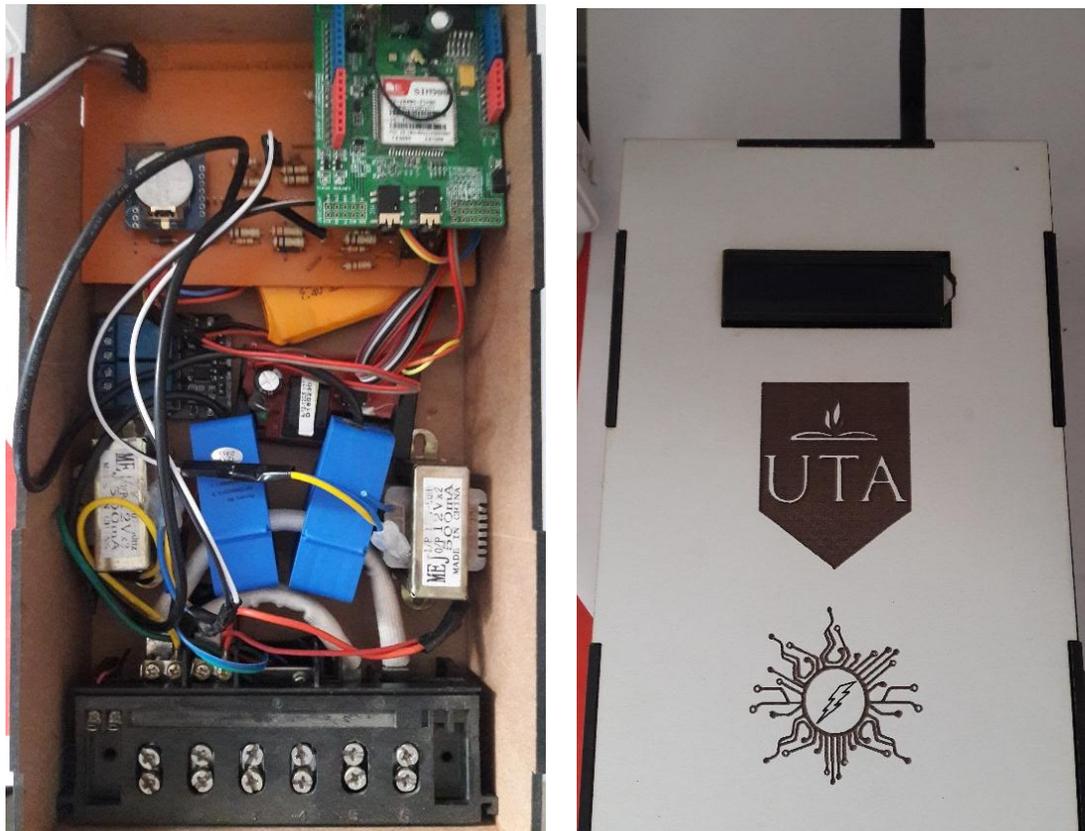
**Figura 4. 20:** Shied de componentes

Se instalan lo sensores de corriente y voltaje a la bornera del medidor de energía eléctrica como se indica en la figura 4.21, así:



**Figura 4. 21:** Conexión Sensores

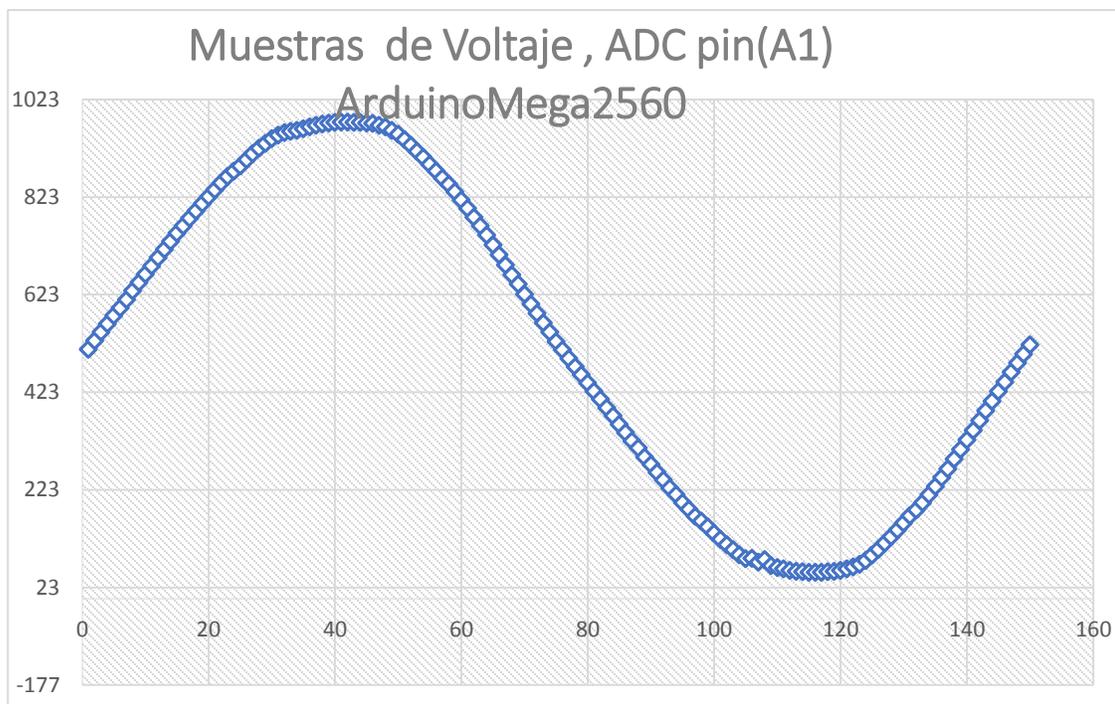
Luego de realizar la instalación de los sensores a la tarjeta de adquisición de datos, se enlaza el sistema de visualización, almacenamiento y comunicación como se puede apreciar en la figura 4.22:



**Figura 4. 22:**Shield Arduino Acondicionamiento-DAQ

#### **4.7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

En la tarjeta de adquisición de datos se debe verificar que el Convertidor Análogo Digital de Arduino trabaje en los límites establecidos (convertor ADC este en el rango 0 - 1023), para ello se comprueba el estado de las entradas analógicas mediante la comunicación serial con la PC.



**Figura 4. 23:**Muestras ADC de Voltaje

**Elaborado por:** Juan Morales

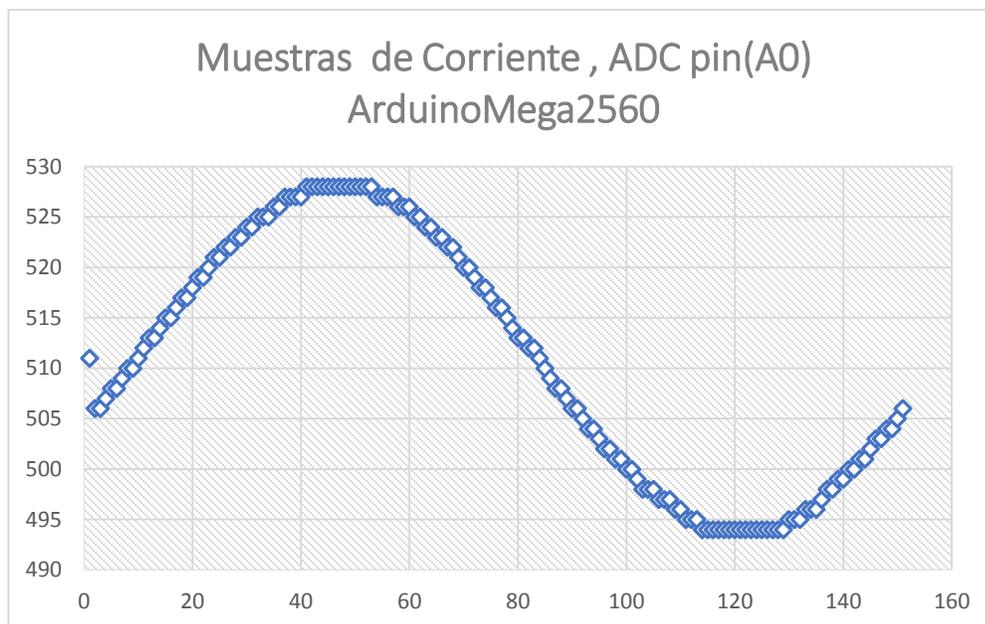
En la Figura 4.23 se muestra los valores del ADC del pin A1 del Arduino Mega 2560 que corresponde a la entrada de voltaje de la red eléctrica, el valor mínimo que el conversor análogo digital entrega es 59 que representa el pico de voltaje negativo, y el valor máximo que registra el ADC es 971 que corresponde al valor positivo del voltaje de la red indicado en la figura 4.24.



**Figura 4. 24:**Muestra de voltaje para el ADC

**Elaborado por:** Juan Morales

Para comprobar que los valores del ADC para la entrada de corriente se realizó un proceso similar al del voltaje, pero en el pin A0 del Arduino mega 2560 en la figura 4.25 se indican las muestras de corriente.



**Figura 4. 25:**Muestras ADC de Corriente

**Elaborado por:** Juan Morales

En la Figura 4.25 se observa los valores del ADC del pin A0 del Arduino Mega 2560 que corresponde a entrada de corriente, el valor mínimo que el ADC que se registra es 477 y el valor máximo que se observa en el ADC=545, con respecto a la figura 4.26.



**Figura 4. 26:**Valor del ADC de la entrada de corriente

**Elaborado por:** Juan Morales

Con esto se procede a analizar los valores de voltaje y corriente tomados por los sensores. Para el Sensor de Voltaje se comparan los datos visualizados en la pantalla del equipo de telemedición, con los valores medidos con un Multímetro Fluke 111.

En la tabla 4.9 se indica los valores de voltaje promedio de 10 mediciones por cada ítem efectuadas en la red eléctrica utilizando el prototipo, y contrastado con en el multímetro fluke 111, estas mediciones se realizaron con cada ítem de la tabla 4.9.

**Tabla 4. 9:**Medición de voltaje Multímetro/Prototipo

#Ítem	Electrodoméstico	Voltaje Promedio [V]	
		Fluke 111	Prototipo
1	lector DVD	115.6	115.3
2	Minicomponente	115.0	114.9
3	Foco Ahorrador	115.0	115.1
4	TV	114.1	114.4
5	Cautín	114.9	114.7
6	Refrigeradora	113.4	113.2
7	Licuada	114.5	114.4
8	Lavadora	114.6	114.5
9	Máquina de costura	114.1	113.9
10	Cortadora de tela	114.4	114.1
11	Calefactor	111.0	110.9
12	Plancha Industrial	109.9	109.6
13	12+8	105.4	105.7

**Elaborado por:** Juan Morales

En la figura 4.27 se muestra el valor de una medición realiza con prototipo y contrastada con el multímetro fluck 111 sobre el ítem número 5 de la tabla 4.9, en la pantalla del multímetro se tiene una lectura de 116.7 V y en la pantalla del prototipo se observa una lectura de 116.7 V en la línea uno de la red eléctrica.



**Figura 4. 27:** Comprobación de Voltaje en ítem 5

**Elaborado por:** Juan Morales

Para obtener los valores de corriente, se utilizó una pinza amperimétrica Fluke 322 que cuenta con un rango de medición de CA de 400A con precisión de 2% +-5 dígitos , en frecuencia de 45 a 65 Hz y 2.5% de 65 a 400Hz. En la tabla 4.10 se resume el valor promedio de 10 mediciones efectuadas a cada ítem de esta tabla.

**Tabla 4. 10:**Medición de Corriente Pinza/prototipo

#Ítem	Electrodoméstico	Corriente promedio [A]	
		Fluke 322	Prototipo
1	lector DVD	0.11	0.12
2	Minicomponente	0.11	0.13
3	Foco Ahorrador	0.17	0.19
4	TV	0.31	0.34
5	Cautín	0.32	0.35
6	Refrigeradora	1.82	1.92
7	Licuada	1.94	2.02
8	Lavadora	2.23	2.27

<b>9</b>	Máquina de costura	2.75	2.78
<b>10</b>	Cortadora de tela	4.55	4.59
<b>11</b>	Calefactor	6.87	6.83
<b>12</b>	Plancha Industrial	8.36	8.42
<b>13</b>	12+8	14.61	14.59

**Elaborado por:** Juan Morales

En la figura 4.28 se observa el valor de una medición de corriente realiza con el prototipo y contrastada con la pinza amperimetrica Fluk 322, esto referente al ítem número 11 de la tabla 4.10.



**Figura 4. 28:**Comprobación de corriente ítem 11.

**Elaborado por:** Juan Morales

Para la comparación de potencia se utilizó los valores de voltaje promedio de la tabla 4.9 y corriente promedio de la tabla 4.10, proporcionados por los instrumentos de medición Fluke 322 y Fluke111 respectivamente; y se comparó con los valores registrados en el prototipo.

**Tabla 4. 11:**Medición de Potencia Calculada/Prototipo

#Ítem	Electrodoméstico	Medición de Potencia [W]	
		Calculada	Prototipo
1	lector DVD	12.60	13.836
2	Minicomponente	12.65	24.129
3	Foco Ahorrador	19.55	24.171
4	TV	35.371	46.904
5	Cautín	36.768	49.321
6	Refrigeradora	206.388	237.72
7	Licuada	222.13	242.528
8	Lavadora	255.558	293.12
9	Máquina de costura	313.775	334.866
10	Cortadora de tela	520.52	535.129
11	Calefactor	762.57	757.447
12	Plancha Industrial	918.764	922.832
13	12+8	1539.894	1542.163

**Elaborado por:** Juan Morales

Para contrastar la medición del consumo eléctrico se utilizó un equipo patrón de la Empresa Eléctrica de Distribución Ecuador (Medidores electrónicos bifásicos de energía eléctrica), el periodo de análisis se realizó del 12 al 17 de marzo del presente año, donde se obtuvo los los datos presentados en la tabla 4.12.

**Tabla 4. 12:**Comparación mediciones de consumo

<b>Día</b>	<b>Lectura Medidor [kWh] acumulado</b>	<b>Lectura Medidor diario [kWh]</b>	<b>Prototipo [kWh] acumulado</b>
<b>12/3/2018</b>	0	0	0
<b>13/3/2018</b>	1	1	0.9
<b>14/3/2018</b>	3	2	3.1
<b>15/3/2018</b>	7	4	7.1
<b>16/3/2018</b>	10	3	9.9
<b>17/3/2018</b>	15	5	15.1

**Elaborado por:** Juan Morales

El equipo tomado como patrón para estas mediciones únicamente visualiza cifras enteras, por otro parte el prototipo muestra cifras enteras y una decimal, es por esta razón que el prototipo aparenta un error en la medición de consumo, mostrado en la cuarta columna de la tabla 4.12.

### **Transmisión de datos**

Para la transmisión de datos se programó que el prototipo envíe en intervalos de 1 minuto para la información al servidor, hay que recalcar que el tiempo de envío de datos se puede configurar de acuerdo a los requerimientos del sistema. Una vez establecida la conexión con la base de datos del servidor web se ingresa en una tabla asignada para el registro y se guarda el dato ingresado.

En la figura 4.29 se muestra la tabla asignada para este registro, la cual contiene 7 campos, la primera columna indica el número de identificación del medio o el usuario (tipo de dato entero), la segunda y tercera columna corresponden al valor de voltaje de la red eléctrica de la fase 1 y fase 2 asignados como  $V_{rms1}$  y  $V_{rms2}$  respectivamente (las unidades están en V),

en la cuarta columna se registra la potencia (Wattios), en la quinta columna se registra el consumo eléctrico acumulado (kWh), en la sexta columna se indica la dirección en donde se encuentra el medidor instalado (calles o avenidas) y finalmente en la última columna se registra la fecha y la hora en que se tomó toda esta información.

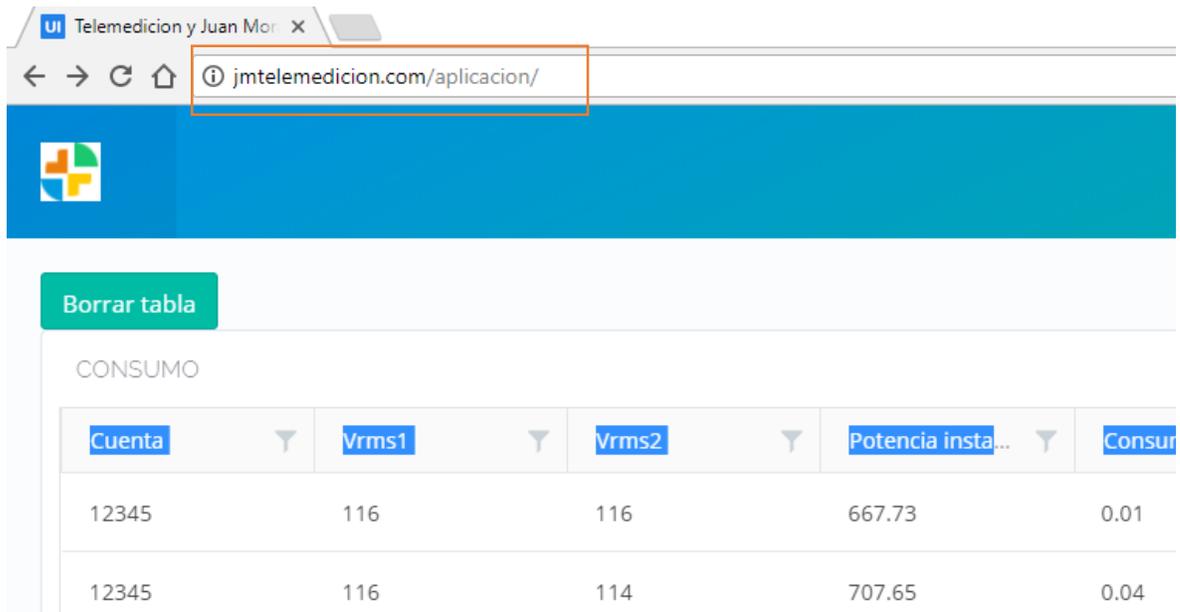
Cuenta	Vrms1	Vrms2	Potencia insta...	Consumo kW ...	Dirección	
12345	109	109	957.55	0.07	Pelileo	
12345	110	111	860.79	0.08	Pelileo	
12345	110	111	956.93	0.08	Pelileo	7
12345	110	110	874.97	0.09	Pelileo	
12345	110	110	1081.6	0.1	Pelileo	
12345	110	110	1246.34	0.1	Pelileo	
12345	114	114	578.27	0.11	Pelileo	

**Figura 4. 29:**Ingreso y Almacenamiento en DB

**Elaborado por:** Juan Morales

El prototipo cuenta con dos tipos de visualización. La primera es localmente a través de la LCD en el prototipo, aquí se puede ver Consumo, Fecha y Hora. La segunda visualización es en la página web del servidor, en donde una interface permite desplegar de manera ordenada los valores de: Cuenta (corresponde al número de cuenta de la Empresa de Distribución Eléctrica), Vrms1 / Vrms2 (Tensiones de red Eléctrica expresada en voltaje RMS AC), Potencia (carga conectada expresada en Watts), Consumo kWh (corresponde a kilo watts hora consumidos acumulados), Dirección (refiere en donde está instalado el equipo

de telemedición) y Fecha Medición (indica la fecha y la hora en que fue tomada la medición). En la figura 4.30 se visualiza la URL [jmtelemedicion.com/aplicacion/](http://jmtelemedicion.com/aplicacion/) a la que se accede desde cualquier navegador web.

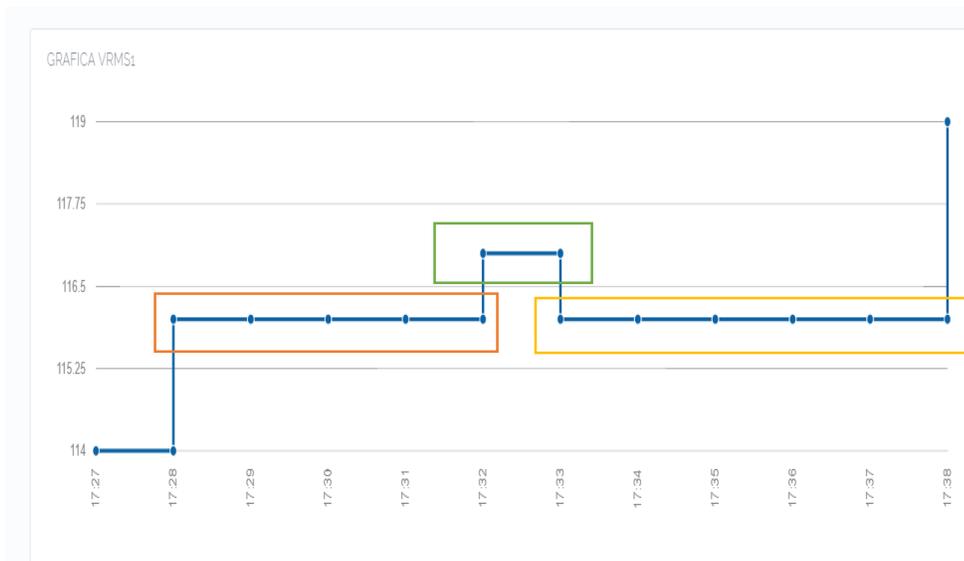


Cuenta	Vrms1	Vrms2	Potencia insta...	Consumo
12345	116	116	667.73	0.01
12345	116	114	707.65	0.04

**Figura 4. 30:** Servidor Web tabla de datos

**Elaborado por:** Juan Morales

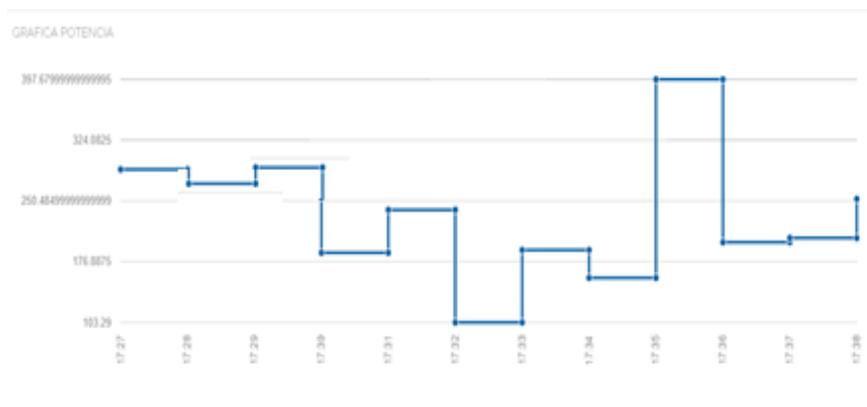
En la figura 4.31 se muestra el perfil de voltaje de la fase de la red eléctrica esta grafica representa la variación de voltaje que sufre la red eléctrica en cada intervalo que se registra un dato. En el recuadro de color naranja se observa que durante un intervalo de tiempo comprendido entre las 17h28 hasta las 17h32 el voltaje permanece estable en la red eléctrica, pero se observa cómo cambia en el recuadro de color verde, y finalmente retorna a su estado inicial en el recuadro amarillo durante otro intervalo de tiempo, ha este fenómeno de cambio de estado en un intervalo de tiempo se lo conoce como perfil de voltaje.



**Figura 4. 31:**Perfil de Voltaje

**Elaborado por:** Juan Morales

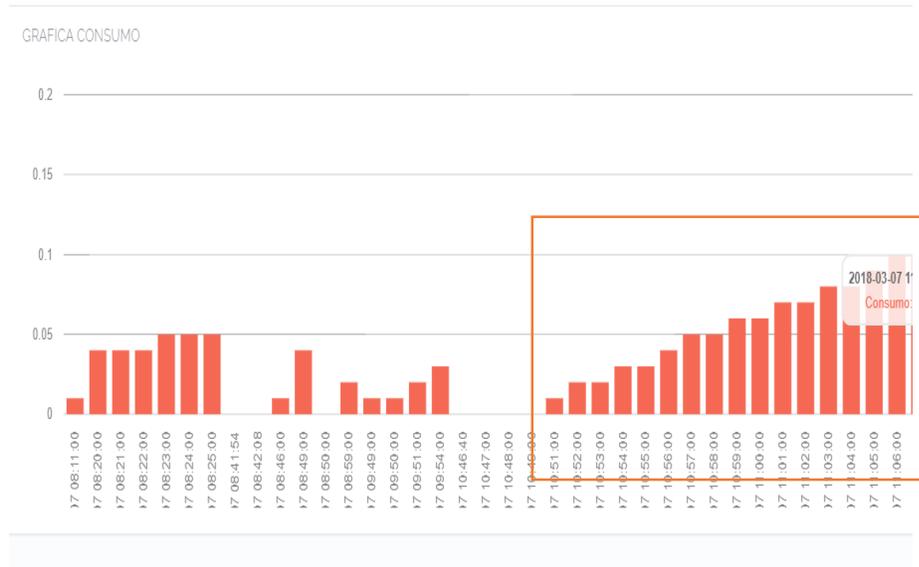
La figura 4.32 describe una panorámica del perfil de potencia correspondiente a la carga conectada en el prototipo, al igual que en la figura 4.31 se observan los saltos que se generan por el cambio en la carga de la vivienda, así:



**Figura 4. 32:**Perfil de Potencia en la carga

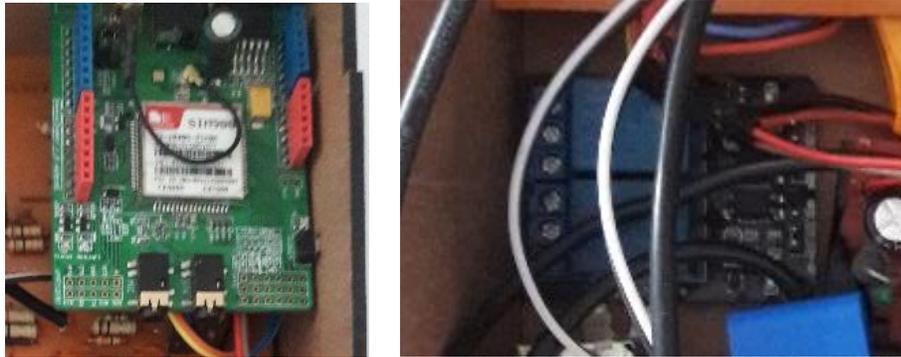
**Elaborado por:** Juan Morales

En la gráfica 4.33 se observa el recuadro de color naranja el consumo acumulado de energía eléctrica [kWh], que se guarda en la base de datos y cambio conforme se consume la energía en la vivienda:



**Figura 4. 33:**Consumo acumulado

Con el fin de proporcionar un equipo completo se incorporó un relé comandado por Arduino para realizar cortes y reconexiones en la bornera de salida del medidor, con esta función se consigue suspender o conectar el servicio de energía eléctrica de un usuario que este en mora por falta de pago de la planilla eléctrica; previo análisis y toma de decisión en el centro de control, basado en los plazos establecidos para cancelar el valor de facturación emitido por la Empresa de Distribución Eléctrica. En la figura 4.34 se muestra el comportamiento de esta función:



**Figura 4. 34:**Corte y reconexión de servicio electrico

**Elaborado por:** Juan Morales

#### **4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

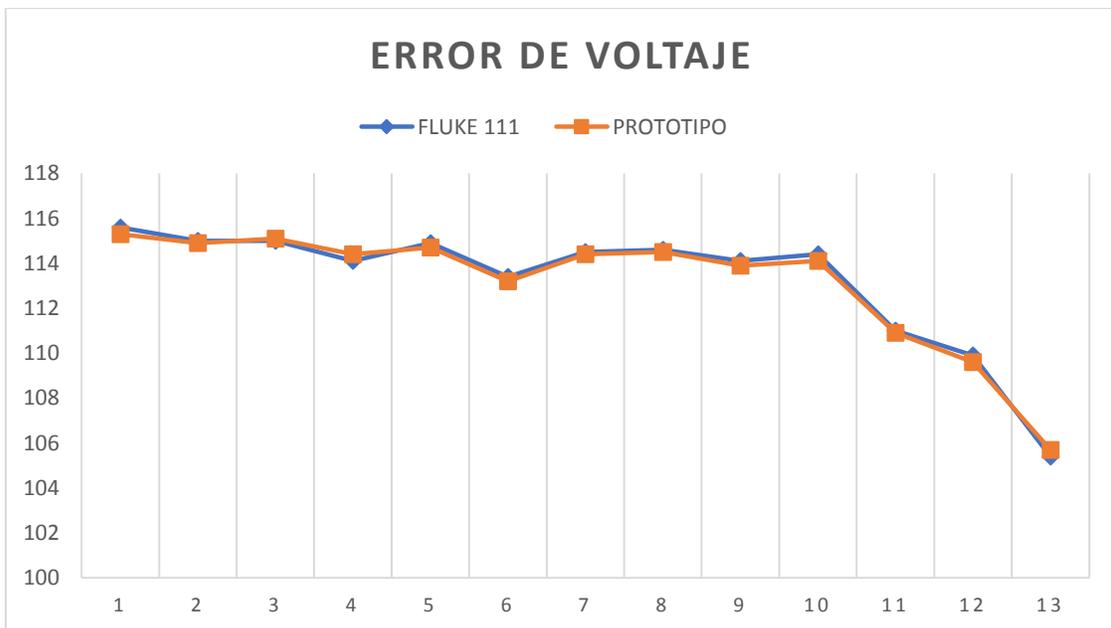
Los datos y valores obtenidos por el equipo de telemedición de energía eléctrica para clientes residenciales utilizando tecnología inalámbrica se sometieron a un análisis en donde se utilizó el tratamiento de errores de medida, para ello se instaló el equipo de medición en una vivienda ubicada en la ciudad de Pelileo (Barrio La Paz) que cuenta con un medidor electrónico de la compañía de distribución de energía eléctrica de esta zona, se analizaron los valores de voltaje, corriente y potencia dando como resultado lo siguiente:

Los datos se obtuvieron al comparar valores generados por el prototipo y los medidos con un multímetro digital Fluke 111 proporcionado por el laboratorio de la FISEI, calculando el error absoluto y relativo de cada muestra, estas mediciones fueron tomadas en las borneras de entrada del prototipo previamente conectado a la red eléctrica. El resultado fue el siguiente, expresado en la tabla 4.13 y en la figura 4.35;

**Tabla 4. 13: Errores de Voltaje**

Medición de voltaje(V)		Error de voltaje	
Fluke 111	Prototipo	Error absoluto	Error relativo %
115.6	115.3	0.3	0.26
115.0	114.9	0.1	0.09
115.0	115.1	0.1	0.09
114.1	114.4	0.3	0.26
114.9	114.7	0.2	0.17
113.4	113.2	0.2	0.18
114.5	114.4	0.1	0.09
114.6	114.5	0.1	0.09
114.1	113.9	0.2	0.18
114.4	114.1	0.3	0.26
111.0	110.9	0.1	0.09
109.9	109.6	0.3	0.27
105.4	105.7	0.3	0.28

**Elaborado por: Juan Morales**



**Figura 4. 35: Análisis de Voltaje**

**Elaborado por: Juan Morales**

Dónde:

$$Error\ Absoluto = |V. Medido\ Prototipo - V. Medido\ Fluke\ 111| \quad (19)$$

$$Error\ Relativo = \frac{Error\ Absluto}{V. Medido\ Multimetrox} \times 100\% \quad (20)$$

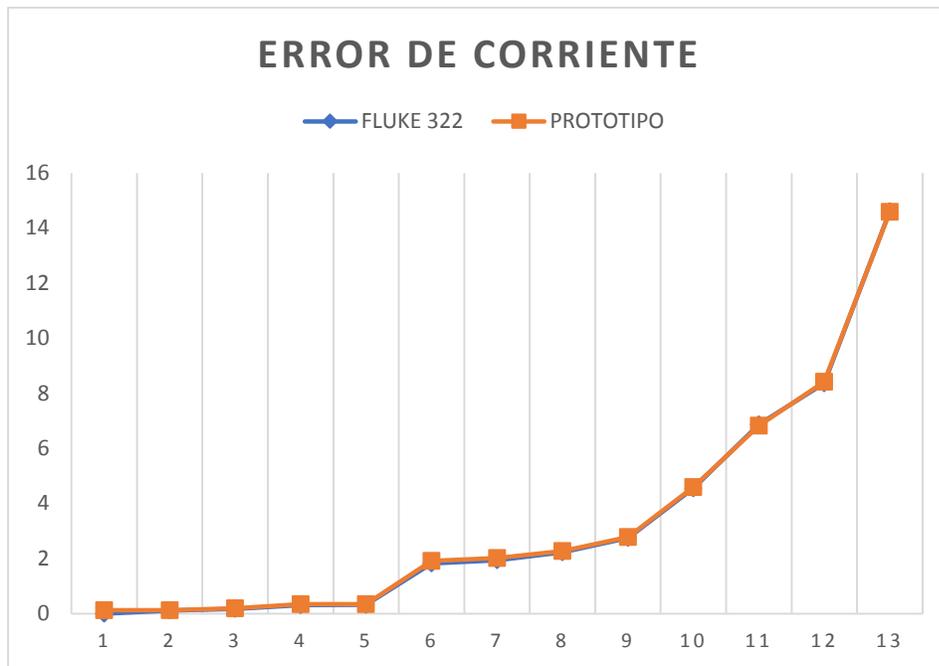
En la figura 4.35 se muestran las variaciones de voltaje entre las muestras tomadas por el multímetro y el prototipo siendo el valor más significativo 0.3 V con esto se tiene un error porcentual no mayor a 0.28%, encontrándose en un rango muy aceptable.

El análisis de corriente se desarrolló realizando mediciones a electrodomésticos donde se tomó en cuenta cargas altas y bajas; En la Tabla 4.14 se presentan los datos obtenidos por el prototipo y una pinza amperimétrica fluke322.

**Tabla 4. 14:**Errores de Corriente

Medición de corriente (A)		Error Corriente	
Fluke 322	Prototipo	Error absoluto	Error relativo %
<b>0.12</b>	0.12	0	0.00
<b>0.11</b>	0.13	0.02	18.18
<b>0.17</b>	0.19	0.02	11.76
<b>0.31</b>	0.34	0.01	9.68
<b>0.32</b>	0.35	0.03	9.37
<b>1.82</b>	1.92	0.1	5.49
<b>1.94</b>	2.02	0.08	4.12
<b>2.23</b>	2.27	0.04	1.79
<b>2.75</b>	2.78	0.03	1.09
<b>4.55</b>	4.59	0.04	0.88
<b>6.87</b>	6.83	0.04	0.58
<b>8.36</b>	8.42	0.06	0.72
<b>14.61</b>	14.59	0.02	0.14

**Elaborado por:** Juan Morales



**Figura 4. 36:**Análisis de corriente

**Elaborado por:** Juan Morales

Los valores de corriente obtenidos por el prototipo tienden a acercarse a los valores del instrumento de medición; sin embargo, al utilizar un sensor de corriente de efecto hall, el valor medido puede variar por mala manipulación o por impurezas (basura en la ferrita) encontradas en su núcleo produciéndose errores en la medición cuando los valores de corriente tienden a ser mucho menores, este error porcentual disminuye al realizar mediciones de corrientes mucho mayores llegando a un error de 0.14% , por lo que se puede observar que a mayor carga conectada, la pinza de medición de corriente se comporta de manera óptima.

El análisis de potencia se realizó tomando valores con el prototipo y su comparación con lo calculada en el momento de tomar la muestra de voltaje y corriente, en la tabla 4.15 se indican los valores de error absoluto que se calcularon, así:

**Tabla 4. 15:**Error de potencia

<b>Potencia (W)</b>			
<b>Calculada</b>	<b>Prototipo</b>	<b>Error absoluto</b>	<b>Error relativo %</b>
<b>13.872</b>	12.683	1.18	0.00
<b>12.65</b>	14.937	2.28	1.99
<b>19.55</b>	21.869	2.31	2.02
<b>35.371</b>	38.896	3.52	3.09
<b>36.768</b>	40.145	3.37	2.94
<b>206.388</b>	217.344	10.95	9.66
<b>222.13</b>	231.088	8.95	7.82
<b>255.558</b>	259.915	4.35	3.80
<b>313.775</b>	316.642	2.86	2.51
<b>520.52</b>	523.719	3.19	2.80
<b>762.57</b>	757.447	5.12	4.62
<b>918.764</b>	922.832	4.06	3.70
<b>1539.894</b>	1542.163	2.26	2.15
<b>Promedio</b>			<b>3.62</b>

**Elaborado por:** Juan Morales



**Figura 4. 37:**Análisis de potencia

**Elaborado por:** Juan Morales

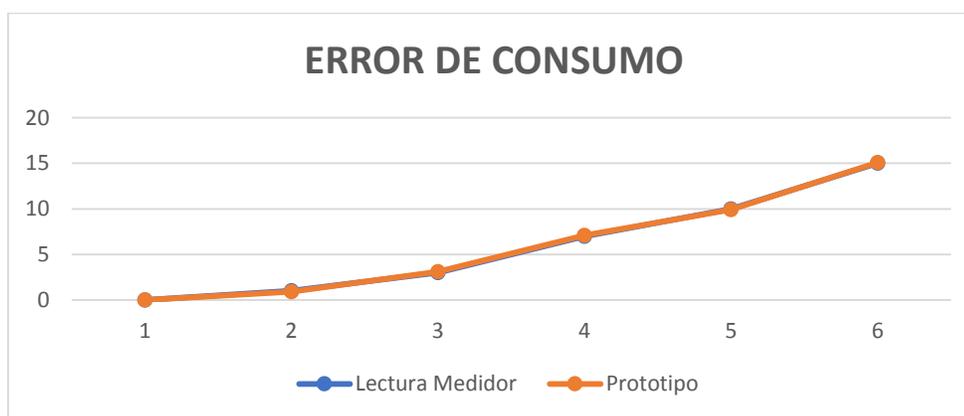
El error promedio que se genera en el prototipo descrito en la tabla 4.15 es de 3.62%, con referencia a la potencia calculada en el instante en que se tomaron las respectivas muestras de voltaje y corriente se tiene presenta en la figura 4.37.

Para el análisis de consumo se verifico los valores proporcionados por un equipo patrón (medidor bifásico) de la Empresa de Distribución Eléctrica Ecuador y el prototipo en un intervalo de me mediciones. En la tabla 4.16 se indica los errores relativos y porcentuales de la medición.

**Tabla 4. 16:**Error de consumo

<b>Día</b>	<b>Lectura Medidor</b>	<b>Lectura Medidor diario</b>	<b>Prototipo</b>	<b>Error absoluto</b>	<b>Error relativo%</b>
<b>12/3/2018</b>	0	0	0	0	0.0
<b>13/3/2018</b>	1	1	0.9	0.1	4.3
<b>14/3/2018</b>	3	2	3.1	0.1	5.0
<b>15/3/2018</b>	7	4	7.1	0.1	2.5
<b>16/3/2018</b>	10	3	9.9	0.1	3.3
<b>17/3/2018</b>	15	5	15.1	0.1	2.0

**Elaborado por:** Juan Morales



**Figura 4. 38:**Análisis de consumo

**Elaborado por:** Juan Morales

El promedio de error generado en el consumo es 3.8%, esto se debe a que el medidor residencial únicamente presenta la información del consumo en cifras enteras y el prototipo cuenta con una resolución de cifras enteras y uno, dos, tres cifras decimales. En este prototipo se visualiza las cifras enteras y una cifra decimal.

#### 4.9. PRESUPUESTO

El presupuesto total que se manejó para la implementación del prototipo se detalla en la tabla 4.13.

**Tabla 4. 17:**Presupuesto del Prototipo

<b>PRESUPUESTO</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>1</b>	Sensor Voltaje	2	10	20
<b>2</b>	Sensor Corriente	2	15	30
<b>3</b>	Arduino Mega2560	1	12.5	12.5
<b>4</b>	Módulo GPRS	1	45	45
<b>5</b>	LCD	1	8	8
<b>6</b>	Módulo I2C LCD	1	3.5	3.5
<b>7</b>	Módulo Relé	1	4.5	4.5
<b>8</b>	Módulo MicroSD	1	4	4
<b>9</b>	Módulo RTC	1	4.5	4.5
<b>10</b>	Batería	1	7.5	7.5
<b>11</b>	Resistencias	32	0.1	3.2
<b>12</b>	Capacitores	4	0.1	0.4
<b>13</b>	Espadines macho	1	2.5	2.5
<b>14</b>	Carcaza	1	10	10
<b>15</b>	PCB	1	3	3
<b>Total</b>				<b>167.0</b>

**Elaborado por:** Juan Morales

En base al presupuesto indicado en la tabla 4.17 se ha establecido que el costo del prototipo implementado es de \$ 167 dólares; un valor que justifica todas las características presentadas en el equipo, proporcionando una alternativa más accesible por el uso de hardware y software libre.

#### 4.10. ANÁLISIS ECONÓMICO

Se realiza una comparación entre el costo y el beneficio del prototipo implementado frente a los costos que se manejan por detalles de lecturas, corte y reconexión de clientes en mora. En la tabla 4.18 se muestra los valores que se manejan en la ficha técnica del SERCOP del año 2017 por concepto de cortes y reconexiones a clientes en mora [54].

**Tabla 4. 18:**Costos Corte/Reconexión. [54]

<b>Costo Corte/Reconexión</b>			
<b>Cortes</b>	<b>Precio USD</b>	<b>Reconexiones</b>	<b>Precio USD</b>
<b>Borne del Medidor</b>	0.92	<b>Borne del Medidor</b>	1.07
<b>Al poste</b>	2.77	<b>Al poste</b>	3.43
<b>Retiro de medidor y acometida</b>	4.33	<b>Retiro de medidor y acometida</b>	6.3

**Elaborado por:** Juan Morales

En la tabla 4.18 se presentan el costo por corte en diferentes puntos de la instalación eléctrica del usuario, por ejemplo, si un usuario llega a estar en mora le realiza un corte del servicio en la bornera del medidor este rubro es de 0.92 USD y al momento de realizar la reconexión se cobra otro rubro de 1.07 USD por lo que el usuario en su planilla de electricidad al siguiente mes tendrá que cancelar un valor adicional de 1.99 USD.

En la tabla 4.19 se presenta los valores por lectura de medidores del servicio de electricidad, aquí se definen 4 zonas (urbana, rural, rural alejada, rural fluvial) como referenciales, esta

tabla se tono de la Ficha técnica del SERCOP del año 2017. [24]

**Tabla 4. 19:**Costos de lectura. [24]

<b>Costo por Lectura</b>			
<b>Ítem</b>	<b>Zona</b>	<b>Numero de lecturas por operario</b>	<b>Precio USD</b>
<b>1</b>	Urbana	600	0.12
<b>2</b>	Rural	250	0.23
<b>3</b>	Rural Alejada	70	0.83
<b>4</b>	Rural Fluvial	50	1.14
<b>Costo promedio</b>			<b>0.58</b>

**Elaborado por:** Juan Morales

En la tabla 4.20 se muestran los costos anuales por implementación del equipo y sus ingresos anuales, considerándose a estos, las actividades que la empresa distribuidora se ahorraría si tuviera instalado este equipo dentro del sistema de medición.

Se presenta el costo del prototipo que fue de 167 dólares, la vida útil se define para 10 años y el valor residual del 10% del costo inicial.

**Tabla 4. 20:**Costos Anuales

<b>Costos Prototipo</b>		
<b>Costo inicial del equipo</b>	167.00	
<b>Vida útil Años</b>	10.00	
<b>Valor residual 10%</b>	16.70	
<b>Ingresos Anuales</b>		
<b>Costo lectura USD</b>	0.58	6.96
<b>Costos por corte USD</b>	0.92	1.84
<b>Costos por reconexión USD</b>	1.07	2.14
<b>Sub total USD</b>	2.57	10.94
<b>Medición de parámetros USD</b>	0.82	8.22
<b>Total USD</b>	<b>30.10</b>	

**Elaborado por:** Juan Morales

En la tabla 4.20 e ítem medición de parámetros se considera el ahorro de la empresa de distribución por adquirir un analizador de calidad de energía. Con este equipo se realiza el análisis de parámetros técnicos como voltaje, corriente, potencia y factor de potencia. Para determinar el valor anual de corte y reconexión se tomó como referencia 2 suspensiones en el año que es un estimado, debido a retraso en pago de planilla de electricidad, con esto se tiene un ingreso anual de 30.10 USD.

La tabla 4.21 presenta la tasa interna de retorno con un periodo de vida útil de 10 años y un interés del 8% tomado de tabla de tasa de interés a marzo 2018 del Banco Central del Ecuador.

La tasa interna de retorno expresada en la tabla 4.21 hace referencia al valor actual del equipo de medición, en cada año hasta cumplir su vida útil, al final de los 10 tendrá un valor residual de 42.7 USD.

**Tabla 4. 21:** Tasa interna de retorno

<b>Año</b>	<b>Flujos Operacionales</b>	<b>t</b>	<b>(1+r)</b>	<b>(1+r)^t</b>	<b>1/(1+r)^t</b>	<b>BN*(1/1+r)^t</b>
	-167.0	0	1.08	1.00	1.00	-167.0
<b>1</b>	30.1	1	1.08	1.08	0.93	27.9
<b>2</b>	30.1	2	1.08	1.17	0.86	25.8
<b>3</b>	30.1	3	1.08	1.26	0.79	23.9
<b>4</b>	30.1	4	1.08	1.36	0.74	22.1
<b>5</b>	30.1	5	1.08	1.47	0.68	20.5
<b>6</b>	30.1	6	1.08	1.59	0.63	19.0
<b>7</b>	30.1	7	1.08	1.71	0.58	17.6
<b>8</b>	30.1	8	1.08	1.85	0.54	16.3
<b>9</b>	30.1	9	1.08	2.00	0.50	15.1
<b>10</b>	46.8	10	1.08	2.16	0.46	21.7
<b>Valor residual</b>						42.7

**Elaborado por:** Juan Morales

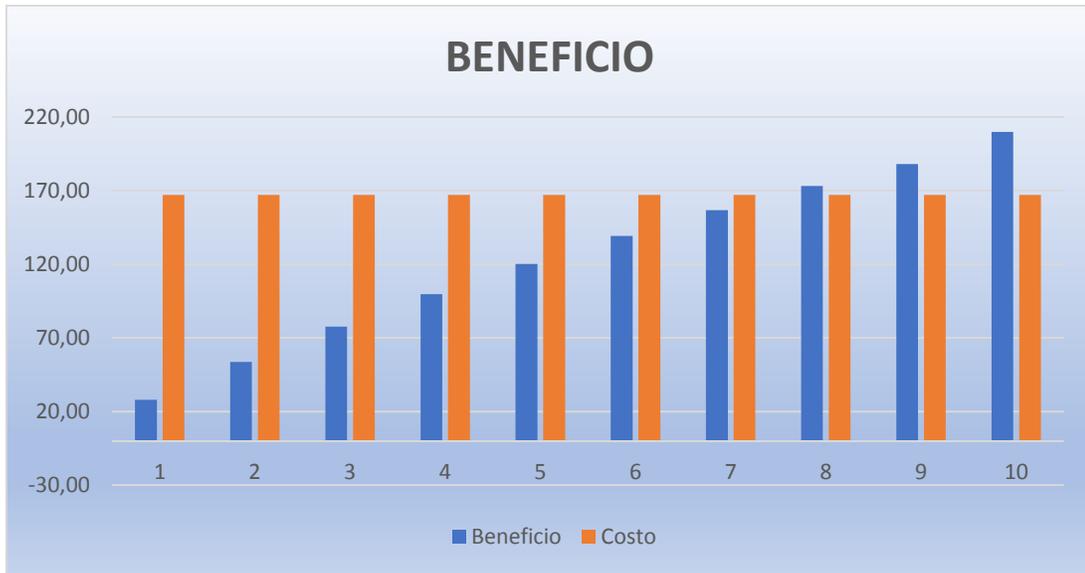
En la tabla 4.22 se describe el periodo de recuperación de la inversión inicial que fue de 167 UDS, en cada año se observa un valor residual que se lo trae a valor presente para saber si durante la vida útil, se tiene una relación beneficio sobre costo  $> 1$  si es así el proyecto es rentable y se determina desde que año se perciben ganancias.

**Tabla 4. 22:** Periodo de recuperación de la inversion

<b>Periodo real recuperación de la inversión</b>		
<b>Año</b>	<b>PRR USD</b>	<b>-167.0</b>
<b>1</b>	27.9	27.9
<b>2</b>	25.8	53.7
<b>3</b>	23.9	77.6
<b>4</b>	22.1	99.7
<b>5</b>	20.5	120.2
<b>6</b>	19.0	139.1
<b>7</b>	17.6	156.7
<b>8</b>	16.3	173.0
<b>9</b>	15.1	188.0
<b>10</b>	21.7	209.7
<b>Beneficio</b>	209.71	
<b>B/C</b>	1.26	

**Elaborado por:** Juan Morales

El valor B/C se lo determina de la división del beneficia al décimo año sobre el valor inicial del prototipo.



**Figura 4. 39:** Beneficio

**Elaborado por:** Juan Morales

En la figura 4.39 se observa que la inversión del prototipo se recupera al octavo año de su implementación, su viabilidad es rentable y se empiezan a percibir beneficios a partir de este año. Para el cálculo de la relación Beneficio/Costo se aplica la siguiente formula:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}} = \frac{209.71}{167} \quad (21)$$

Por consiguiente como  $B/C > 1$ ; el prototipo es técnica y económicamente viable.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

Concluido el diseño y la implementación del prototipo, en base a las experiencias obtenidas, información expuesta, pruebas realizadas y a los análisis de resultados durante el desarrollo del proyecto se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Mediante las pruebas y el análisis de voltajes medidos por el prototipo desarrollado, se observa que existe una diferencia de  $0.3 V$ , con un error de  $\pm 0.28\%$  esto en un rango de  $110 a 130 V$  con respecto al instrumento patrón FLUKE 111.
- Para los valores de corriente se calculó un error  $\pm 4.12\%$  con respecto al FLUKE 321, esto para pruebas realizadas con diferentes cargas en un rango de  $0 a 20 A$ . La medición de corriente presenta un mayor error que el de voltaje, esto se atribuye a que el sensor de corriente tiene un rango de medición de  $0 a 100 A$  y es menos preciso al medir corrientes relativamente bajas (*menor a 5A*).
- El prototipo calcula la potencia instantánea mediante los valores de corriente y voltaje medidos. Al realizar las pruebas el error calculado es de  $3.16\%$ , este error para un rango de medición comprendido entre  $0$  y  $1550W$ .
- Al realizar el análisis de consumo se generó un error de  $3.8\%$ , esto se debe a que el medidor residencial únicamente presenta la información en cifras enteras, y el prototipo cuenta con una resolución de cifras enteras y una cifra decimal. Este error no afecta la lectura.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Para realizar las mediciones de voltaje en la red eléctrica se debe tener en cuenta que en Ecuador se maneja voltaje de 220V en los medidores residenciales, dos fases y un neutro; por esto se debe tener conocimientos de electricidad para conectar los sensores de voltaje a la red eléctrica.
- El sensor de corriente no presenta una linealidad ideal a la salida, para realizar las mediciones y reducir el error en estas se debe utilizar un sensor con un menor error relativo y que presente linealidad a la salida.
- La potencia instantánea es el resultado del producto entre el voltaje y la corriente consumida en la carga, se recomendable revisar la instalación de los sensores de corriente para que no presenten mediciones erróneas.
- El equipo de telemedición debe ser instalado en un lugar visible y fácil acceso con la antena de transmisión libre de obstáculos como paredes que interfieran la señal de la red celular, para que la medición del consumo se envíe sin problemas hacia la base de datos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. I. d. Energia, «Key electricity trends 2017 based on monthly data,» 2017.
- [2] «Smart Grid, Medidores Inteligentes, Brasil,» Sonda, [En línea]. Available: <https://www.sonda.com/es/caso/utilities/smart-grid-medidores-inteligentes-brasil-elektro#a>. [Último acceso: 04 2018].
- [3] «Nuevas tecnologías Introduccion de medicores Inteligentes,» ELECTRICIDAD, 26 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.revistaei.cl/2016/01/26/nuevas-tecnologias-comienza-la-introduccion-de-medidores-inteligentes/#>. [Último acceso: 04 2018].
- [4] A. Araujo, «Diseño de un sistema de telemedición de la energía eléctrica de la red subterránea para la empresa eléctrica Ambato regional centro norte s.a,» Ambato,Ecuador, 2008.
- [5] M. d. E. y. E. Renovable, «Empresa Electrica de Ambato Regional Centro Norte SA.,» 2017.
- [6] ARCONEL, «Estadística Anual y Multianual 2016,» Quito,Ecuador, 2017.
- [7] A. d. R. y. C. d. Electricidad, «Pliego tarifario para las Empresas Eléctricas,» 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>. [Último acceso: 28 05 2017].
- [8] Y. Jiang, -C. Liu y Y. Xu, «Smart Distribution Systems,» Washington, USA, 2016.
- [9] J. Armijos y Á. Pesántez, « Diseño de un medidor inteligente con funciones de respuesta a la demanda en infraestructuras de medición avanzada,» Cuenca,Ecuador, 2016.

- [10] D. V. D. Samaniego, «Diseño e implementación de un medidor de energía electrónico para vivienda, con orientación a la prevención de consumo y ahorro energético.,» Cuenca, Ecuador, 2016.
- [11] M. W. Paredes A., «Estudio y diseño de un sistema de telemedida para medidores de energía de la empresa eléctrica Quito utilizando la Tecnología Broadband Over Power Line (BPL),» Quito, Ecuador, 2008.
- [12] G. C., «Análisis de la factibilidad para la implementación de un sistema de telemedición utilizando el método de radio frecuencia para una empresa de distribución,» Quito, Ecuador, 2009.
- [13] A. N. Ecuador, «Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica,» Quito, Ecuador, 2015.
- [14] M. d. E. y. E. Renovable, «MEER,» [En línea]. Available: <http://www.energia.gob.ec/valores-mision-vision/>. [Último acceso: 2 11 2017].
- [15] Senescyt, «Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables,» Quito, Ecuador, 2017.
- [16] A. d. R. y. C. d. Electricidad, «Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano,» Diciembre 2016. [En línea]. Available: [http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/Est\\_2016\\_Anexos.pdf](http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/Est_2016_Anexos.pdf). [Último acceso: 28 05 2017].
- [17] J. R. Miñarro, «Energía Eléctrica,» [En línea]. Available: [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/electrica.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/electrica.htm). [Último acceso: 02 2017].
- [18] CELEC-EP, «Infraestructura del Sistema Nacional de Transmisión,» Quito, Ecuador, 2016.

- [19] ARCONEL, «Balance General de Energia,» Enero 2017. [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional/>. [Último acceso: 16 Mayo 2017].
- [20] L. Moncada, «Estudio de factibilidad para la implementación de Telemedición en empresas de Distribución del Ecuador,» Quito, Ecuador, 2011.
- [21] F. Santamaria, «Determinación de pérdidas de la red subterránea del Alimentador 12 de Noviembre de la subestación Atocha y Loreto, de E.E.A.S.A.,» Quito, Ecuador, 2008.
- [22] T. Eva, «Instalaciones electricas domiciliarias,» [En línea]. Available: [http://educacion-santoto-primaria.over-blog.es/pages/INSTALACIONES\\_ELECTRICAS\\_DOMICILIARIAS-1618024.html](http://educacion-santoto-primaria.over-blog.es/pages/INSTALACIONES_ELECTRICAS_DOMICILIARIAS-1618024.html). [Último acceso: 21 05 2017].
- [23] «Lectura del contador de electricidad,» [En línea]. Available: <http://www.comparatarifasenergia.es/info-energia/mi-factura/electricidad/lectura-del-contador-de-electricidad>. [Último acceso: 14 03 2017].
- [24] SERCOP, «Lectura de medidores de servicio electrico,» Quito,Ecuador, 2016.
- [25] N. T. Ecuatoriana, «Equipos de medida de la Energia Electrica (C.A.) Requisitos generales,» 10 2013. [En línea]. Available: [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS\\_2014/GAN/12092014/nte\\_inen\\_iec\\_62052\\_11extracto.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/GAN/12092014/nte_inen_iec_62052_11extracto.pdf). [Último acceso: 20 05 2017].
- [26] L. Zhejiang Songxia Electric Meter Co., «Contador Electromagnetico,» [En línea]. Available: [https://www.google.com.ec/search?q=contador+de+energia&espv=2&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi0hY3qvdvSAhVBTSYKHUCUDm8Q\\_A](https://www.google.com.ec/search?q=contador+de+energia&espv=2&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi0hY3qvdvSAhVBTSYKHUCUDm8Q_A)

UIBigB&biw=1366&bih=638#tbn=isch&q=contador+de+energia+mecanico&\*  
&imgsrc=64oz8z1jWYy9IM:. [Último acceso: 10 03 2017].

- [27] M. A. K. I. Elamvanzuthi, «Electrical Power Consumption Monitoring using a Real-time System,» Nebraska, USA, 2012.
- [28] A. Electrica. [En línea]. Available: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=118>. [Último acceso: 15 03 2017].
- [29] A. E. d. N. y. Certificacion, «Clasificacion Internacional de Normas,» de ICS, Madrid, EANOR N.A. , 2001, pp. 32-33.
- [30] EcuRed, Potencia Eléctrica, 06 2013. [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Potencia\\_el%C3%A9ctrica](https://www.ecured.cu/Potencia_el%C3%A9ctrica). [Último acceso: 25 04 2018].
- [31] O. Montoya y V. Vélez, «Potencia en Corriente Alterna, Universidad Tecnológica de Pereira, Ingeniería Electrica,» Risaralda , Colombia, 2017.
- [32] D. Hart, Electronica de Potencia, Madrid: Pearson Education SA, 2001.
- [33] B. W. H. C. J. M. Fink. G Donald, «Manual practico de electricidad para ingenieros,» Mexico, Reverte, s.a., 1981, pp. 2-40.
- [34] DITECOM, «Telementenimiento,» [En línea]. Available: [http://www.ditecom.com/monitorizacion\\_IP/telemantenimiento.shtml](http://www.ditecom.com/monitorizacion_IP/telemantenimiento.shtml). [Último acceso: 04 2018].
- [35] V. Yanqui, «Estudio y diseño de una red de telemedición utilizando tecnología BPL, para la empresa Eléctrica Riobamba S.A., Sub estación N4, alimentador N3,» Riobamba, Ecuador, 2010.

- [36] M. E. Villapol, «Introducción a las redes móviles e inalámbricas,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ciens.ucv.ve/redesmov/Documentos/IntroduccionRMI.pdf>. [Último acceso: 20 04 2018].
- [37] «Redes Inalámbricas de Área Personal,» 2015. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F6-Cap% C3% ADtulo2+-+Redes+inal% C3% A1mbricas+de+% C3% A1rea+personal+% 28WPAN% 29.pdf>. [Último acceso: 25 04 2018].
- [38] ARCOTEL, «Boletín Estadístico III trimestre,» Quito, Ecuador, 2017.
- [39] N. Instruments, «Partes de un Sistema DAQ,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. [Último acceso: 01 2018].
- [40] Arduino, «Que es Arduino,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 01 2018].
- [41] Arduino, «Arduino Certificado,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/ArduinoCertified/Products>. [Último acceso: 01 2018].
- [42] G. A. J. M. L. Corona, Sensores y Actuadores Aplicaciones con Arduino, Azcapotzalco, Mexico: Patria S.A., 2014.
- [43] P. Avelino, Transformadores de distribución. teoría, calculo, construcción y pruebas, Mexico DF: Reverte Ediciones, 2009.
- [44] O. Jose, «Diseño y contruccion de un medidor de energia electrica digital con conexion inalambtrica a un computador, para el laboratorio de maquinas electricas,» Latacunga,Ecuador, 2013.
- [45] P. Solórzano, «Sistema Smart Home para la eficiencia del consumo de Energía Eléctrica,» Ambato, Ecuador, 2018.

- [46] «Módulo serial para display lcd con Arduino,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.instructables.com/id/M%C3%B3dulo-Serial-para-Display-LCD-con-Arduino/>. [Último acceso: 04 2018].
- [47] Naylamp, «Tutorial Arduino y memoria SD y micro SD,» 08 2016. [En línea]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/38\\_Tutorial-Arduino-y-memoria-SD-y-micro-SD-.html](https://naylampmechatronics.com/blog/38_Tutorial-Arduino-y-memoria-SD-y-micro-SD-.html). [Último acceso: 20 04 2018].
- [48] A-Electronics, «Innovación y Desarrollo,» 2017. [En línea]. Available: [http://a-electronics.com.mx/index.php?id\\_product=1339&controller=product](http://a-electronics.com.mx/index.php?id_product=1339&controller=product). [Último acceso: 21 04 2018].
- [49] GeekFactory, «Reloj de Tiempo Real RTC,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/ds1307-modulo-tiny-rtc-reloj-tiempo-real/>. [Último acceso: 21 04 2018].
- [50] Techship, «SimCom SIM900,» 2017. [En línea]. [Último acceso: 21 04 2018].
- [51] Arduino, «Módulo Rele,» 2017. [En línea]. [Último acceso: 21 04 2018].
- [52] L. Llamas, «Sensor de corriente eléctricas no invasivo SCT 013,» 2017. [En línea]. [Último acceso: 21 04 2018].
- [53] «Servidor LAMP: una solución económica para webs dinámicas,» [En línea]. Available: <https://www.1and1.es/digitalguide/servidores/know-how/servidor-lamp-la-solucion-para-webs-dinamicas/>. [Último acceso: Sabado Enero 2017].
- [54] SERCOP, «Corte y Reconexión del Servicio Eléctrico,» Quito, Ecuador, 2016.
- [55] Expreso.ec, Viernes Enero 2017. [En línea]. Available: [http://expreso.ec/actualidad/cnel-instala-medidores-inteligentes-para-cont-XEGR\\_2768385](http://expreso.ec/actualidad/cnel-instala-medidores-inteligentes-para-cont-XEGR_2768385).

- [56] C. S. ESP, «Medidores de Energia Electrica,» 2011. [En línea]. Available: [http://likinormas.micodensa.com/Norma/acometidas\\_medidores/cajas\\_armarios\\_celdas/ae4131\\_medidor\\_bifasicotrifilar\\_conexion\\_asimetrica\\_2x120\\_v\\_208\\_v](http://likinormas.micodensa.com/Norma/acometidas_medidores/cajas_armarios_celdas/ae4131_medidor_bifasicotrifilar_conexion_asimetrica_2x120_v_208_v). [Último acceso: Sabado Enero 2017].
- [57] E. C. Sánchez, Instalaciones eléctricas de baja tensión en edificios de viviendas, S. Edicion, Ed., 2008.
- [58] P. Reinoso, «Estudio de las redes eléctricas inteligentes –Smart grid,» Cuenca,Ecuador, 2013.
- [59] EDEEste, Empresa Distribuidora de Electricidad del Este S. A., 2017. [En línea]. Available: <https://www.edeeste.com.do/index.php/servicios/telemedicion/>. [Último acceso: Lunes Enero 2017].
- [60] M. p. Ingenieros, «Medición Potencia y Energía,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/labmediup/temas-de-la-unidad/pl-7-medicion-de-potencia/7-4-teoria-y-tecnica>. [Último acceso: Viernes Enero 2017].
- [61] R. Pallas, Sensores y acondicionadores de señal, Barcelona: Marcombo Boixareu Editores, 2003.
- [62] M. Contreras, «Desarrollo e implementación de un sistema de medición, monitoreo y control de carga eléctrica para aplicaciones domésticas,» Cuenca, Ecuador, 2015.
- [63] J. Campos, «Calidad de la Energia Electrica,» [En línea]. Available: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Docs/calidad.pdf>. [Último acceso: 18 12 2017].
- [64] J. S. O. B. A. Velasco, «Divisores de tensión y corriente.,» Universidad Nacional de Colombia,Departamento de Física, Facultad de Ciencias,, [En línea]. Available: [http://www.fisica.ru/dfmg/teacher/archivos/Divisor\\_de\\_Tension\\_y\\_Corriente.pdf](http://www.fisica.ru/dfmg/teacher/archivos/Divisor_de_Tension_y_Corriente.pdf). [Último acceso: 12 2017].

- [65] Arduino, «Tecnología para Todos,» [En línea]. Available: <http://arduinoodhtics.weebly.com/iquestqueacute-es.html>. [Último acceso: Domingo Enero 2017].
- [66] W. L. Gomez, «Diseño y construcción de un data logger,» Universidad de El Salvador, El Salvador, 2013.
- [67] F. Marder-A. Franco, «Comunicaciones Científicas y Tecnológicas,» Dto. de Ing. Eléctrica - Facultad de Cs. Exactas y Naturales y Agrimensura, Julio 2013. [En línea]. Available: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2003/comunicaciones/07-Tecnologicas/T-045.pdf>. [Último acceso: 12 2017].
- [68] MEER, «CNEL-EP,» Quito, Ecuador , 2016.
- [69] A. d. R. y. C. d. Electricidad, Pliego tarifario para las Empresas Eléctricas, 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>. [Último acceso: 28 05 2017].

# ANEXOS

# ANEXO A

## Arduino Mega 2560

El Arduino Mega es probablemente el microcontrolador más capaz de la familia Arduino. Posee 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa.

La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del Puerto Serie. Posee un convertidor USB-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras.

## Estructura física

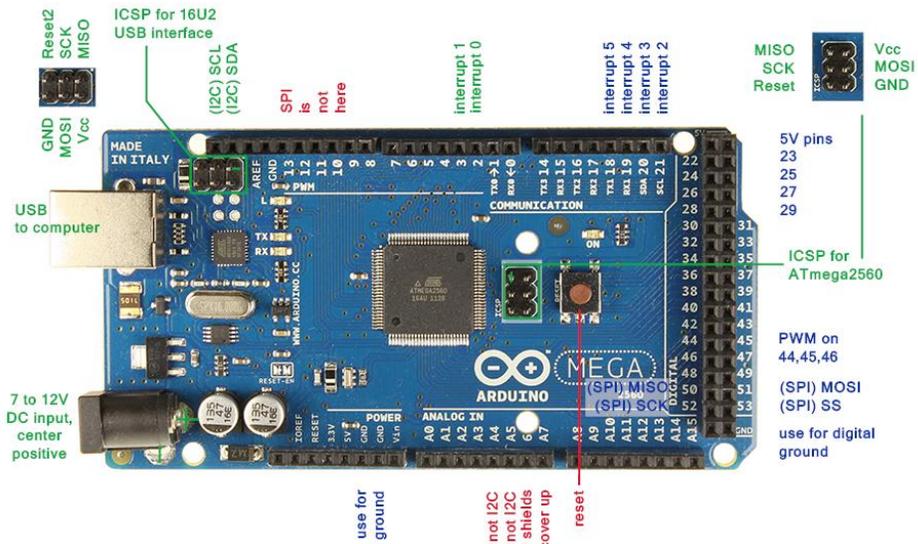


Figura A 1:Arquitectura ArduinoMega2560

## Distribución de pines

### Entradas y Salidas

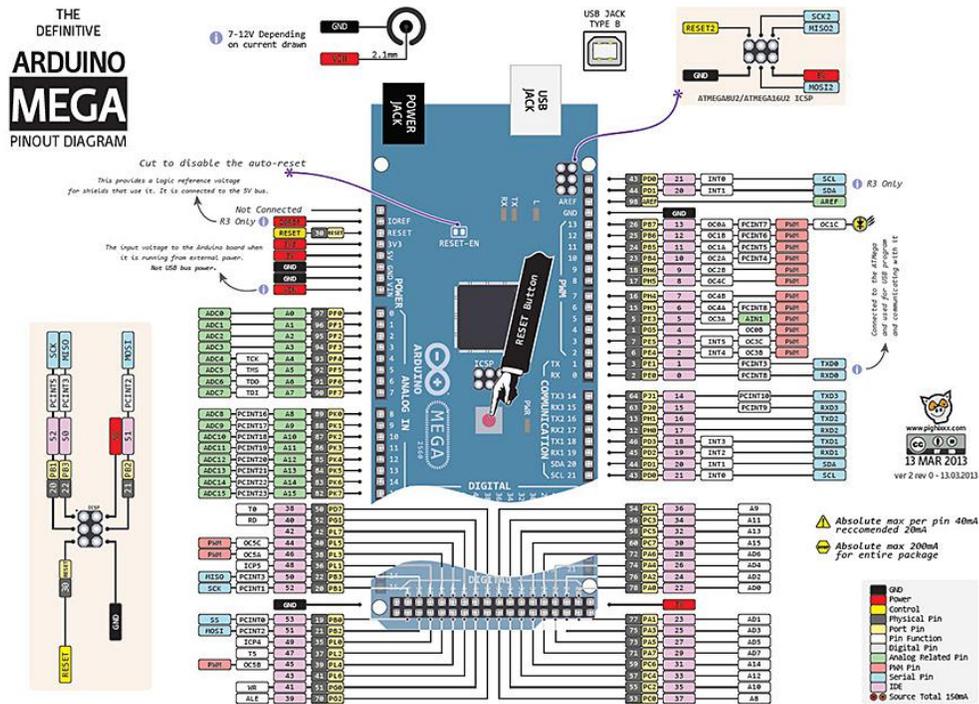


Figura A 2: Distribución de pines ArduinoMega2560

Cada uno de los 54 pines digitales en el Mega pueden utilizarse como entradas o como salidas usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Las E/S operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir una corriente máxima de 40mA y tiene una resistencia interna de pull-up (desconectada por defecto) de 20-50kOhms. Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- **Serie: 0 (RX) y 1 (TX), Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX).** Usados para recibir (RX) transmitir (TX) datos a través

de puerto serie TTL. Los pines Serie: 0 (RX) y 1 (TX) están conectados a los pines correspondientes del chip FTDI USB-to-TTL.

- **Interrupciones Externas: 2 (interrupción 0), 3 (interrupción 1), 18 (interrupción 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrupción 3), y 21 (interrupción 2).** Estos pines se pueden configurar para lanzar una interrupción en un valor LOW(0V), en flancos de subida o bajada (cambio de LOW a HIGH(5V) o viceversa), o en cambios de valor. Ver la función [attachInterrupt\(\)](#) para más detalles.
- **PWM: de 0 a 13.** Proporciona una salida PWM (Pulse Wave Modulación, modulación de onda por pulsos) de 8 bits de resolución (valores de 0 a 255) a través de la función [analogWrite\(\)](#).
- **SPI: 50 (SS), 51 (MOSI), 52 (MISO), 53 (SCK).** Estos pines proporcionan comunicación SPI, usando esta librería.
- **LED: 13.** Hay un LED integrado en la placa conectado al pin digital 13, cuando este pin tiene un valor HIGH(5V) el LED se enciende y cuando este tiene un valor LOW(0V) este se apaga.
- **I2C: 20 (SDA) y 21 (SCL).** Soporte para el protocolo de comunicaciones I2C (TWI) usando la [librería Wire](#).
- **AREF.** Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Usado por [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Suministrar un valor LOW (0V) para reiniciar el microcontrolador. Típicamente usado para añadir un botón de reset a los Shied que no dejan acceso a este botón en la placa.

### Características técnicas:

**Tabla A 1:**Características técnicas Arduino Mega

<b>Microcontrolador</b>	<b>ATmega2560</b>
<b>Voltaje Operativo</b>	5V
<b>Voltaje de Entrada</b>	7-12V
<b>Voltaje de Entrada(límites)</b>	6-20V
<b>Pines digitales de Entrada/Salida</b>	54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)

<b>Pines análogos de entrada</b>	16
<b>Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida</b>	40 mA
<b>Corriente DC entregada en el Pin 3.3V</b>	50 mA
<b>Memoria Flash</b>	256 KB (8KB usados por el bootloader)
<b>EEPROM</b>	4KB
<b>Clock Speed</b>	16 MHz

## ANEXO B

### Sensor de corriente

**Modelo: SCT-013**

**Corriente de entrada clasificada: 5A / 100<sup>a</sup>**

Los sensores de la serie SCT-013 son sensores que trabajan como transformadores, la corriente que circula por el cable que deseamos medir actúa como el devanado primario (1 espira) e internamente tiene un devanado secundario que dependiendo del modelo pueden tener hasta más de 2000 espiras.



**Figura B 1:STC013-100**

## Conexiones con Arduino:

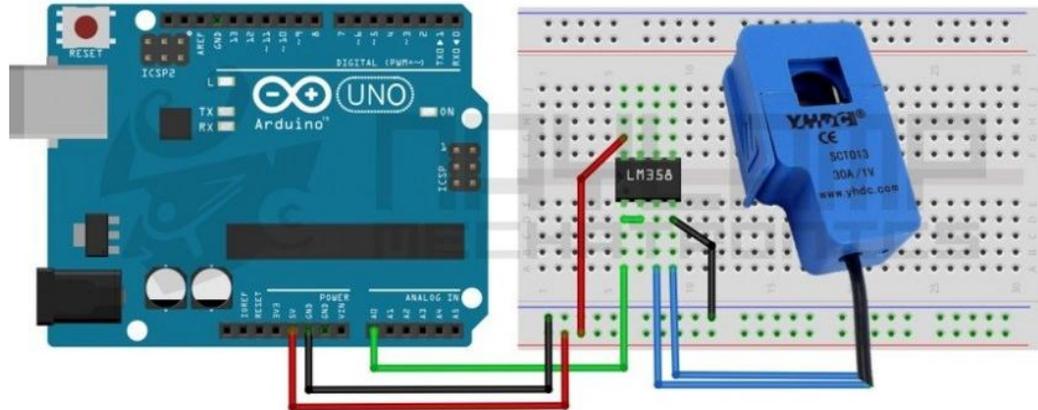


Figura B 2:STC03-100 conexión con Arduino

## Características técnicas:

Tabla B 1:Caracteriticas técnicas STC013-100

<b>Corriente de entrada</b>	<b>0~100A AC</b>
<b>Modo de salida</b>	0~50mA
<b>No linealidad</b>	±3%
<b>Relación</b>	100A:0.05A
<b>Resistencia Grado</b>	Grado B
<b>Temperatura de trabajo</b>	-25 ° C ~ + 70 ° C
<b>Rigidez dieléctrica (entre la cáscara y la salida)</b>	1000V AC/1min 5mA
<b>Longitud del cable</b>	100cm
<b>Plug</b>	3.5mm

## ANEXO C

### RTC DS1307 I2C Real-Time Clock

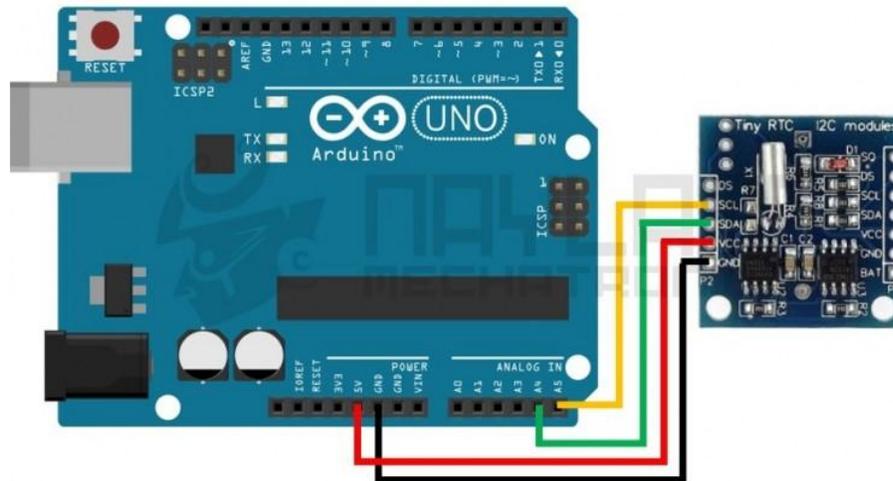
El Modulo RTC (Real Time Clock) DS1307, nos permite saber la hora exacta, día mes año e incluso el día de la semana, a su vez gracias a una EEPROM que trae el modulo, guardar los datos sin que se borren al apagar el Arduino.

Agregando el modulo El RTC a nuestro Arduino es como darle un reloj y un calendario, con el DS1307 el Arduino sabrá la hora exacta como segundos, minutos y horas. También se conocerá el día del mes, día de la semana, mes, y año. EL ds1307 tiene implementado su calendario hasta el 2100 y tiene en cuenta también los años bisiestos.



**Figura C 1:**RTC real time clock

## Conexión con Arduino



**Figura C 2:**RTC conexión con Arduino

## Características técnicas

**Tabla C 1:**Características técnicas RTC

<b>Voltaje de Operación</b>	<b>3.3V - 5V</b>
<b>Integrados principales</b>	AT24C32 y DS1307
<b>Dirección I2C del DS1307</b>	Read(11010001) Write(11010000)
<b>Memoria</b>	EEPROM AT24C32 (4K * 8bit = 32Kbit = 4KByte)
<b>Comunicación</b>	I2C, solo utiliza 2 cables.
<b>Batería</b>	Puede mantener al RTC funcionando por 10 años
<b>Conexión para Arduino</b>	SCL - A5
	SDA - A4
	VCC - 5V
	GND - GND
<b>No incluye batería (CR2032)</b>	

## ANEXO D

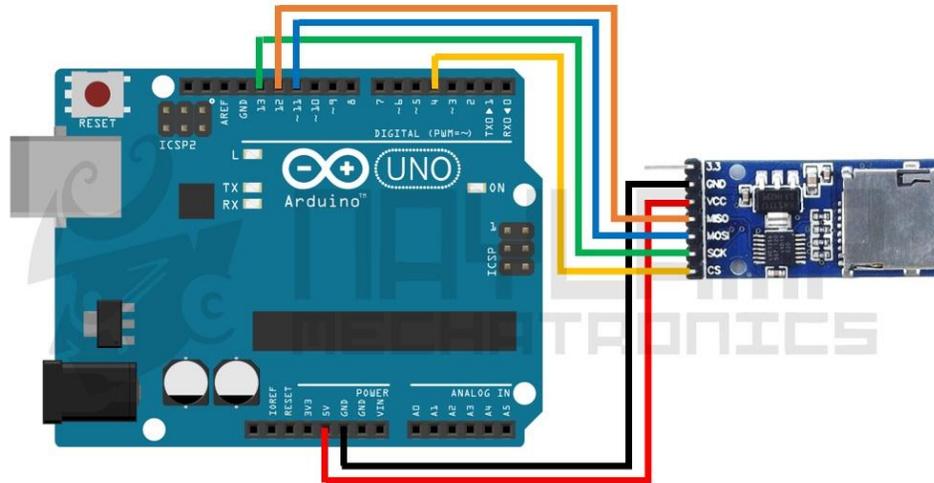
### Módulo lector micro-sd Arduino

Permite insertar una memoria Micro SD que son las más comunes en el mercado, el módulo se puede alimentar con 3.3V o 5V usando los pines respectivos. Las memorias SD son las más usadas por dispositivos portátiles, por su gran capacidad y su reducido tamaño, debido a su gran demanda son fáciles de conseguir en diferentes capacidades y precios. Estas características nos dan una buena alternativa de almacenamiento para usarlo en Arduino, sobre todo cuando necesitamos guarda gran cantidad de información



**Figura D 1:**Micro SD

**Conexión con Arduino:**



**Figura D 2:**Conexión Arduino Micro Sd

**Características técnicas**

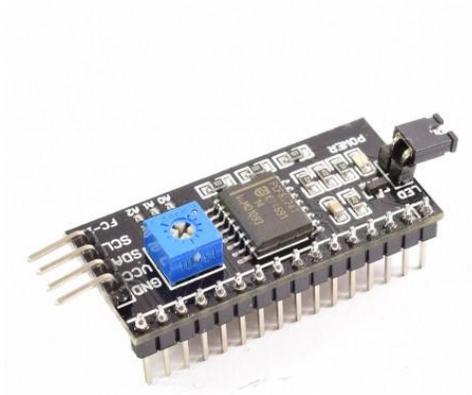
**Tabla D 1:**Características técnicas Micro sd

MÓDULO MICRO SD	ARDUINO MEGA
<b>CS</b>	4
<b>SCK</b>	52
<b>MOSI</b>	51
<b>MISO</b>	50
<b>Voltajes</b>	5V o 3.3V
<b>Protocolo</b>	SPI
<b>Compatibilidad</b>	Micro SD, Micro SDHC
<b>Perforaciones</b>	2.2mm para tornillo
<b>Peso</b>	6g
<b>Interfaz</b>	SPI
<b>Compatible</b>	MicroSD (TF)
<b>Tamaño</b>	20x28mm

## ANEXO E

### Lcd 16×2 por i2c con Arduino

El Módulo adaptador LCD a I2C está basado en el controlador I2C PCF8574, el cual es un Expansor de Entradas y Salidas digitales controlado por I2C. Por el diseño del PCB este módulo se usa especialmente para controlar un LCD Alfanumérico.



**Figura E 1:**LCD con I2C

## Conexiones con Arduino:

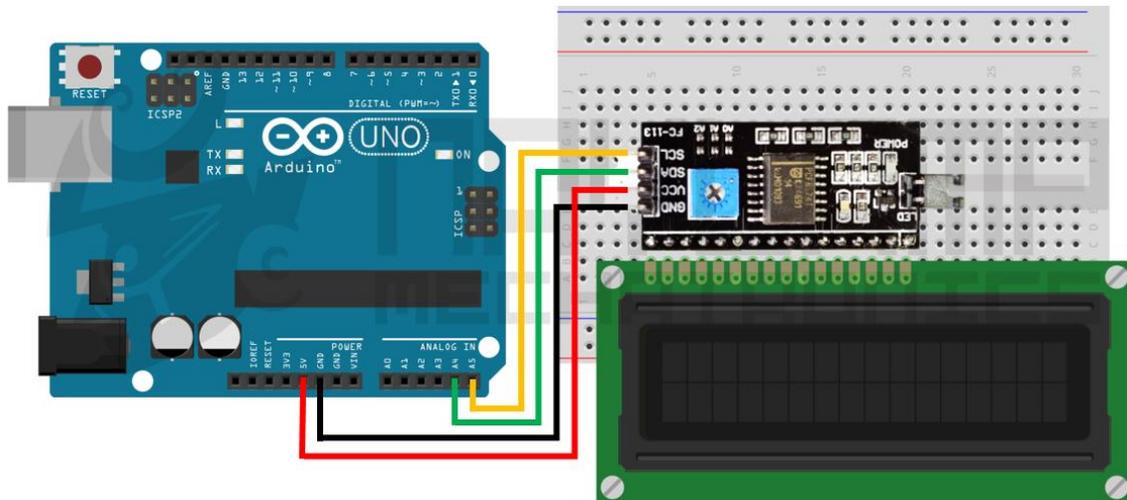


Figura E 2: LCD conexión con Arduino

## Características Técnicas:

Tabla E 1: Características técnicas LCD

Adaptador LCD a I2C	<b>Arduino Mega</b>
<b>GND</b>	GND
<b>VCC</b>	5V
<b>SDA</b>	20
<b>SCL</b>	21
<b>16 caracteres</b>	2 líneas
<b>Caracteres</b>	5x8 puntos
<b>Tamaño carácter</b>	5.23 x 3mm
<b>Backlight led</b>	color azul
<b>Caracteres</b>	color blanco
<b>Conexiones: SDA y SCL</b>	ahorrando así muchos pines para desarrollo
<b>Posee el controlador</b>	HD44780
<b>Alimentación</b>	5V
<b>Dimensiones del módulo</b>	80mm x 35mm x 11mm.
<b>Área visible</b>	64.5mm x 16mm
<b>Altura</b>	8cm

<b>Anchura</b>	3,5cm
<b>Profundidad</b>	1cm
<b>Peso</b>	30g
<b>Alimentación</b>	5V

## ANEXO F

### Modulo GSM/GPRS SIMCOM 900

La Shield GPRS se basa en el módulo SIM900 SIMCOM compatible con Arduino y sus clones. La Shield GPRS proporciona una forma de comunicarse mediante la red de telefonía celular GSM. El escudo le permite lograr SMS, MMS, GPRS y de Audio a través de UART mediante el envío de comandos AT (GSM 07.07, 07.05 y SIMCOM mejorado Comandos AT), la pantalla también tiene la 12 Gpio, 2 PWM y un ADC de SIM900 módulo (son toda lógica 2V8) presente a bordo.



**Figura F 1:SIMCOM 900**

**Características técnicas:**

**Tabla F 1:**Características técnicas SIM 900

<b>Tamaño de PCB</b>	<b>71.4mm X 66.0mm X 1.6mm</b>
<b>Indicadores</b>	PWR, LED de estado, estado de la red LED
<b>Fuente de alimentación</b>	9 ~ 20 V, compatible con Arduino
<b>Protocolo de comunicación</b>	UART
<b>RoSH</b>	Sí
<b>Industrial Temperatura Rango</b>	-40 a + 85
<b>Quad-Band 850/900/1800/1900 MHz-iba a funcionar en las redes GSM en todos los países del mundo.</b>	
<b>GPRS multi-slot clase 10/8</b>	
<b>GPRS clase de estación móvil B</b>	

## ANEXO G

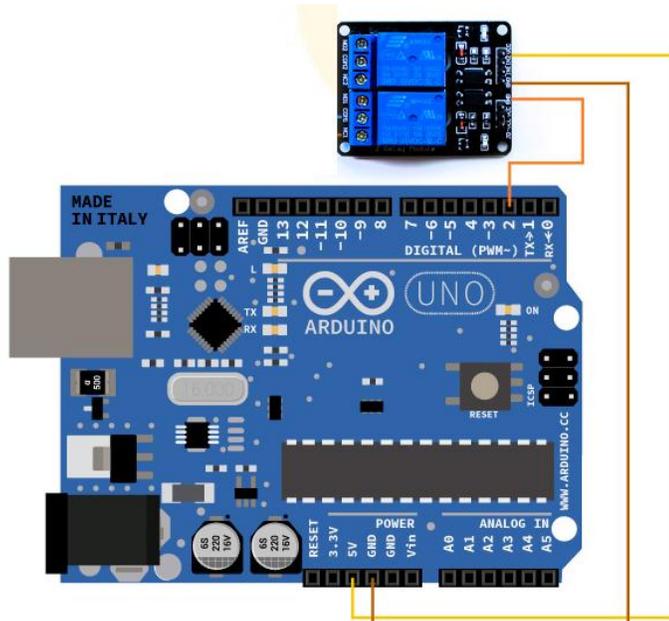
### Modo relé para Arduino

Cuando se requiere controlar elementos que están conectados a grandes voltajes, necesitamos de un componente que por un lado se conecte a la red eléctrica y por otro lado se pueda conectar a la placa de Arduino y que esta controle esa conexión. Para ello disponemos de los relés, unos interruptores eléctricos que conmutan una red de alto voltaje (por ejemplo 220V) a través de un voltaje de control mucho inferior (5V de la Arduino UNO o 3.3V de la Arduino MKR1000).



**Figura G 1:**Modulo relé

**Conexión con Arduino:**



**Figura G 2:** Conexión Módulo relé con Arduino

**Características técnicas:**

**Tabla G 1:** Características técnicas módulo relé

<b>Canal de salida</b>	<b>1</b>
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	24V
<b>Relé de tensión de carga</b>	125VAC/250VAC 28VDC/30VDC
<b>Corriente de operación</b>	10A
<b>Voltaje de la bobina (relé)</b>	5V
<b>Modo de disparo</b>	Bajo nivel de disparo
<b>Diodo de protección</b>	En cada bobina
<b>Diodo LED indicador</b>	Estado para cada canal
<b>Consumo de corriente (bobina)</b>	20mA
<b>Tamaño</b>	4.0cm x 1.5cm x 2.0cm
<b>Peso</b>	14 gramos

## ANEXO H

### Código de Programación

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include "RTCLib.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>

RTC_DS1307 rtc;

int segundo, minuto, minutohoy, hora, dia, mes; //variables fecha y hora
long anio; //variable año
DateTime HoraFecha; //creacion de instancia
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2); // direccion LCD 0x3F para 16x2
unsigned long startMillis;
unsigned long endMillis;
int anterior = 1;
int actual = 0;
int data;
String dataInput;
double kilos = 0, pKW = 0, Aux_Irms = 0, Aux_Vrms = 0;
int x,aux3 = 0;
int contador = 0;
float valor_guardado = 0;

int n = 0, leer = A0, leer2 = A1, leer3 = A4, leer4 = A5, i = 0, j = 0, vector[1480], aux2 = 0, k = 0,
m = 0;
float voltaje[1480];
```

```

double corrienteP = 0.0, corrienteN = 0.0, Aux_pKW1=0.0, Aux_pKW2=0.0;
double corriente_powP = 0.0, corriente_powN = 0.0, suma_I = 0.0;
double aux1 = 0.0, Vrms = 0.0, Vrms2 = 0.0, Irms = 0.0 , Irms2 = 0.0;
SoftwareSerial mySerial(10, 11);
File myFile;
File myFiles[1] = {myFile};
String cadena = " ";
byte buffer[64];
int count = 0;
int rele = 22;
void setup() {
mySerial.begin(19200);
Serial.begin(9600); // the GPRS baud rate
delay(500);
rtc.begin();
lcd.init();
lcd.backlight();
pinMode(rele, OUTPUT);
if (!SD.begin(53)) {
Serial.println("SD no inicializa");
return;
}
else {
Serial.println(" SD inicializacion exitosa");
}
myFiles[1] = SD.open("POTENCIA.txt", FILE_READ);
if (myFiles[1]) {
while (myFiles[1].available()) {
data = myFiles[1].read();

```

```

Serial.write(data);
contador = contador++;
}
}
void loop() {
startMillis = millis();
HoraFecha = rtc.now();
segundo = HoraFecha.second();
minuto = HoraFecha.minute();
hora = HoraFecha.hour();
dia = HoraFecha.day();
mes = HoraFecha.month();
anio = HoraFecha.year();
minutohoy = HoraFecha.minute();
CO1://ciclo corriente
vector[0] = analogRead(leer);
for (i = 1; i < 1480; i++) {
vector[i] = analogRead(leer);
k = i;
if ((aux2 <= 9) && (aux2 >= 5)) {
for (int j = 0; j < k + 1; j++) {
if (vector[j] > 512) {
corrienteP = ((vector[j] * 25.0) - 12775.0) / (128.0);
corriente_powP = corriente_powP + (corrienteP * corrienteP);
}
if (vector[j] < 510) {
corrienteN = (51100.0 - (vector[i] * 100.0)) / (511.0);
corriente_powN = corriente_powN + (corrienteN * corrienteN);
}
}
}
}

```

```

if ((vector[j] <= 512 && (vector[j] >= 510))) {
m++;
}
}
aux3 = k - m;
if(aux3==0){
suma_I=0;
}
else
suma_I = (corriente_powP + corriente_powN) / (aux3);
Irms = (sqrt(suma_I)) * (1.42);
for (i = 0; i < k + 1; i++) {
vector[i] = 0;
}
aux2 = 0;
m = 0;
corrienteP = 0;
corriente_powP = 0;
corrienteN = 0;
corriente_powN = 0;
suma_I = 0;
aux3 = 0;
k = 0;
goto VO
if (i == 1479) {
for (i = 0; i < 1480; i++) {
vector[i] = 0;
}
aux2 = 0;

```

```

goto CO1;

////////////////////////////////////

VO1://ciclo voltaje
vector[0] = analogRead(leer2);
Serial.println("ADC V1 : ");
for (i = 1; i < 1480; i++) {
vector[i] = analogRead(leer2);
k = i;
Serial.println(vector[i]);
if (vector[0] == vector[i]) {
aux2++;
}
if (aux2==5){
for (int j = 0; j < k + 1; j++) {
if (vector[j] > 512) {
corrienteP = ((vector[j] * 171.0) - 87381.0) / (640.0);
corriente_powP = corriente_powP + (corrienteP * corrienteP);
}
if (vector[j] < 510) {
corrienteN = (349524.0 - (vector[j] * 684.0)) / (2555.0);
corriente_powN = corriente_powN + (corrienteN * corrienteN);
}
if ((vector[j] <= 512 && (vector[j] >= 510))) {
m++;
}
}
}
aux3 = k - m;
if(aux3==0){
suma_I=0;

```

```

}
else
suma_I = (corriente_powP + corriente_powN) / (aux3);
Vrms = (sqrt(suma_I)) * (1.42);
for (i = 0; i < k + 1; i++) {
vector[i] = 0;
}
aux2 = 0;
m = 0;
corrienteP = 0;
corriente_powP = 0;
corrienteN = 0;
corriente_powN = 0;
suma_I = 0;
aux3 = 0;
k = 0;
goto CO2;
}
if(i == 1479) {
for (i = 0; i < 1480; i++) {
vector[i] = 0;
}
aux2 = 0;
goto VO1;
}
//////////////////////FASE 2 //////////////////
CO2://ciclo corriente
vector[0] = analogRead(Leer3);
for (i = 1; i < 1480; i++) {

```

```

vector[i] = analogRead(ler3);
k = i;
if (vector[0] == vector[i]) {
aux2++;
}
if ((aux2 <= 9) && (aux2 >= 5)) {
for (i = 0; i < k + 1; i++) {
if (vector[i] > 512) {
corrienteP = ((vector[i] * 25.0) - 12775.0) / (128.0);
corriente_powP = corriente_powP + (corrienteP * corrienteP);
}
if (vector[i] < 510) {
corrienteN = (51100.0 - (vector[i] * 100.0)) / (511.0);
corriente_powN = corriente_powN + (corrienteN * corrienteN);
}
if ((vector[i] <= 512 && (vector[i] >= 510))) {
m++;
}
}
if(aux3==0){
suma_I=0;
}
else
suma_I = (corriente_powP + corriente_powN) / (aux3);
Irms2 = (sqrt(suma_I)) * (1.42);
vector[i] = 0;
}
aux2 = 0;
m = 0;

```



```

if ((vector[i] <= 512 && (vector[i] >= 510))) {
m++;
}
aux3 = k - m;
if(aux3==0){
suma_I=0;
else
suma_I = (corriente_powP + corriente_powN) / (aux3);
Vrms2 = (sqrt(suma_I)) * (1.42);
for (i = 0; i < k + 1; i++) {
vector[i] = 0;
}
aux2 = 0;
m = 0;
corrienteP = 0;
corriente_powP = 0;
corrienteN = 0;
corriente_powN = 0;
suma_I = 0;
aux3 = 0;
k = 0;
goto CALCULO;
for (i = 0; i < 1480; i++) {
vector[i] = 0;
aux2 = 0;
goto CO1;
}
CALCULO:
pKW = (Aux_pKW1 + Aux_pKW2);

```

```

endMillis = millis();

long unsigned time = endMillis - startMillis;

kilos = kilos + ((double)pKW * ((double)time / 60 / 60 / 1000 / 1000)); //Calculo kilowatt hours
utilizados

myFiles[1] = SD.open("Potencia.txt", FILE_WRITE);

actual = (int)hola;

if (actual != anterior) {
  if (myFiles[1]) {
  }
  anterior = actual;
}

delay(1000);

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print(anio - 2000, DEC);

lcd.print("");

lcd.print(mes, DEC);

lcd.print("");

lcd.print(dia, DEC);

lcd.setCursor(8, 0);

lcd.print(hora, DEC);

lcd.print(":");

lcd.print(minuto, DEC);

lcd.print(":");

lcd.print(segundo, DEC);

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print((kilos),5); //imprime la parte entera de la potencia consumida

lcd.setCursor(13, 1);

lcd.print("KWh");

Serial.print("Corriente1 = ");

```

```

Serial.println(Irms, 3);
Serial.print("Corriente2 = ");
Serial.println(Irms2, 3);
Serial.print("Tension1 = ");
Serial.println(Vrms, 3);
Serial.print("Tension2 = ");
Serial.println(Vrms2, 3);
Serial.print("Potencia Instantanea KW = ");
Serial.println(pKW, 3);
Serial.print("Consumo KWh = ");
Serial.println(kilos, 5);
Serial.print("Tiempo ms = ");
Serial.println(time);
Serial.println (String (hora) + ':' + String(minuto) + ':' + String(segundo));
Serial.println (String (anio) + ':' + String(mes) + ':' + String(dia));
if (mySerial.available()) {
while (mySerial.available()) {
buffer[count++] = mySerial.read();
if (count == 64)break;
}
Serial.write(buffer, count);
Cmd_Read_Act();
clearBufferArray();
count = 0;
}
void SubmitHttpRequest(const String url) {
mySerial.println("AT+CSQ");
delay(100);
ShowSerialData();

```

```

mySerial.println("AT+CGATT?");
delay(100);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+SAPBR=3,1,\"CONTYPE\",\"GPRS\");
delay(1000);
ShowSerialData();
delay(4000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+SAPBR=1,1");
delay(2000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+HTTPINIT");
delay(2000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+HTTTPARA=\"CID\",1");
delay(2000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+HTTTPARA=\"URL\", \"\" + url + "\"");
delay(1000);
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+HTTPACTION=0");
ShowSerialData();
mySerial.println("AT+HTTPREAD=0,100");
delay(300);
ShowSerialData();
mySerial.println("");
delay(100);
void ShowSerialData() {
while (mySerial.available() != 0)

```

```

Serial.write(mySerial.read());
void Cmd_Read_Act(void) {
char buffer2[64];
char comparetext[25];
for (int i = 0; i < count; i++) {
buffer2[i] = char(buffer[i]);
}
memcpy(comparetext, buffer2, 25)
if (strstr(buffer2, "On")) {
digitalWrite(rele, HIGH);
Serial.println("Rele On");
}
if (strstr(buffer2, "Off")) {
Serial.println("Rele Off");
digitalWrite(rele, LOW);
}
void clearBufferArray() {
for (int i = 0; i < count; i++)
{
buffer[i] = NULL;
}
}

```