



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE POTENCIA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA DETERMINAR EL  
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico  
en Sistemas Eléctricos de Potencia.

**Autores:**

Iza Calapaqui Ciro Alexander

Latacunga Pilatasig Leonel José

**Tutor Académico:**

Ing. Jiménez Jiménez Diego Leonardo MSc.

**LATACUNGA-ECUADOR**

**2021**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **IZA CALAPAQUI CIRO ALEXANDER** y **LATACUNGA PILATASIG LEONEL JOSÉ** declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL**”, siendo el Ing. **JIMÉNEZ JIMÉNEZ DIEGO LEONARDO MSc.** el tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....  
**Iza Calapaqui Ciro Alexander**

**C.C. 175351266-2**

.....  
**Latacunga Pilatasig Leonel José**

**C.C. 050418221-3**



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL”**, de **IZA CALAPAQUI CIRO ALEXANDER** y **LATACUNGA PILATASIG LEONEL JOSÉ**, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2021

El Tutor

.....  
**Ing. Jiménez Jiménez Diego Leonardo MSc.**

**C.C. 050349370-2**



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes **IZA CALAPAQUI CIRO ALEXANDER** y **LATACUNGA PILATASIG LEONEL JOSÉ** con el título de Proyecto de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto del 2021

Para constancia firman:



Firmado electrónicamente por:  
GABRIEL NAPOLEON  
PESANTEZ PALACIOS

**Ing. Gabriel Napoleón Pesantez Palacios**

**C.C.030189388-9**



Firmado electrónicamente por:  
JESSICA NATALY  
CASTILLO  
FIALLOS

**Ing. Jessica Nataly Castillo Fiallos**

**C.C.060459021-6**

.....  
**Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena**

**C.C.050307290-2**



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de responsable del laboratorio correspondiente de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico que mediante el proyecto de propuesta tecnológica: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL”** de los señores, IZA CALAPAQUI CIRO ALEXANDER y LATACUNGA PILATASIG LEONEL JOSÉ, realizan la entrega de un prototipo de medidor digital de energía eléctrica, para el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, agosto 2021

  
MSc. Eduardo Hinojosa  
C.C. 0502365810

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, un agradecimiento dedicado a Dios por bendecirnos y cuidarnos siempre para hacer realidad este sueño tan anhelado por nosotros.

Al Ing. Diego Jiménez por habernos guiado en el transcurso del desarrollo de nuestro proyecto tecnológico, compartiendo sus conocimientos, su experiencia, su responsabilidad y motivación incondicional para lograr esta meta.

A nuestros padres, por ser los pilares fundamentales de nuestra vida, por su gran apoyo y sus enseñanzas que nos han compartido a lo largo de nuestras vidas impulsándonos a ser mejores cada día. Además, a cada uno de nuestros familiares y amigos ya que de alguna forma nos dieron motivos para batallar hasta el final.

Finalmente, nuestro más grande agradecimiento a nuestro segundo hogar a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirnos las puertas de esta noble Institución, para podernos formar como profesionales de calidad, excelencia, humanistas y críticos al servicio del país, y a nuestra majestuosa y amada carrera de Ingeniería Eléctrica.

**Ciro y Leonel**

## **DEDICATORIA**

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme tener vida, salud y poder realizar este sueño tan deseado.

A mis padres, mi papá José Iza y mi mamá María Calapaqui por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis sueños.

Finalmente, a mi hermano Cristian Iza por estar siempre a mi lado y su respaldo que me impulsan para salir adelante, y también a toda mi familia quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, sacrificio y humildad, enseñándome a valorar todo lo que tengo.

**Ciro Alexander**

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, lo dedico a Dios quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, por darme el don de la perseverancia para alcanzar mi meta.

A mis padres, mi mamá Mercedes Pilatasig y mi papá Abraham Latacunga quienes fueron una guía, fortaleza y motivo principal para no rendirme.

A mis hermanos Mario, Moisés, Rodrigo, Byron y Alex a mis hermanas Rebeca, Verónica, Mélida y Lizeth quienes siempre estuvieron ahí cuando los necesitaba como fuente de apoyo moral, motivándome a seguir adelante.

Finalmente, a mis familiares y amigos quienes de alguna forma aportaron con un granito de arena para lograr mi meta, también a los docentes de la facultad ya que gracias a su sabiduría y enseñanzas pude alcanzar mi objetivo.

**Leonel José**

## RESUMEN

El presente documento presenta el diseño y construcción de un prototipo de medidor digital basado en la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560. El contador electrónico permite visualizar la energía consumida en kWh de hogares con sistemas de alimentación monofásica logrando conocer este parámetro en tiempo real. Además, el prototipo visualiza valores de voltaje, corriente y la potencia, el diseño está dividido en tres etapas importantes; la primera etapa está dirigida a instalar el sistema de alimentación la cual se encarga de alimentar con la con el suministro energético público o con una batería de 12V esta última sirve de respaldo en caso de que no exista provisión eléctrica para alimentar a los componentes de medición, la segunda etapa consiste en la adecuación de señales de los sensores de corriente y voltaje que posteriormente serán censadas por el microcontrolador ATmega 2560 el cual se encargara del procesamiento de los caracteres de dichos sensores a su vez realizando los cálculos pertinentes para obtener las variables a medir por medio de un proceso matemático y lógico realizado en el IDE de Arduino, la tercera etapa consta en el montaje de los elementos de acuerdo al diseño establecido en el software ISIS Proteus, continuamente se acopla estos los módulos a una caja plástica que en su vista frontal muestra la pantalla de cristal líquido acoplada para observar las variables medidas por dispositivo. Finalmente, utilizando los datos adquiridos se realiza un análisis comparativo del sistema de registrador digital con la medida convencional.

**Palabras clave:** Medidor digital residencial, consumo eléctrico, potencia, energía, diseño, prototipo.

## ABSTRACT

### TOPIC:

“DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE TO DETERMINE RESIDENTIAL ELECTRIC POWER CONSUMPTION”

### Authors:

Iza Calapaqui  
Ciro Alexander

Latacunga  
Pilatasig  
Leonel José

This paper presents the design and construction of a digital meter prototype based on the Arduino Mega 2560 development board. The electronic meter allows to visualize the energy consumed in kWh of homes with single-phase power supply systems achieving to know this parameter in real time. In addition, the prototype displays voltage, current and power values, the design is divided into three important stages; The first stage is aimed at installing the power supply system which is responsible for feeding with the public power supply or with a 12V battery, the latter serves as a backup in case there is no power supply to feed the measurement components, The second stage consists of the adequacy of signals from the current and voltage sensors that will later be censored by the ATmega 2560 microcontroller which will be responsible for processing the characters of these sensors in turn performing the relevant calculations to obtain the variables to be measured by means of a mathematical and logical process carried out in the Arduino IDE, The third stage consists of the assembly of the elements according to the design established in the ISIS Proteus software, these modules are continuously coupled to a plastic box that in its front view shows the liquid crystal display coupled to observe the variables measured by the device. Finally, using the acquired data, a comparative analysis of the digital recorder system with the conventional measurement is performed.

**Keywords:** residential digital meter, electrical consumption, power, energy, design, prototype.

## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del trabajo de investigación cuyo título versa: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA DETERMINAR EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESIDENCIAL”**, presentado por: **Ciro Alexander Iza Calapaqui y Leonel José Latacunga Pilatasig**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Agosto del 2021

Atentamente,



Firma autenticada por:  
**MARCO PAUL  
BELTRAN  
SEMBLANTES**

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
C.C. 0502666514



**CENTRO  
DE IDIOMAS**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1. EL PROBLEMA: .....	2
2.1.1. Situación problemática: .....	2
2.1.2. Formulación del problema:.....	2
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	2
2.3. BENEFICIARIOS: .....	3
2.3.1. Beneficiarios directos .....	3
2.3.2. Beneficiarios indirectos .....	3
2.4. JUSTIFICACIÓN:.....	3
2.5. HIPÓTESIS .....	4
2.6. OBJETIVOS:.....	4
2.6.1. Objetivo General.....	4
2.6.2. Objetivos Específicos .....	4
2.7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS .....	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
3.1. ANTECEDENTES .....	6
3.2. IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN ELÉCTRICA .....	7
3.2.1. Tarifa eléctrica en Ecuador .....	8
3.2.1.1. Categoría general.....	8
3.2.1.2. Categoría residencial .....	8
3.2.2. Tarifa general para consumidores residenciales .....	8
3.2.2.1. Facturación mensual por el servicio de energía eléctrica .....	9
3.2.2.2. Subsidios para tarifas residenciales .....	10
3.2.3. Subsidio cruzado para usuarios residenciales.....	10

3.2.4. Tarifa de dignidad para usuario residenciales .....	11
3.2.5. Tarifa de adulto mayor para usuario residenciales .....	12
3.2.6. Consumo eléctrico en el hogar .....	14
3.3. MEDIDORES ELÉCTRICOS DE USO RESIDENCIAL .....	14
3.3.1. Clasificación de los medidores de energía eléctrica .....	14
3.3.2. Componentes de un medidor digital.....	18
3.3.2.1. Microcontrolador .....	18
3.3.2.2. Sensores de corriente alterna .....	18
3.3.2.3. Sensores de tensión.....	19
3.4. PLATAFORMA ARDUINO IDE .....	19
3.4.1. Librerías de Arduino.....	21
3.4.2. Entorno de desarrollo integrado Arduino IDE .....	21
3.4.3. Protocolos de comunicación.....	22
3.4.3.1. Comunicación serial .....	22
3.4.3.2. Comunicación receptora/transmisor asíncrono universal (UART) .....	22
3.4.3.3. Comunicación síncrona (I2C).....	22
3.4.3.4. Interfaz de periféricos en serie (SPI) .....	23
3.4.4. Conversión Análogo-Digital.....	23
3.4.4.1. La frecuencia de muestreo (sample rate).....	24
3.4.4.2. Cuantificación.....	26
3.5. DEFINICIONES PARA CÁLCULO DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	27
3.5.1. Potencia Eléctrica .....	27
3.5.2. Potencia instantánea .....	27
3.5.3. Potencia Real .....	28
3.5.4. Valor eficaz o RMS .....	28
3.5.5. Potencia reactiva.....	28

3.5.6. Potencia aparente y factor de potencia .....	28
3.5.7. Energía.....	29
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
4.1. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL .....	31
4.2. DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	31
4.2.1. DESARROLLO DEL SISTEMA DE CARGA Y ALIMENTACIÓN .....	32
4.2.2. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.....	35
4.2.2.1. Desarrollo para acondicionar la señal y cálculo de la tensión.....	37
4.2.2.2. Desarrollo para acondicionar la señal y cálculo de la corriente .....	39
4.2.2.3. Desarrollo para obtener el precio.....	43
4.2.2.4. Desarrollo del almacenamiento de datos .....	44
4.2.3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO .....	45
4.2.3.1. Implementación del prototipo.....	46
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	50
5.1. PRUEBAS DE VOLTAJE .....	50
5.2. PRUEBAS DE CORRIENTE .....	51
5.3. PRUEBAS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	53
5.4. PRUEBA DE CÁLCULO MONETARIO .....	55
5.5. PRUEBA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TARJETA DE MEMORIA MICRO SD	56
5.6. INVERSIÓN DEL PROYECTO.....	60
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	65
6.1. CONCLUSIONES.....	65
6.2. RECOMENDACIONES .....	65
7. BIBLIOGRAFÍA .....	67
8. ANEXOS .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1. Evolución histórica y proyección del consumo del sector residencial.....	8
Figura 3. 2. Consumos promedios dependiendo a la zona geográfica. ....	11
Figura 3. 3. Planilla de energía eléctrica de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. ELEPCOSA. ....	13
Figura 3. 4. Medidor Electromecánico. ....	15
Figura 3. 5. Contador Electrónico. ....	16
Figura 3. 6. Un moderno medidor inteligente de estado sólido (izquierda) y un antiguo medidor electromecánico de vatios-hora. ....	17
Figura 3. 7. Configuración de pines del Arduino Mega. ....	19
Figura 3. 8. Diagrama de comunicación <i>I2C</i> entre maestro y esclavos . ....	23
Figura 3. 9. Diagrama de comunicación <i>SPI</i> entre maestro y esclavos. ....	23
Figura 3. 10. Conversión análogo–digital. ....	24
Figura 3. 11. Señal senoidal de muestreo. ....	25
Figura 3. 12. Señal senoidal muestreada. ....	25
Figura 3. 13. Cuantificación y codificación de la señal senoidal. ....	26
Figura 4. 1. Etapas del diseño del prototipo de medidor digital.....	32
Figura 4. 2. Presentación del prototipo de medidor digital en la residencia.....	32
Figura 4. 3. Diagrama simplificado del sistema alimentación y carga.....	33
Figura 4. 4. Circuito del control y carga de la batería. ....	34
Figura 4. 5. Circuito general sistema de alimentación y carga.....	35
Figura 4. 6. Diagrama de bloques simplificado del sistema de medición a desarrollar. ....	36
Figura 4. 7. Diagrama de flujos simplificado del sistema de medición por software. ....	37
Figura 4. 8. Esquema del circuito interno de módulo de medición de tensión.....	38
Figura 4. 9. Señal de salida del circuito acondicionado para medir el voltaje RMS.....	38
Figura 4. 10. Sensor SCT-013 y su forma de conexión.....	39
Figura 4. 11. Esquema de la señal de salida acondicionada por el circuito del sensor SCT-013. ....	40
Figura 4. 12. Diseño del circuito acondicionador para medir corriente con operacional LM358N. ....	40
Figura 4. 13. Señal de salida de la rectificación con el amplificador LM358. ....	41
Figura 4. 14. Diagrama flujo para obtener datos RMS de corriente y voltaje por software.....	42
Figura 4. 15. Diagrama de flujo para calcular el precio por consumo mediante software. ....	44

Figura 4. 16. Diagrama de flujos para guardar y registrar los datos en la tarjeta micro SD. ...	45
Figura 4. 17. Diseño electrónico general del prototipo de medidor digital. ....	46
Figura 4. 18. Prueba del funcionamiento del circuito armado de alimentación. ....	47
Figura 4. 19. Prueba de funcionamiento del circuito armado de medición. ....	47
Figura 4. 20. Prueba del circuito armado del prototipo medición. ....	48
Figura 4. 21. Montaje e implementación del prototipo de medición.....	48
Figura 4. 22. Vista frontal del prototipo de medición implementada.....	49
Figura 5. 1. Mediciones realizadas por el multímetro y el prototipo implementado.....	51
Figura 5. 2. Mediciones realizadas por el multímetro y el prototipo implementado.....	51
Figura 5. 3. Mediciones realizadas por la pinza amperimétrica y el prototipo implementado.	52
Figura 5. 4. Mediciones realizadas por la pinza amperimétrica y el prototipo implementado.	53
Figura 5. 5. Toma de lectura al día 15 del prototipo implementado.....	55
Figura 5. 6. Datos obtenidos de voltaje de la tarjeta de memoria micro SD. ....	58
Figura 5. 7. Datos obtenidos de corriente de la tarjeta de memoria micro SD.....	58
Figura 5. 8. Datos obtenidos de potencia de la tarjeta de memoria micro SD. ....	59
Figura 5. 9. Datos obtenidos de energía de la tarjeta de memoria micro SD. ....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1. Cargos tarifarios únicos para consumidores residenciales. ....	9
Tabla 3. 2. Comparación entre plataformas. ....	20
Tabla 5. 1. Comparación de las mediciones de voltaje realizadas. ....	50
Tabla 5. 2. Comparación de las mediciones de corriente realizadas. ....	52
Tabla 5. 3. Comparación de la energía eléctrica entre el medidor y el prototipo implementado. .....	54
Tabla 5. 4. Comparación del cálculo monetario de la energía eléctrica consumida, parte 1....	55
Tabla 5. 5. Comparación del cálculo monetario de la energía eléctrica consumida, parte 2....	56
Tabla 5. 6. Prueba de funcionamiento de la tarjeta de memoria micro SD. ....	57
Tabla 5. 7. Componentes que se montaran al sistema de alimentación.....	60
Tabla 5. 8. Componentes que se montaran al sistema de medición. ....	61
Tabla 5. 9. Lista de materiales primarios indirectos.....	62
Tabla 5. 10. Lista de herramientas y equipos utilizados.....	62
Tabla 5. 11. Servicios básicos utilizados para desarrollar el proyecto. ....	63
Tabla 5. 12. Inversión total para desarrollar este proyecto.....	63

## **1.INFORMACIÓN GENERAL**

**Título del Proyecto:**

Diseño y construcción de un prototipo para determinar el consumo de energía eléctrica residencial.

**Fecha de inicio:**

05-04-2021

**Fecha de finalización:**

30-07-2021

**Lugar de ejecución:**

Latacunga

**Facultad que auspicia:**

Facultad en Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

**Carrera que auspicia:**

Carrera Ingeniería Eléctrica

**Equipo de Trabajo:**

Tutor: Jiménez Jiménez Diego Leonardo

Estudiantes: Iza Calapaqui  
Ciro Alexander

Latacunga Pilatasig  
Leonel José

**Área de Conocimiento:**

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción

Sub Área: 071 Ingeniería y profesiones afines

0713 electricidad y energía

**Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Control y optimización en el uso de la energía del sector industrial, comercial y residencial

## **2.INTRODUCCIÓN**

### **2.1.EL PROBLEMA:**

#### **2.1.1.Situación problemática:**

El diseño y construcción del sistema de medición de energía en el mundo se estableció a comienzo de los 80 del siglo pasado y a los inicios de la década de los 90 se generaron y utilizaron equipos de medición electromecánicos unos años más tarde equipos de medición electrónicos, estas mediciones de energía eléctrica convencionales se limitan a registrar solo el consumo en kWh, lo cual no permite la concientización del uso de energía por parte del cliente al igual que una empresa eléctrica para llevar un proceso operativo más eficiente en la gestión de las pérdidas de origen técnico y no técnico.

El uso de nuevas tecnologías de medición de energía en los países desarrollados ha posibilitado beneficios para como el propietario como para el usuario, el Ecuador al ser un país en vías de desarrollo tiene una obligación de optimizar los procedimientos para la medición de energía eléctrica con el objetivo de mejorar la calidad de prestación del servicio, las decisiones tomadas por las empresas de distribución para minimizar las pérdidas de energía eléctrica o lecturas de consumo no son suficientes, originando precios residenciales elevados afectando las tarifas eléctricas, así como en el bienestar de las finanzas de la empresa eléctrica y del cliente.

En la actualidad al no contar con estos dispositivos de medición de energía digital, es que no permite conocer el consumo total generado por los aparatos eléctricos, o algún tipo de información que pueda identificar inconvenientes de consumo, así como tampoco la toma de lecturas en tiempo real, conociendo en todo momento el comportamiento de la instalación y la energía que consume la residencia. Esta nueva tecnología posibilita interactuar con el cliente, con novedosas alternativas para lograr monitorear el uso energético.

#### **2.1.2.Formulación del problema:**

Al no poseer un prototipo de medidor digital implica un desconocimiento de la energía que se consume en tiempo real, los cuales deben ser analizados y evaluados para determinar el consumo energético de una residencia.

## **2.2.OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 330606 Fabricación de equipo eléctrico.

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 330602 Aplicaciones Eléctricas.

330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 330601 Utilización de la Corriente Continua.

### **2.3.BENEFICIARIOS:**

#### **2.3.1.Beneficiarios directos**

Los beneficiarios directos son los usuarios residenciales que ocupan la energía eléctrica.

#### **2.3.2.Beneficiarios indirectos**

Los beneficiarios indirectos de esta propuesta tecnológica son los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, para que realicen pruebas y análisis del consumo de energía para un sistema monofásico bifilar.

### **2.4.JUSTIFICACIÓN:**

La iniciativa esencial de desarrollar esta tesis parte de plantear la mejora y evolución de los medidores de consumo de energía, puesto que en su mayoría son equipos análogos las cuales presentan fallos por su desgaste mecánico, ocasionando fallas de medición y la inconformidad en los usuarios al registrarse errores en la facturación mensual. Además de incentivar a las empresas eléctricas suministradoras de energía a buscar estrategias rentables para mejorar la calidad de servicio y la operación de monitoreo.

El presente proyecto plantea diseñar y construir un medidor digital para observar el consumo de energía eléctrica residencial, con el fin de mejorar el monitoreo de consumo energético, adaptándola a las necesidades de la era digital. Esta nueva tecnología permite una interacción con el usuario, pudiendo observar parámetros como la energía consumida, nivel de tensión, corriente y potencia, posibilitando la generación de información primordial para que los usuarios logren cambiar sus hábitos de consumo, permitiéndole monitorear y gestionar su demanda la cual implica un ahorro económico significativo.

Finalmente, con uso del prototipo de medición digital se realizará una comparativa con la lectura de la medición de energía convencional, con la que nos permitirá conocer los datos de la demanda en tiempo real, cuantificar la cantidad de energía que se transmite y se factura, para realizar un análisis entre los datos obtenidos del prototipo con los resultados del medidor instalado de la empresa eléctrica.

## **2.5.HIPÓTESIS**

Es posible diseñar y construir un prototipo de medidor digital para determinar el consumo de energía eléctrica residencial.

## **2.6.OBJETIVOS:**

### **2.6.1.Objetivo General**

Diseñar y construir un prototipo de medidor digital mediante el uso de la tarjeta Arduino Mega 2560 para determinar el consumo de energía eléctrica residencial de un sistema monofásico bifilar.

### **2.6.2.Objetivos Específicos**

Investigar las características, arquitectura y componentes mediante el análisis de fuentes bibliográficas que integren la estructura de un medidor digital para un sistema monofásico bifilar.

Diseñar el prototipo de medidor digital en el software ISIS Proteus para verificar su correcto funcionamiento.

Construir el prototipo de medidor digital mediante el uso de la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 basado en el diseño establecido.

**2.7.ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS**

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividades (tareas)</b>	<b>Resultado de la actividad</b>	<b>Técnicas, medios e instrumentos</b>
Investigar las características, arquitectura y componentes mediante el análisis de fuentes bibliográficas que integren la estructura de un medidor digital para un sistema monofásico bifilar.	Indagación de investigaciones y análisis de fuentes bibliográficas, acerca de las metodologías y técnicas usadas para desarrollar la arquitectura de un prototipo de medidor digital.	Obtención de información clara y precisa en metodologías y especificaciones técnicas de los factores que inciden en el prototipo del medidor digital.	Tesis Revistas tecnológicas Artículos Documentos
Diseñar el prototipo de medidor digital en el software ISIS Proteus para verificar su correcto funcionamiento.	Elaboración del diseño del prototipo de medición electrónica digital en el software establecido.	Selección de la tecnología más adecuada a los requerimientos presentes en el diseño del prototipo a construir.	Simulaciones Software ISIS Proteus Software Arduino
Construir el prototipo de medidor digital mediante el uso de la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 basado en el diseño establecido.	Conocer los componentes necesarios para realizar el procesamiento de datos y el sistema para medir los valores eléctricos.	Pruebas, construcción, registros y análisis del consumo de energía eléctrica a través del prototipo de medidor digital como el voltaje, corriente, potencia y la facturación.	Fotos Componentes Prototipo Registro de mediciones

### 3.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1.ANTECEDENTES

En el actual mercado de la energía se ha venido notando la preocupación del mercado eléctrico y los diversos usuarios sobre el ahorro de la energía eléctrica por lo que es muy común escuchar el término de uso racional de la energía eléctrica. Por tal motivo se han venido desarrollando nuevos sistemas o métodos que permitan realizar ahorro de energía eléctrica en los hogares los cuales se han realizado a partir del control de los dispositivos de medición de energía eléctrica. Actualmente es necesario tener un mejor control de la energía eléctrica tanto el usuario como la compañía de suministro siendo que los medidores digitales de energía de servicio eléctrico son más exactos que los analógicos, además tienen la capacidad de almacenar datos y comunicarse con distintos sistemas electrónicos [1].

En el trabajo de “*Diseño y Construcción de un prototipo para el control de consumo de energía eléctrica residencial*”, en [2] se muestra que el desarrollo del prototipo se utilizó un microcontrolador Motorola GP32 programado bajo el lenguaje assembler, un medidor análogo monofásico bifilar, el cual se parametrizó sometiendo ante diversas demandas de energía, se le ensambló un seguidor de línea CNY70 el que será el encargado de visualizar los movimientos del disco; cabe anotar que para el diseño de este se tuvo en cuenta las condiciones técnicas establecidas por la CREG y las demás determinaciones legales vigentes, ya que uno de los principales resultados esperados a largo plazo es concientizar al cliente mediante la interacción con el medidor por medio de ingreso de información solicitada por el dispositivo de control, obteniendo optimización del consumo, reducción de este y beneficios de costos para comercializadores y usuarios finales, así mismo la empresa reduce tiempos muertos de cuadrillas de corte y reconexión.

En el trabajo de “*Diseño de un medidor eléctrico digital de prepago*”, en [3] se muestra que emplea un microcontrolador, un sensor de energía, un reloj de tiempo real, un teclado, una pantalla de cristal líquido y un relevador en conjunto con un programa de computadora que genera las claves encriptadas. El microcontrolador obtiene del sensor de energía la cantidad de energía consumida por el usuario, así como también mediciones de corriente, voltaje y potencia real. En base a estas mediciones calcula los valores de potencia aparente ( $S$ ) y de factor de potencia ( $fp$ ) que son mostrados en la pantalla de cristal líquido a petición del usuario empleando el teclado.

En el trabajo de “*Desarrollo de un prototipo de medidor de energía prepago*”, en [4] se muestra que tiene como finalidad el diseño, construcción y funcionamiento de un medidor de energía prepago el cual está conectado a la red eléctrica monofásica, con la finalidad de evitar el hurto de energía y bajar el índice de morosidad de los usuarios en el servicio eléctrico; ya que el prototipo diseñado tiene la capacidad de indicar al usuario mediante la pantalla LCD incorporada valores de tensión, corriente, potencia, y consumo que está generando su domicilio además que puede observar el saldo que dispone en su medidor para que así cuando lo requiera pueda realizar su recarga de forma anticipa para que exista un corte del servicio eléctrico.

En el trabajo de “*Diseño e implementación de un medidor de energía electrónico para vivienda, con orientación a la prevención de consumo y ahorro energético*”, en [5] se muestra que el diseño e implementación un medidor electrónico para una vivienda es para el fin de prevenir el consumo y ahorro energético, monitoreando desde un sitio web o a su vez mediante un mensaje de texto, para llevar a cabo el proyecto se utilizó un ordenador de placa reducida Raspberry Pi y una plataforma arduino. El sistema arduino se encargará de procesar los datos provenientes de los elementos de medición, además a través de un módulo GSM podrá enviar al usuario lecturas de la energía consumida y su respectivo costo en dólares.

### **3.2.IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN ELÉCTRICA**

Medir el consumo de energía eléctrica es un componente fundamental como para toda compañía eléctrica como para sus usuarios. Debido a los medidores de energía eléctrica se puede realizar el control de consumo y localizar algún tipo de fallo en el servicio eléctrico. Con el paso del tiempo, de la mano de nuevas tecnologías, estos medidores han ido evolucionando. La evolución de los medidores va a estar definida por mercado y de las compañías generadoras. En USA se quiere que los medidores apoyen a hacer labores de gestión de fallas de energía e incrementos en la fiabilidad de la red, mientras tanto que en el continente europeo el enfoque es más grande entorno hacia el cumplimiento de regulaciones obligatorias y en el incremento de capacidades para favorecer al cliente en la gestión de su consumo [6].

El control de la energía eléctrica es una pieza clave en el desarrollo económico, los medidores deben encontrarse en buenas condiciones y calibrados para censar la cantidad exacta de energía que se consume. Como se observa en la Figura 3. 1 con respecto al crecimiento del consumo energético para el sector residencial, en el periodo de 2019 – 2027 se espera alcanzar un valor promedio de 3.7%, con un valor total esperado de 10.256 GWh al 2027 hasta ese año [7].

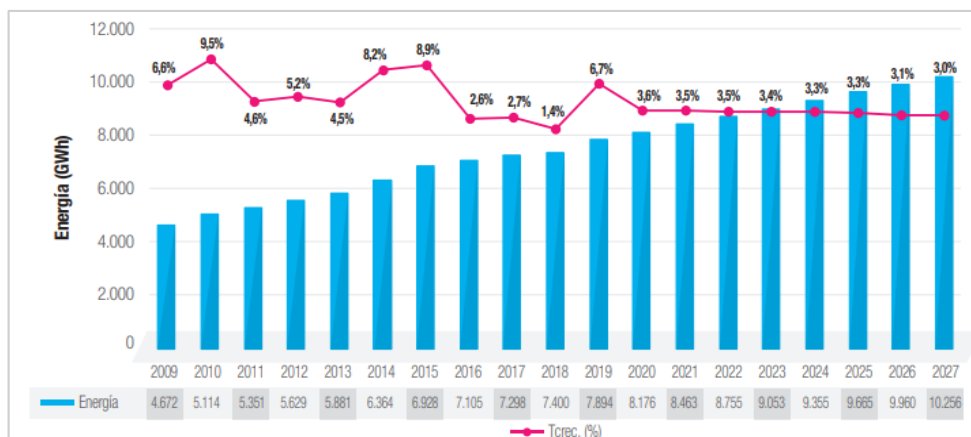


Figura 3. 1. Evolución histórica y proyección del consumo del sector residencial [8].

### 3.2.1. Tarifa eléctrica en Ecuador

#### 3.2.1.1. Categoría general

Corresponde al servicio público de energía eléctrica que es destinado por el consumidor a actividades diferentes al uso doméstico (categoría residencial), básicamente comprende el comercio, la industria y la prestación de servicios públicos y privados.

#### 3.2.1.2. Categoría residencial

Corresponde al servicio público de energía eléctrica destinado exclusivamente al uso doméstico de los consumidores; es decir, en la residencia de la unidad familiar independientemente del tamaño de la carga conectada. En esta categoría se incluye a los usuarios de bajos consumos y de escasos recursos económicos, que tienen integrada a su residencia una pequeña actividad comercial o artesanal.

Se calculará de acuerdo a la tarifa general de consumo para clientes residenciales determinado por el ARCONEL en la Tabla 3. 1 se muestran las obligaciones tarifarias para consumidores residenciales [9].

### 3.2.2. Tarifa general para consumidores residenciales

De acuerdo a [9] se aplica a todos los consumidores sujetos a la categoría residencial, independientemente del tamaño de la carga conectada. El consumidor debe pagar:

- Un cargo por comercialización de USD \$1.414, independiente del consumo de energía.
- Cargos incrementales por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida.

Dependiendo del rango de consumo que se especifica en la Tabla 3. 1 se procederá al cálculo de la cantidad de kilovatios consumidos por el valor del rango de consumo, a esto se sumará el valor de comercialización y el 10% del consumo por servicio de alumbrado público [9].

**Tabla 3. 1.** Cargos tarifarios únicos para consumidores residenciales [9].

<b>Rango de Consumo</b>	<b>Energía (USD/kWh)</b>	<b>Comercialización (USD/Consumidor)</b>
<b>Categoría</b>	<b>Residencial</b>	
Nivel de Consumo	Bajo y Medio Voltaje	1,414
1-50	0,091	
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	

### 3.2.2.1. Facturación mensual por el servicio de energía eléctrica

La correcta aplicación de estas tarifas estará a cargo de la distribuidora en su área de prestación del servicio. La actualización de la información referente a las características de carga y del uso de la energía eléctrica, que se derive del informe técnico de la distribuidora, deberá ser informada, oportunamente, al consumidor regulado [10].

El servicio público de energía eléctrica considera dos categorías de tarifas, que depende de las características del consumidor: residencial y general; y, de las características del punto de entrega, se establecen tres niveles de voltaje: bajo, medio y alto voltaje.

### **3.2.2.2.Subsidios para tarifas residenciales**

A lo largo de la historia los subsidios han sido tema de polémica pues ninguno de ellos se encuentra eficientemente enfocado más allá de ser política social de gobierno siempre hay desviaciones en aplicar un correcto subsidio especialmente cuando no existe una gestión eficiente que regule y norme la distribución [11].

### **3.2.3.Subsidio cruzado para usuarios residenciales**

Art. 59.- Subsidios.- Si por circunstancias de carácter social o económico, el Estado hubiere otorgado o decidiera otorgar compensaciones, subsidios o rebajas directos y focalizados en el servicio público de energía eléctrica, a un determinado segmento de la población, mediante leyes, o políticas sectoriales, o si por intermedio de ARCONEL, aprobare o hubiere aprobado pliegos tarifarios que se ubiquen por debajo de los costos del servicio público de energía eléctrica, los valores que correspondan a estos subsidios, compensaciones o rebajas serán cubiertos por el Estado ecuatoriano, y constarán obligatoriamente en el Presupuesto General del Estado [11].

El promedio de los consumidores para que puedan aportar con el subsidio es superior a los 70 kWh/mes, por tanto, esta medida está focalizada con los sectores sociales de mayor poder económico como son los quintiles 4 y 5 de la población.

El Subsidio Cruzado es un subsidio exclusivo de las empresas eléctricas en el que dependiendo del nivel de energía consumida mensual puede aplicarle una de las siguientes opciones:

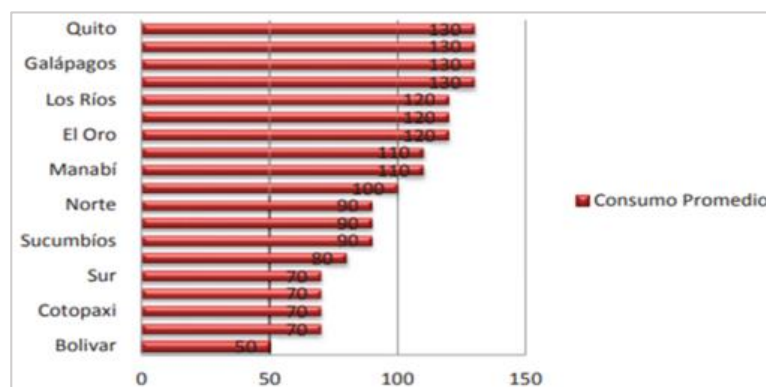
- a) Ser beneficiario de este subsidio.
- b) No recibir ni aportar ningún valor.

Aportar con un porcentaje del costo total por servicio público de energía eléctrica para que otros se beneficien del subsidio.

Este subsidio se sustenta conforme el Artículo 59 de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE): Los consumidores o usuarios finales residenciales de bajo

consumo podrán ser subsidiados por los restantes consumidores o usuarios finales residenciales, de conformidad con la regulación que para el efecto emita el ARCONEL [12].

Por tanto, como es el objetivo del subsidio cruzado los usuarios de bajos consumo serán subsidio por los usuarios de mayor consumo dependiendo su zona geográfica como se puede observar en la Figura 3. 2.



**Figura 3. 2.** Consumos promedios dependiendo a la zona geográfica [10].

Para el cálculo del subsidio cruzado se debe sumar los valores de: Valor de consumo más el valor de comercialización, de esta cantidad se obtiene el diez por ciento tal como lo estipula la ley.

**Subsidio cruzado**

$$= \text{Valor de consumo} + \text{Valor de la comercialización} \quad (3.1)$$

$$* (10\%)$$

La tarifa residencial va desde \$ 0,093, \$ 0,097 o \$ 0,6812 etc., por kWh, a eso se le suman valores como comercialización. Y los valores de comercialización pueden variar de \$ 1,414 hasta los \$ 7, dependiendo del consumo del usuario [13],[14].

### 3.2.4. Tarifa de dignidad para usuarios residenciales

Esta tarifa aplica a usuarios del sector residencial determinada para favorecer a la población más vulnerable del Ecuador, implantando con un costo por consumo de servicio eléctrico de USD 0,04 por kilovatios/hora – mes. Los límites de consumo para la aplicación a los usuarios residenciales y valores del subsidio, se de acuerdo a la frecuencia de consumo  $FC_E$  es igual a

12 meses en el que el consumo de energía eléctrica  $C_E$  del usuario estuvo dentro del Límite de Consumo limite establecidos [9].

Se considera el Historial de Consumo de los últimos 12 meses, incluyendo el mes de facturación en análisis para poder ser beneficiado por esta tarifa.

$$FC_E \geq 11 \text{ meses de 12} \quad \text{Accede al subsidio} \quad (3.2)$$

$$FC_E < 11 \text{ meses de 12} \quad \text{No Accede al subsidio} \quad (3.3)$$

#### Límites de Consumo

- a) En las empresas distribuidoras de la región Sierra con consumos de hasta 110 kWh-mes, (limite=110kWh).
- b) Para las empresas distribuidoras ubicadas en la Costa, Oriente y Región Insular con consumos de hasta 130 kWh-mes, (limite=130kWh) [15].

### 3.2.5. Tarifa de adulto mayor para usuario residenciales

Ley Orgánica de las Personas Adultas Mayores. - Art(s). Art(s). Art. 13.- De los beneficios no tributarios, indica que las personas adultas mayores, gozarán de los siguientes beneficios. Exoneración del 50% de las tarifas de transporte aéreo, terrestre, marítimo y fluvial y de las entradas a los espectáculos públicos, culturales, deportivos, artísticos, paquetes turísticos y recreacionales. Además, tendrán acceso gratuito a los museos. La Exoneración aplica si el propietario del medidor tiene 65 años cuyo consumo mensual sea de hasta 138 KW/hora [16].

#### a) Cargo por comercialización

Este rubro es independiente del consumo de energía y su costo equivale a 1,414 USD.

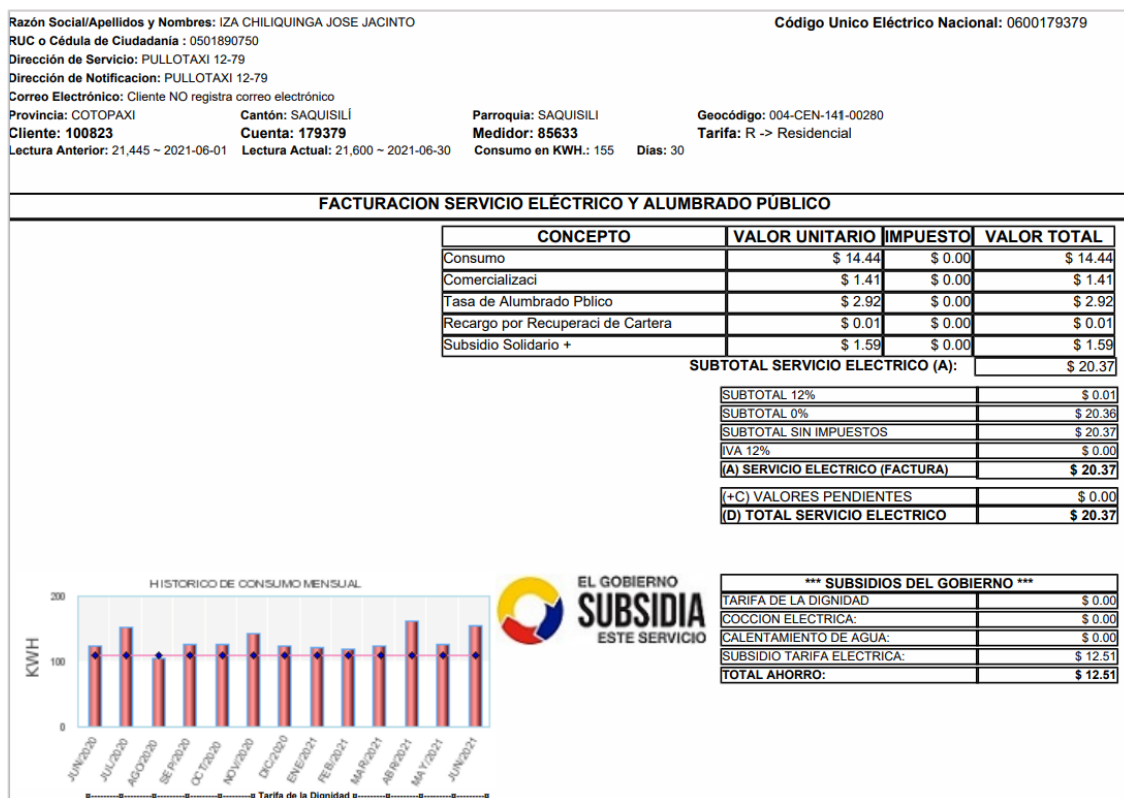
#### b) Alumbrado Publico

Es un recargo porcentual obtenido del total del consumo de la energía mensual facturada, mismo que es regulado por ARCONEL y es responsabilidad de la Distribuidora.

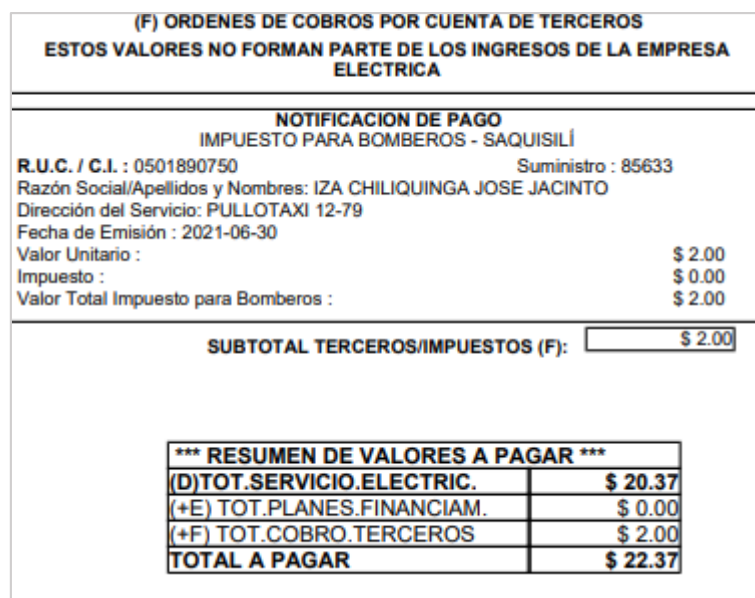
#### c) Abonado para el cuerpo de Bomberos

Este monto toma en cuenta el 0.5% del salario mínimo unificado en el Ecuador que es 400\$ los mismos valores serán reflejados en la planilla [17].

En la figura 3.3 se muestra la el pliego tarifario aplicado a la residencia de estudio, la tarifa escalonada de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi (ELEPCOSA) para usuario residenciales del cantón Saquisilí.



(a) Facturación servicio eléctrico y alumbrado público.



(b) Ordenes de cobros por cuenta de terceros

Figura 3. 3. Planilla de energía eléctrica de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. ELEPCOSA.

### **3.2.6. Consumo eléctrico en el hogar**

El kilovatio hora (kWh, equivalente a mil vatios-hora) es la unidad de medida estándar usada por las compañías eléctricas para medir el consumo eléctrico. Este consumo es medido por contadores eléctricos homologados en el ingreso del circuito eléctrico de cada hogar, tomando como alusión una instalación que cumpla con el reglamento de baja tensión. Las pérdidas causadas por nuestras instalaciones en sí son despreciables, por consiguiente, el consumo eléctrico de un hogar vendrá dado por la suma de los consumos particulares de los circuitos conectados.

En corriente continua, el producto acumulado de la tensión y la corriente da una forma directa de medición de la potencia consumida. No obstante, para corrientes alternas, con esta táctica (para valores eficaces) se obtendría la llamada potencia aparente. Esta energía aparente es la suma de las llamadas energías activa y reactiva, siendo la primera la que realmente refleja la energía que está siendo consumida de manera eficaz en casa [11].

### **3.3. MEDIDORES ELÉCTRICOS DE USO RESIDENCIAL**

Los medidores de energía eléctrica son los dispositivos más significativos en la venta, lo que supone que la selección de un medidor se lo debería hacer anterior un estudio de tal modo que se logre evadir cualquier error, que paralelamente se puede transformar en pérdidas así sea para las organizaciones proveedoras del servicio o para los usuarios. Un medidor de energía es una herramienta designada a medir la energía consumida por los consumidores, por unión de la potencia respecto al tiempo. La energía es una función no sólo del producto de la corriente y la tensión, sino además del tiempo y de las condiciones en las cuales estas magnitudes hayan actuado [18].

#### **3.3.1. Clasificación de los medidores de energía eléctrica**

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

##### **a. De inducción (electromecánico)**

Consta de un disco de inducción con registrador tipo reloj o ciclométrico, donde el número de vueltas de su disco es proporcional a la energía activa consumida por la carga. El disco de aluminio gira entre los entrehierros de dos electroimanes, uno de muchas vueltas y alambre delgado conectado en paralelo a la tensión de línea llamado bobina “voltimétrica” y otro de

pocas vueltas y alambre grueso conectado en serie con la corriente de línea llamada bobina “amperométrica”. El eje del disco del medidor está asociado a un engranaje sin fin que produce el accionamiento de un contador mecánico o numerador, siendo este finalmente el indicador de energía [18].

**Ventajas:**

- Vida útil bastante larga.
- Bajo costo.

**Desventajas:**

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



**Figura 3. 4.** Medidor Electromecánico [16].

**b. Electrónico**

Poseen memoria no volátil para almacenar datos referidos al comportamiento del sistema. También están adaptados para implementar un sistema de energía prepago que tienen bastante aceptación por parte de los distribuidores porque permite un mejor control de los pagos del cliente y evita el corte y reconexión del suministro por parte de la empresa concesionaria. El principal componente del medidor es el microprocesador con una Unidad de Control

Multipunto (MCU), este es un circuito integrado, usado para el procesamiento de datos. La señal es recibida por el chip de medición, el cual realiza la integración de las señales de tensión y de corriente [18].

**Ventajas:**

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

**1. Por el tipo de energía que miden**

- Medidores de energía activa.
- Medidores de energía reactiva.

**2. Por el tipo de servicio**

- Medidor monofásico de dos hilos.
- Medidor monofásico de tres hilos.
- Medidor bifásico de tres hilos.
- Medidor trifásico de cuatro hilos.



**Figura 3. 5.** Contador Electrónico [17].

### c. Medidores inteligentes

Los medidores electromecánicos convencionales fueron la caja registradora de las empresas de servicios públicos durante la mayor parte de su historia. A nivel residencial, estos medidores simplemente registraban la energía total consumida durante un periodo de tiempo, normalmente un mes. Los medidores inteligentes son dispositivos programables de estado sólido que realizan muchas más funciones, incluyendo la mayoría o todas las siguientes:

- Precios basados en el tiempo.
- Datos de consumo para el consumidor y la empresa de servicios públicos.
- Medición neta.
- Notificación de pérdida de energía (y su restablecimiento).
- Operaciones de encendido/apagado a distancia.
- Limitación de la carga con fines de "mal pago" o de respuesta a la demanda.
- Control de la calidad de la energía.
- Detección de manipulación y robo de energía.
- Comunicaciones con otros dispositivos inteligentes en el hogar.



**Figura 3. 6.** Un moderno medidor inteligente de estado sólido (izquierda) y un antiguo medidor electromecánico de vatios-hora [9].

Y un medidor inteligente es un medidor ecológico porque permite la respuesta a la demanda que puede conducir a la reducción de emisiones y de carbono. Facilita una mayor eficiencia

energética, ya que se ha demostrado que la mera información hace que los consumidores reduzcan su consumo [19],[20].

### **3.3.2.Componentes de un medidor digital**

#### **3.3.2.1.Microcontrolador**

Son construcciones pequeñas, que unen circuitos programables que tienen la posibilidad de llevar a cabo las labores que fueron grabadas en su memoria. En un microcontrolador se puede encontrar 3 unidades funcionales: la unidad de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida; de la misma forma que se puede ver en una PC, entonces puede decirse que un microcontrolador es una microcomputadora que está encapsulada en un circuito incluido. Las aplicaciones de los microcontroladores son distintas y bastante amplias, es común encontrarlo en robótica y automatismo, en las telecomunicaciones, en casa y en la industria, etc., como para aplicaciones de control de sensores entre otros [21].

#### **3.3.2.2.Sensores de corriente alterna**

Los sensores de corriente fueron creados con el fin de poder medir o monitorear la corriente alterna en diferentes procesos de la vida diaria. En dichos sensores se integran: lineales, ajustables, de balance nulo y digitales. Los sensores de corriente digitales tienen la posibilidad de hacer sonar una alarma, arrancar un motor, abrir una válvula o desconectar una bomba. Referente a los sensores de corriente lineales reduplican la manera de la onda de la corriente tomada y podría ser usada como un factor de contestación para el control de un motor o regular la proporción de trabajo que hace una máquina. Dichos sensores tienen la posibilidad de dividirse en 4 tipos diferentes, todos éstos poseen sus propias propiedades y aplicaciones determinadas [18] Los tipos sensores son:

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

Los sensores de corriente usados para la medición de corriente alternan, son en especial útiles para realizar la medición del consumo o generación de electricidad de un inmueble u hogar. En funcionamiento como un transformador por el principio físico de inducción electromagnética [18].



mediante una relación de costo beneficio seleccionarlas para un proyecto determinado, en la Tabla 3. 2 se muestra un resume de las características de la arquitectura del Arduino Mega comparado con las principales plataformas de desarrollo, estas poseen diferentes especificaciones por lo que conocerlas resulta útil, además se debe tener muy en cuenta la comunidad ya que es un factor a considerar al momento de buscar documentación.

**Tabla 3. 2.** Comparación entre plataformas.

MODELO	ARDUINO MEGA 2560	RASPBERRY PI PICO	DSPIC 30F	PLC SIEMENS S7-200
PRECIO	20\$	25\$	20\$	700\$
POTENCIA	ATmega 2560 a 16MHz Y 10bits	Dual-core Arm Cortex MO+ a 133MHz y 16bits	RISC a 30MIPS Y 16bits	400 bloques de memoria
LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN	Arduino C++	C++/MicroPython	MAPLAB XC16 C	EI LADDER
COMPONENTES	54 x pines multifuncionales, incluyendo 16 entradas analógicas 4 x UART 1 x SPI 1 x I2C 6 x Canales PWM 1 X USB Mini-B	26 x pines multifuncionales, incluyendo 3 entradas analógicas 2 x UART 2 x SPI 2 x I2C 16 x Canales PWM 1 X USB Mini-A	40 x pines multifuncionales, incluyendo 1 entradas analógicas 2 x UART 1 x SPI 1 x I2C 4 x Canales PWM 1 X USB Mini-B	CPU 1214 AC/DC/ relay 14 x entradas digitales 24 x Salidas digitales 2 x Entrada Analógicas 1 x LAN
ALIMENTACIÓN	Voltaje de entrada 7 a 12V Voltaje de trabajo 5 y 3.3V	Voltaje de entrada 1.8 a 5.5V Voltaje de trabajo 3.3V	Voltaje de entrada 2 a 5.5V	Voltaje de entrada 120 a 230V Voltaje de trabajo 24V, 5V y 15V
SOFTWARE	Libre	Libre	Paga	Paga
COMUNIDAD	Más Documentación	Documentación	Poca documentación	Poca documentación

El uso de microcontroladores como de PLC's brindan un buen sistema, pero su alto costo responde a necesidades que requiere el mercado industrial especialmente en procesos de automatización [23]. El DsPIC en sí, es una marca más comercial y como tal, tiene una mayor complejidad al momento de programarlo, debido a que requiere de un mayor grado de preparación para poder usarlo de manera correcta este controlador posee una sola entrada analógica por lo que se dificulta en desarrollos que requieren más de una entrada [24]. Las grandes ventajas de una Raspberry Pi como arquitectura hardware son: su alta capacidad de proceso en relación a su tamaño y su escaso costo, su lenguaje de programación amigable, el único inconveniente es que su voltaje de trabajo es de 3.3V y en la actualidad la mayoría de los sensores trabajan con 5V [25]. Arduino viene siendo el módulo de programación más popular o conocido por los programadores, además esta plataforma de creación de electrónica es de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores, siendo un dispositivo ideal para realizar proyectos que requieren poco tiempo, esta arquitectura posee una excelente cantidad de pines analógicos y digitales que son compatibles con un sin número de módulos y sensores, además algunas son acondicionadas para esta placa de desarrollo, se encuentra con facilidad en el mercado [22].

#### **3.4.1.Librerías de Arduino**

Las librerías proveen funcionalidad extra a nuestro programa permitiendo ampliar la funcionalidad de los programas (por ejemplo, la capacidad de controlar una matriz de LED, o leer un codificador, etc.). Una librería normalmente contiene tres archivos, un archivo de cabecera (con extensión .h), el código fuente (con extensión.cpp) y otro (con sufijo "keywords"). El archivo de cabecera contiene definiciones para la librería, básicamente un listado de todo lo que hay dentro, mientras que el archivo del código fuente tiene el código real, así mismo el archivo llamado "keywords" contiene palabras claves de la librería. Con los debidos conocimientos podemos crear nuestras propias librerías permitiendo que otras personas utilicen nuestro código [18].

#### **3.4.2.Entorno de desarrollo integrado Arduino IDE**

El software de Arduino es una completa plataforma que nos permite programar el código necesario para controlar el funcionamiento de los sensores que conectamos a la placa. Ya que es posible establecer las instrucciones y los parámetros para controlar su funcionamiento y de esta manera generar nuestros propios proyectos. Al igual que el hardware de Arduino, el

software que necesitamos para programarlo se distribuye libremente, y este solo puede descargar de su web oficial. Se trata de un IDE o Entorno de Desarrollo Integrado [21].

El microcontrolador de la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino que está basado en la plataforma de código abierto wiring. El ambiente de desarrollo de wiring puede ejecutarse en plataformas como Linux, Windows y MacOS gracias a que está desarrollado en Java. Se puede concluir que la plataforma wiring tiene funciones, variables y constantes que encapsulan el desempeño del hardware facilitando la implementación del mismo [18].

### **3.4.3. Protocolos de comunicación**

Un protocolo de comunicación es un conjunto de normas que están ligadas a ejecutarse en todas las maquinas programas que intervienen en una comunicación de datos entre los ordenadores, o con algún otro dispositivo sin las cuales la comunicación resultaría caótica y por lo consiguiente imposible de ejecutar [22].

#### **3.4.3.1. Comunicación serial**

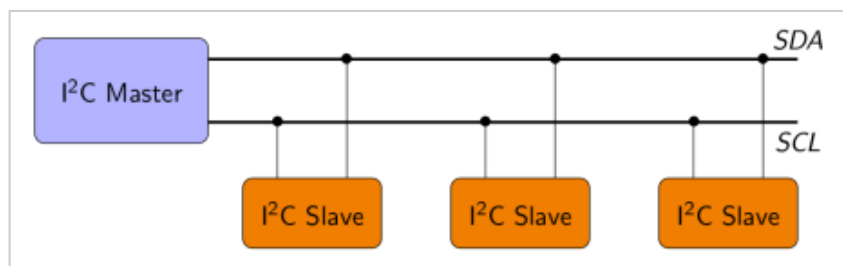
La comunicación serial entre dos dispositivos utiliza básicamente 3 líneas, la línea de recepción de datos (RX), la línea de transmisión de datos (TX) y la línea común (GND), esto puertos proporciona una forma más ideal para comunicar nuestra placa arduino con nuestro computador [22].

#### **3.4.3.2. Comunicación receptora/transmisor asíncrono universal (UART)**

Receptor / transmisor asíncrono universal (UART) es simplemente la unidad de conversión de datos a una secuencia de bits donde posteriormente son transmitidos o recibidos a una velocidad determinada, comúnmente de 8bits. Esta comunicación serial permite el intercambio de una secuencia de bits, donde se transmite bit a bit, aunque es lenta esta comunicación, tiene la ventaja de poder transmitir a distancias mayores y utilizar menos líneas de comunicación. [22].

#### **3.4.3.3. Comunicación síncrona (I2C)**

Este es un protocolo de comunicación síncrono, que usa 2 cables, uno para el rejoy (SCL) y otro para el dato (SDA), lo que indica que el maestro y el esclavo envían datos por el mismo cable, el cual es controlado por el maestro, que crea la señal de reloj [26].

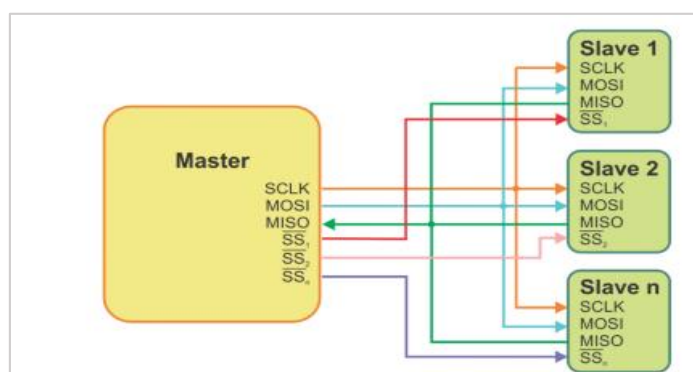


**Figura 3. 8.** Diagrama de comunicación  $I^2C$  entre maestro y esclavos [26].

Como se observa en la Figura 3. 8 el maestro es siempre el dispositivo que maneja la línea del reloj y es el que indica la transferencia, puede haber varios esclavos controlados por un solo maestro, todo depende de la capacidad del dispositivo en cuestión [26].

#### 3.4.3.4. Interfaz de periféricos en serie (SPI)

Es un estándar eléctrico de comunicación síncrono, posee un bus serie bidireccional que puede utilizar tanto tres como cuatro líneas. Una/dos de datos (SDOI/SDI/SDO), una de reloj (CLK) y otra de selección de chip (CS), presenta una velocidad de transmisión superior a la  $I^2C$ , pero utiliza mas pines, esta basada en la dualidad maestro-esclavo, en la que el maestro controla la línea del reloj, inicia las transferencias y puede controlar más de un esclavo. Él ejemplo de la conexión maestro a varios esclavos vía SPI se puede observar en la [26].

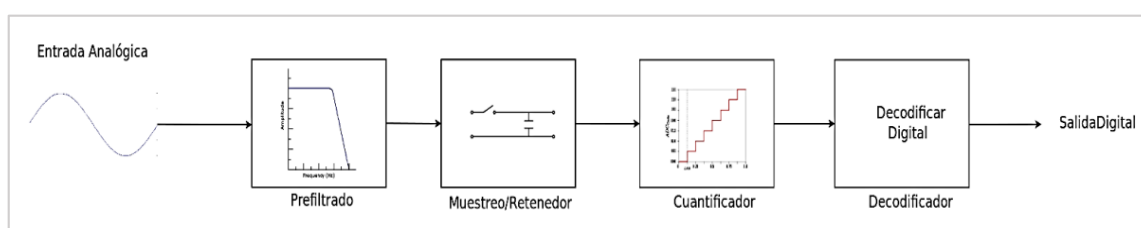


**Figura 3. 9.** Diagrama de comunicación SPI entre maestro y esclavos [26].

#### 3.4.4. Conversión Análogo-Digital

Un convertor analógico-digital es un dispositivo capaz de convertir una señal analógica en un valor binario, en otras palabras, este se encarga de transformar las señales analógicas a digitales (0 y 1). Para compatibilizar la información con un sistema digital, se requiere de

convertidores de datos del tipo ADC. La representación del diagrama de bloques de la Figura 3. 10 muestra la secuencia desde que la variable física (analógica) entra al sistema hasta que es transformada a señal digital (código binario). Para dicha señal ingrese al convertidor análogo - digital, ésta debe ser muestreada, es decir, se toman valores discretos en instantes de tiempo de la señal análoga, lo que recibe el nombre de sampling rate. Matemáticamente es el equivalente a multiplicar la señal análoga por una secuencia de impulsos de periodo constante. Como resultado se obtiene un tren de impulsos con amplitudes limitadas por la envolvente de la señal analógica [27].



**Figura 3. 10.** Conversión análogo–digital [28].

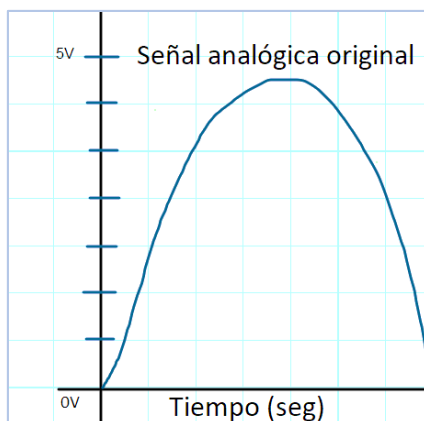
La conversión A/D consta en las siguientes etapas:

#### 3.4.4.1.La frecuencia de muestreo (sample rate)

Indica el número de muestras por segundo que se toman de una señal de entrada analógica (tiempo continuo) para transformarla en una señal de salida digital (tiempo discreto). En cuanto mayor es la frecuencia de muestro, la digitalización de la señal será figurada con mayor calidad y semejante a la original.

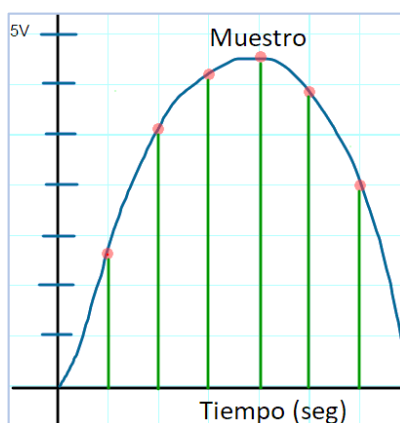
Nyquist, en 1924, demostró que no es necesario enviar todo un ciclo de una señal (una sucesión de infinitos puntos que caracterizan a toda señal analógica) para que del lado del receptor pueda ser interpretada, sino que basta con solo dos muestras por ciclo para que aún se pueda recuperar la señal original [29].

Asumiendo una señal sinodal tal como está en la Figura 3. 11.



**Figura 3. 11.** Señal senoidal de muestreo.

Aplicándole una frecuencia de muestreo definida, sería asumir valores en cada cierto periodo  $T$  en consecuencia finalmente nos queda un número limitado de valores, como en la Figura 3. 12 de la misma senoidal.



**Figura 3. 12.** Señal senoidal muestreada.

Según el Teorema de Nyquist-Shannon o de Muestreo, para poder replicar con exactitud la forma de una onda es necesario que la frecuencia de muestreo  $f_s$  sea superior al doble de la máxima frecuencia  $f_{max}$  a muestrear [28].

$$f_s \geq 2f_{max} \quad (3.4)$$

En el caso de pretender una mayor calidad y constancia de la señal digital, es preciso tomar una mayor cantidad de muestras, a mayor cantidad de muestras mayor es el espacio de almacenamiento requerido.

La resolución es el subsiguiente paso, siempre y cuando se sepa el valor de la entrada a convertir y la cantidad máxima de la salida en dígitos binarios [30].

$$\text{Resolución} = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} \quad (3.5)$$

Donde

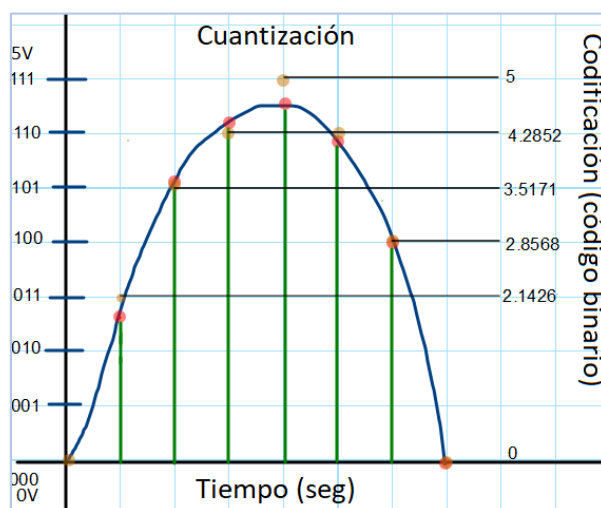
$V_{ref}$  = Voltaje de referencia

$n$  = Numero de bits

La tarjeta Arduino trae un conversor A/D de 10-bits, así que: Resolución =  $V_{ref}/1024$  mapeara los valores de voltaje de entrada, entre 0 y  $V_{ref}$  voltios, a valores enteros comprendidos entre 0 y 1023 ( $2^n - 1$ ). Con esas palabras, los sensores analógicos están especializados con un valor establecido entre 0 y 1023. Si  $V_{ref}$  es igual a 5v, la resolución es alrededor de 5 mV. Por lo tanto, el error en las medidas de voltaje será persistentemente 5 milivoltios [31].

#### 3.4.4.2. Cuantificación

Consiste en medir la amplitud de valores obtenidos y adjudicarles un valor concreto preestablecido según el código binario, un modelo de cuantificación sería con en la Figura 3.13.



**Figura 3.13.** Cuantificación y codificación de la señal senoidal.

A la señal senoidal muestreada se le determina un valor para cada amplitud en este caso para la Figura 3. 13 para una resolución de 3bits (8 combinaciones) y el valor de referencia de 5V. Si el nivel obtenido no coincide fielmente con ninguno, se toma como valor el más próximo. La cuantificación es el último paso de la conversión a una señal continua. Los valores que hemos obtenido ya cuantificados se pasan a un tren de impulsos digitales (unos y ceros). Finalmente el decodificador va ser el que convierta un código específico en datos [32],[28].

### 3.5.DEFINICIONES PARA CÁLCULO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

#### 3.5.1.Potencia Eléctrica

El análisis de potencia es de suma importancia. La potencia es la cantidad más relevante en sistemas de suministro de electricidad, electrónicos y de comunicación, porque tales sistemas involucran la transmisión de potencia de un lugar a otro. De igual manera, cada aparato eléctrico industrial y doméstico, cada ventilador, motor, lámpara, plancha, televisor y computadora personal, tiene una potencia nominal que indica cuánta potencia requiere el equipo. La forma más común de potencia eléctrica es la potencia de ca a 50 o 60 Hz. La elección de la ca sobre la cd permitió la transmisión de potencia en alta tensión desde la planta generadora de energía al consumidor [34].

#### 3.5.2.Potencia instantánea

La potencia instantánea  $p(t)$  absorbida por un elemento es la multiplicación de la tensión instantánea  $v(t)$  en las terminales del elemento y la corriente instantánea  $i(t)$  a través de él, entonces tenemos que:

$$p(t) = v(t)i(t) \quad (3.6)$$

Entonces la potencia instantánea (*en watts*) es la potencia en cualquier instante.

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \quad (3.7)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad (3.8)$$

Donde  $V_m$  e  $I_m$  son las amplitudes y  $\theta_v$  y  $\theta_i$  son los ángulos de fase entre la tensión y corriente [34].

### 3.5.3.Potencia Real

Las tensiones y corrientes periódicas generan una función de potencia inmediata periódica. La potencia real es el promedio en todo el tiempo de la potencia inmediata durante uno o más periodos [34].

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) * i(t) dt \quad (3.9)$$

Esta es la potencia real consumida por los circuitos en consecuencia, cuando se habla de demanda eléctrica es esta potencia la que se utiliza para establecer dicha demanda. En la ecuación en tiempo discreto se convierte en la sumatoria del producto de un determinado número de las muestras de corriente por las muestras de tensión, entonces [34].

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) * i(n) \quad (3.10)$$

Considerando cargas sinusoidales ideales, se puede expresar en términos de corriente y tensión eficaz [34].

$$P = V_{rms} * I_{rms} \cos(\theta) \quad (3.11)$$

### 3.5.4.Valor eficaz o RMS

La tensión y corriente eficaz o valor RMS se define como la raíz cuadrada del valor medio del cuadrado de tensión o corriente en un intervalo de tiempo [35].

$$Y_{rms} = Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y(t)^2 dt} \quad (3.12)$$

El valor eficaz de las funciones  $a \sin wt$  y  $a \cos wt$  durante un periodo es:

$$Y_{rms} = Y_{ef} = V_p / \sqrt{2} \quad (3.13)$$

### 3.5.5.Potencia reactiva

Esta potencia es el producto  $VI \sin\theta$  se llama potencia reactiva y se representa por la letra mayúscula Q. La unida de Q en el sistema mks es el voltio – amper reactivo ( VAR) [35].

### 3.5.6.Potencia aparente y factor de potencia

La potencia aparente (en VA) es el producto de los valores rms del voltaje por la corriente.

Si la tensión y la corriente en las terminales de un circuito son:

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \quad e \quad (3.14)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad (3.15)$$

O, en forma fasorial,  $V = V_m \angle \theta_v$  e  $I = I_m \angle \theta_i$ ; la potencia promedio es:

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (3.16)$$

Donde:

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta_v - \theta_i) = S \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (3.17)$$

Entonces:

$$S = V_{rms} I_{rms} \quad (3.18)$$

El producto  $V_{rms} I_{rms}$  se conoce como potencia aparente (S). El factor  $\cos(\theta_v - \theta_i)$  se llama factor de potencia (fp).

La potencia aparente se denomina de esta forma ya que aparentemente la potencia debe ser el producto voltaje-corriente, por similitud con los circuitos resistivos de CD. Esta potencia se mide en volt-amperes o VA para distinguirla de la potencia promedio o real, la cual se mide en watts. El componente de potencia es adimensional, debido a que es la proporción entre la potencia promedio y la potencia aparente;

$$fp = \frac{P}{S} = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (3.19)$$

El ángulo  $\theta_v - \theta_i$  se llama ángulo del factor de potencia, dado que es el ángulo cuyo coseno es igual al factor de potencia [30].

### 3.5.7. Energía

Para que la potencia, que es la tasa con la que se efectúa un trabajo, produzca una conversión de energía de cualquier forma, debe ser utilizada durante un periodo determinado. Entre mayor sea el tiempo de consumo de un elemento, mayor sea la energía gastada.

La energía (W) perdida o ganada por cualquier sistema se determina, por tanto, mediante:

$$W = Pt \text{ (wattsegundo, Ws, o joules)} \quad (3.20)$$

Como la potencia se calcula en watts y el tiempo en segundos, la unidad de la energía es el watt-segundo es una porción bastante pequeña para la mayor parte de los fines prácticos, por lo cual se define el watt-hora (Wh) y el Kilowatt-hora (kWh) entonces:

$$\text{Energía (Wh)} = \text{Potencia (W)} * \text{tiempo (h)} \quad (3.21)$$

$$\text{Energía(kWh)} = \frac{\text{Potencia (W)} * \text{tiempo (h)}}{1000} \quad (3.22)$$

Como se observar la energía en kilowatts-hora es simplemente la energía en watt-hora dividida entre 1000. Para tener una idea del nivel Kilowatt-hora, considere que el kWh es la energía disipada por un foco de 100W en 10horas [36].

## **4.MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1.METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

#### **a) Métodos de investigación**

Se aplicó en el desarrollo de este tema investigativo los siguientes métodos: analítico y científico.

#### **b) Método Sintético**

Con este método se tiene por objetivo estudiar el diseño y construcción desde la descomposición de cada una de sus partes para analizarlas en un inicio por separado y posteriormente enlazarlas para examinarlas de forma integral, desempeñando así una síntesis.

#### **c) Método Científico**

Este método cuenta con una serie de pasos rigurosos y cuyo fin es formar conocimiento científico a través de la justificación experimental de fenómenos y hechos. Con este método se lleva a cabo una observación para proponer una hipótesis que luego comprobaremos a través de la experimentación finalizando con el objetivo de este documento.

También se hace énfasis a las siguientes técnicas investigativas:

#### **d) Investigación aplicada**

En este caso, el objetivo es hallar estrategias para ser empleadas en el abordaje del tema. Con la investigación aplicada se sustenta de la teoría para forjar conocimiento práctico sobre el diseño y construcción del Medidor.

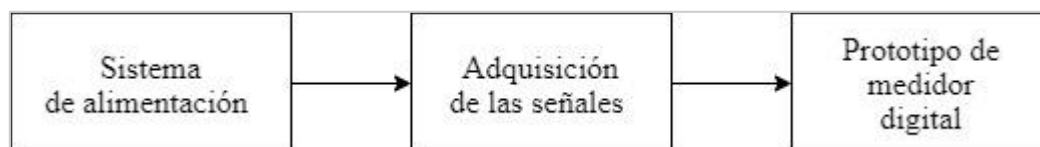
#### **e) Investigación Experimental**

Esta investigación hace referencia al trabajo llevado a cabo con respecto a los procedimientos experimentales para el análisis del comportamiento hasta a la construcción y funcionamiento del medidor digital.

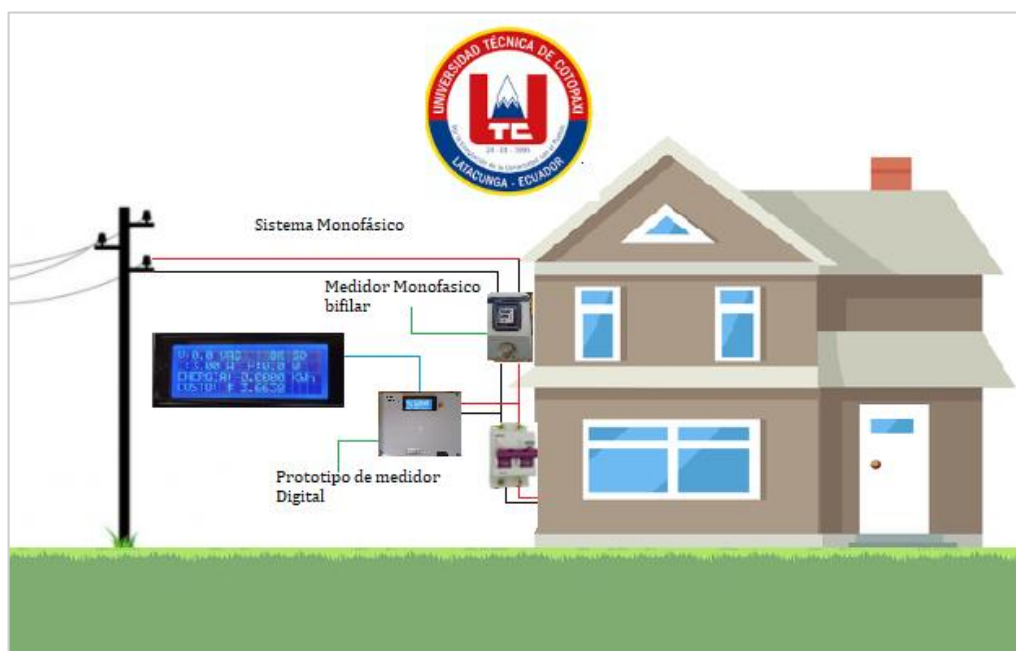
### **4.2.DISEÑO DEL PROTOTIPO**

El diseño del prototipo de medidor para determinar el consumo de energía eléctrica residencial está clasificado en tres etapas primordiales como se puede observar en la Figura 4. 1.La primera etapa consta en desarrollar el sistema de alimentación para alimentar los componentes, la segunda etapa consta de adquisición de las señales con los sensores de tensión y corriente, como también el procesamiento y cálculo del consumo de energía eléctrica que

serán respaldados en una memoria SD, y finalmente la tercera etapa tiene la integración de las dos etapas anteriores para obtener como resultado el medidor de consumo de energía eléctrica residencial, la Figura 4.2 muestra la implementación en la residencia.



**Figura 4. 1.** Etapas del diseño del prototipo de medidor digital.

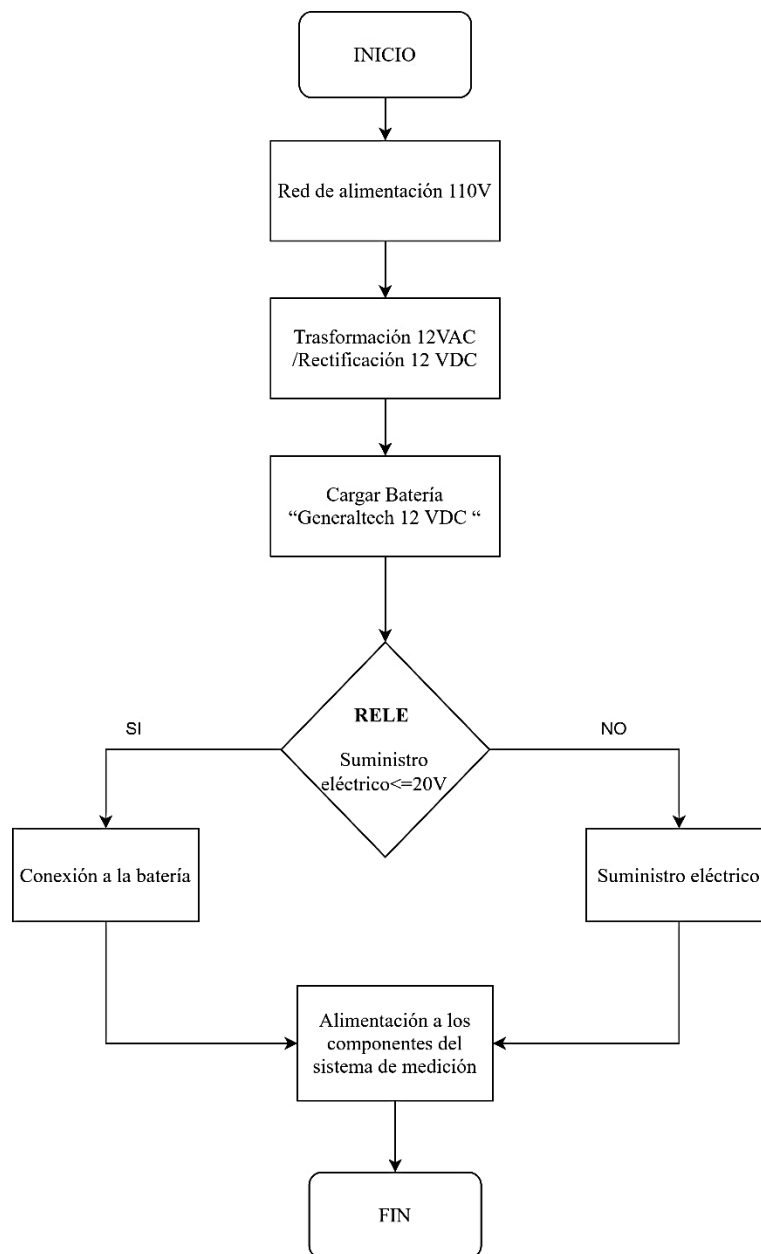


**Figura 4. 2.** Presentación del prototipo de medidor digital en la residencia.

#### 4.2.1.DESARROLLO DEL SISTEMA DE CARGA Y ALIMENTACIÓN

Como se observa en el diagrama de bloques de la Figura 4. 3 en este punto se detalla el sistema que se encargará de alimentar al microcontrolador, el cual consta de una batería y componentes electrónicos que son de mucha utilidad para el funcionamiento correcto del sistema de alimentación. El cual posee un transformador para reducir el voltaje de 110 a 12 voltios, un puente de diodos que se encargan de rectificar la señal alterna a una señal continua requerida por el Arduino y para la parte de carga integra 2 transistores y un diodo Zener para el

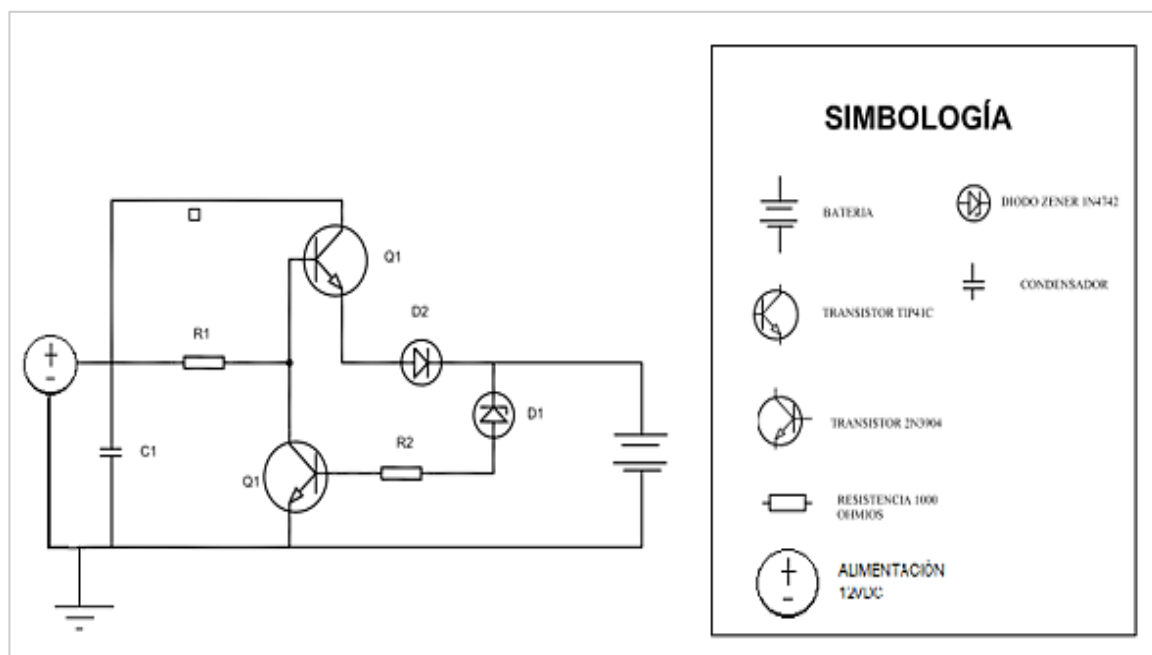
control de carga, este sistema posee un relé el cual se encarga de realizar los cambios de alimentación.



**Figura 4. 3.** Diagrama simplificado del sistema alimentación y carga.

Como se muestra en la Figura 4. 4 el sistema de carga para la batería está integrado por un fusible de 1 amperio que su función es para la protección de cortocircuitos y poco después entra al puente rectificador de diodos que cuando entra 12 voltios de corriente alterna se convierte en 12 voltios de corriente continua, ahora el siguiente proceso viene la carga de la batería que

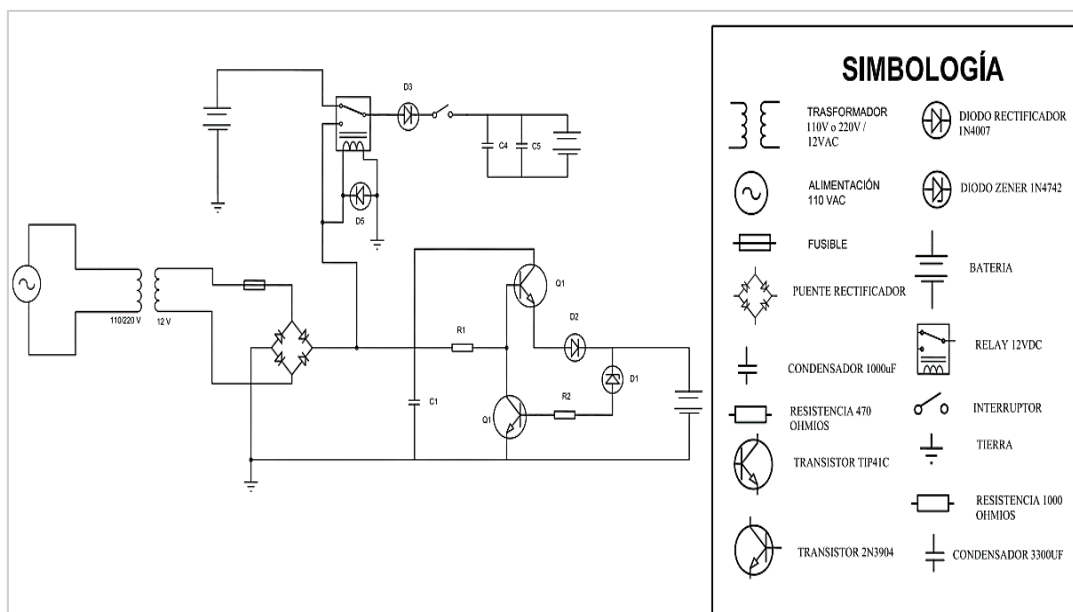
consta de un condensador de  $1000\ \mu F$  este se encarga de filtrar la señal de entrada y una resistencia R1 de 470 ohmios la cual se encarga de limitar la corriente que recibirá la batería, cuanto más bajo sea su valor, mayor será el miliamperaje que reciba; se recomienda tener cuidado al momento de experimentar, para no dañar Q1.



**Figura 4. 4.** Circuito del control y carga de la batería.

La función de los 2 transistores, Q1 para alimentar y Q2 el encargado de desconectarlo cuando la batería esté totalmente cargada. La detección de batería descargada o con carga completa es el diodo Zener para 12 voltios y 0.5 vatios; cuando el diodo Zener detecta que la batería está completamente cargada, polariza la base de Q2 y este a su vez a la base de Q1, es entonces que se lleva a cabo la desconexión para que no siga llegando corriente a la batería y evitar sobrecargas que pueden dañarla.

En la figura Figura 4. 5 Se muestra la siguiente parte que es la encargada de distribuir el voltaje que alimentara al sistema de medición, en esta parte se muestra un relé que se encargara de la apertura de la alimentación, en su puesto caso en el que la red de la vivienda quede desenergizada el relé cambiara automáticamente a la batería, para que el voltaje permanezca constante y para que el arduino no pase por ninguna interrupción de voltaje y se reinicie; entonces el relé es el encargado de alimentar con el voltaje de la red o con la batería.

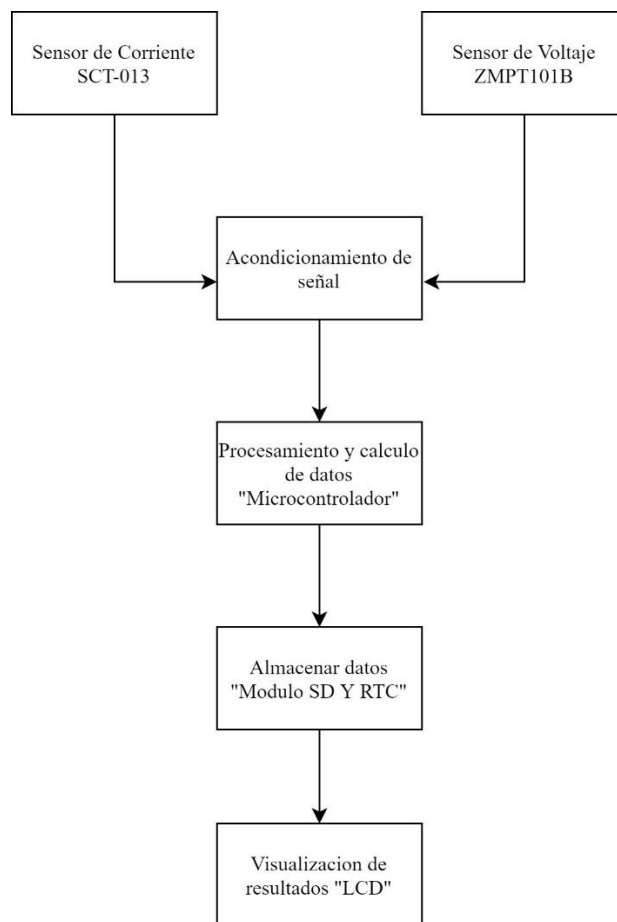


**Figura 4. 5.** Circuito general sistema de alimentación y carga.

También tenemos un diodo D3 encargada de que la corriente vaya en un solo sentido y no se regrese por las corrientes inversas, un interruptor de encendido y apagado general, igualmente dos condensadores de  $4700 \mu F$ , la función de estos será que al instante que se corta la energía eléctrica de la red estos inyectaran una energía almacenada de voltaje hasta que el relé de el paso al funcionamiento de la batería.

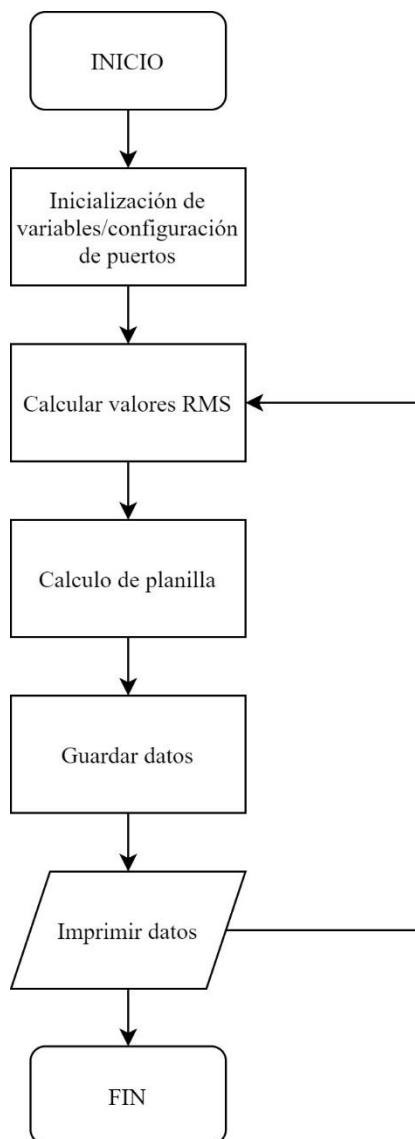
#### 4.2.2.DESARROLLO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

El diseño cuenta con componentes que se encuentran en el mercado, está orientada hacia un sistema monofásico bifilar para medir la energía eléctrica que consume una residencia. La Figura 4. 6 muestra un diagrama de bloques de la placa de medición en general de este sistema la cual está compuesto por:



**Figura 4. 6.** Diagrama de bloques simplificado del sistema de medición a desarrollar.

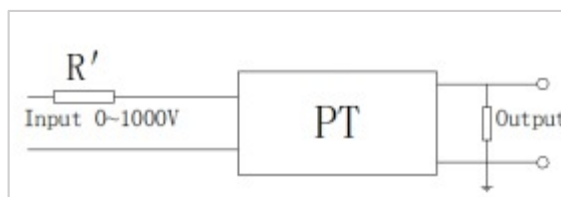
En el diagrama de bloques de la Figura 4. 7 se puede observar el proceso por software a desarrollar para el funcionamiento del sistema de medición, para obtener los datos de voltaje y corriente con el acondicionamiento de la señal de los sensores con el microcontrolador, para posteriormente realizar los cálculos correspondientes para determinar el consumo generado por la carga residencial, además crear una base de datos y visualizar los resultados en la LCD.



**Figura 4. 7.** Diagrama de flujos simplificado del sistema de medición por software.

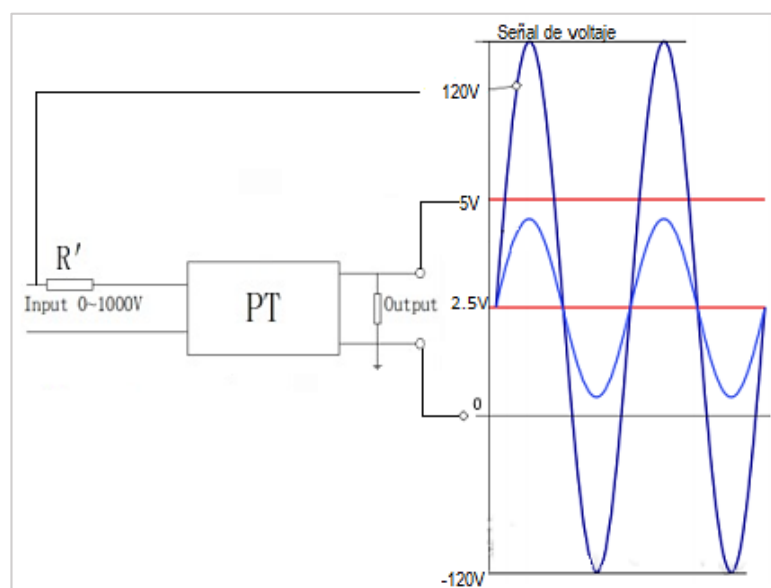
#### 4.2.2.1. Desarrollo para acondicionar la señal y cálculo de la tensión

Para obtener los valores de voltaje se debe implementar un rectificador para suplir las ondas negativas o a su vez atenuar la señal de entrada para poder ingresar al convertor analógico digital (ADC) del microcontrolador, el sensor de voltaje AC ZMPT101B es un módulo para medir voltaje alterno de hasta 250 AC, el módulo entrega una señal referenciada de onda completa de 0 a +5V que la mayoría de microcontroladores pueden leer en su entrada analógica.



**Figura 4. 8.** Esquema del circuito interno de módulo de medición de tensión [37].

En la Figura 4. 8 se puede observar la señal del voltaje de ingreso que posee un valor de entrada 120V alternos al sensor de voltaje y una señal de tensión de 5V continuos obtenida con el esquema de la Figura 4. 9, lo que realiza este esquema es atenuar la señal de voltaje sin afectar la fase y frecuencia. Lo que realiza este sensor de voltaje es transformar la escala para poner la amplitud en 2.5V, luego añade 2.5V para llegar a la escalada de 0 a 5V adaptada para Arduino.



**Figura 4. 9.** Señal de salida del circuito acondicionado para medir el voltaje RMS [37].

En este caso la frecuencia y la amplitud de las señales son datos que se debe considerar, puesto que al tratarse de señales análogas se debe elegir una correcta frecuencia de muestreo con el fin de que no se pierda la información. Considerando la ecuación del teorema de Nyquist-Shannon de la ecuación (3.1) la frecuencia de muestreo debe ser igual a dos veces la frecuencia de la señal original muestreada.

En ese sentido tomando como referencia la frecuencia de la red eléctrica ecuatoriana la cual es de 60Hz en este caso esta frecuencia es la máxima de la señal, por lo tanto, necesitaríamos

una frecuencia de muestreo de mínimo 120Hz para lograr reconstruir todas sus propiedades perceptibles, entonces:

$$f_s \geq 2(60)Hz \quad (4.1)$$

$$f_s \geq 120Hz \quad (4.2)$$

Una vez muestreada la señal, para el cálculo del valor RMS de la señal de tensión en microcontroladores se puede hacerlo de manera más discreta donde aplicaremos la ecuación (4.3) de la raíz cuadrada de la sumatoria de los valores muestreados en el periodo.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} = \sqrt{\frac{v_i^2 + v_{i2}^2 + \dots + v_N^2}{N}} \quad (4.3)$$

Donde:

$v$  = Valor de la muestra tomada

$N$  =Numero de muestras

#### 4.2.2.2.Desarrollo para acondicionar la señal y cálculo de la corriente

Para la adquisición de datos de corriente es necesario la utilización de los sensores SCT-013 puesto que poseen un rango mayor de medición de 0A a 100A, además que son sensores no invasivos similares a una pinza amperométrica, pero se debe tener en cuenta que solo se debe pasar un solo cable en dirección a la carga para obtener los datos de la corriente que circula por el conductor, como se muestra en la Figura 4. 10.



a) Sensor de corriente.

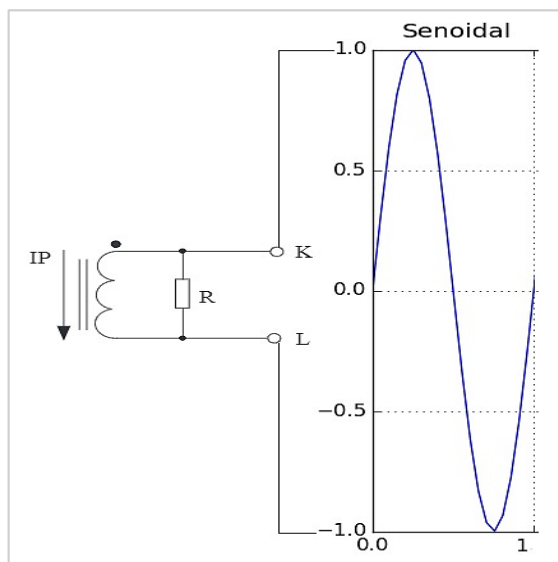


b) Conexión del sensor de corriente.

**Figura 4. 10.** Sensor SCT-013 y su forma de conexión.

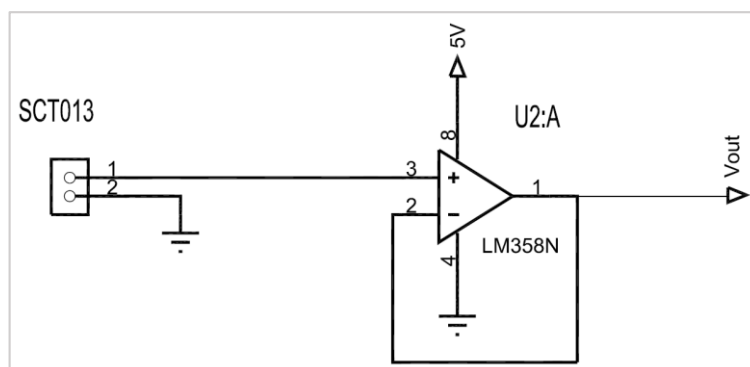
Como se observa en la Figura 4. 11 la salida de este sensor es una señal alterna de  $\mp 1V$ , cuyo valor no está dentro del rango de las entradas analógicas (0 a +5V) del Arduino, si bien la

amplitud del sensor puede ser inferior, la parte negativa de la señal podría ocasionar daños al Arduino.



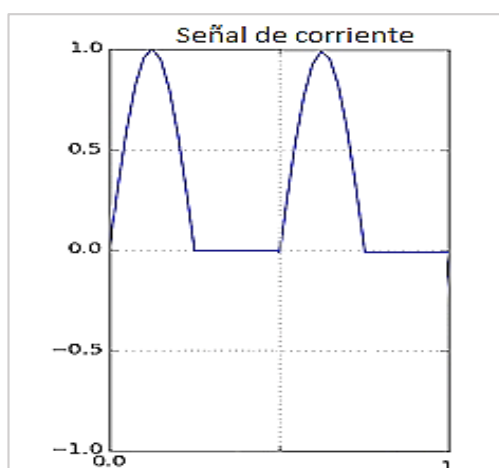
**Figura 4. 11.** Esquema de la señal de salida acondicionada por el circuito del sensor SCT-013 [38].

Para ello se rectifica la entrada y se trabaja con la parte positiva, para rectificar no podemos usar diodos rectificadores, puesto que la caída de voltaje en el diodo es muy grande en comparación al voltaje de la señal. Para esto usamos un amplificador operacional el LM358, configurado como seguidor de voltaje, al trabajar con polaridad positiva eliminará la parte negativa de la señal, al no ser un amplificador de onda completa solo se conseguiría el semiciclo positivo de la señal, pero con la media onda rectificada ya se puede obtener datos del sensor SCT-103.



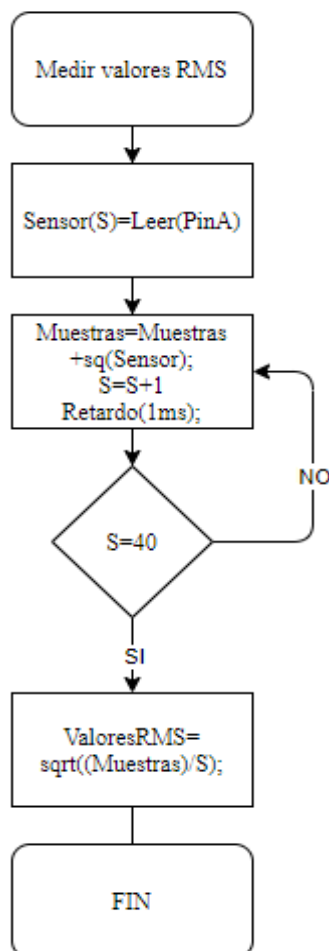
**Figura 4. 12.** Diseño del circuito acondicionador para medir corriente con operacional LM358N.

Para medir el valor de la corriente RMS también se utiliza la ecuación (4. 3) pero aplicada para la corriente, en este caso también hay que tener en cuenta el valor de la frecuencia, la forma de onda y la cantidad correcta de muestreo. Debido a la media onda obtenida por este amplificador como se observa en la Figura 4. 13, los valores calculados serian solo de un medio ciclo, en este caso se realiza un producto por 2 mediante software para completar la onda que falta y así poder aplicar la fórmula para calcular la corriente RMS en tiempo discreto.



**Figura 4. 13.** Señal de salida de la rectificación con el amplificador LM358.

Una vez resuelto el acondicionamiento de la señal, es necesario realizar las operaciones del diagrama de flujo de la Figura 4. 14 para medir el valor RMS de la corriente y voltaje.



**Figura 4. 14.** Diagrama flujo para obtener datos RMS de corriente y voltaje por software.

Para el cálculo del consumo producido por los circuitos de una residencia se utiliza la ecuación (4. 4), esta ecuación de potencia es utilizada para sistemas digitales y microcontroladores.

$$P = \frac{\sum_N [V] * [I]}{N} \quad (4. 4)$$

Donde

N = Numero de muestras.

La ecuación es válida tanto para sistemas que contengan o no armónicos en las señales de voltaje y corriente [39].

Medición del factor de potencia

Una manera de obtener el factor de potencia mediante electrónica es tomar el tiempo entre el cruce por cero de la tensión y la corriente para determinar el factor de potencia.

El dato a tomar es el valor de un punto definido dentro del espectro de valores que arrojan las entradas análogas en esta situación. Entonces el punto referencia e inicio de medición es el cruce por cero de la señal senoidal en una amplitud 0 a 1023, en Arduino este valor en tensión es de 2.5V lo que equivale en decimal a 510.

Esta referencia es llevada a cabo por un filtro de valores, primero se detecta el cruce por cero de la senoidal, una vez que el sensor este en el valor 510 se activara el punto de partida y dejara pasar todos los siguientes valores junto con la programación.

$$FP = \text{COS}(f * dt * 2\pi) \quad (4.5)$$

Donde:

$FP$  = Factor de potencia

$f$  = Frecuencia (Hz)

$dt$  = Diferencia de tiempo entre dos fases

La ecuación (4. 5) se estable para determinar el cruce por cero de la función senoidal de los sensores de voltaje y corriente en micro controladores.

#### 4.2.2.3.Desarrollo para obtener el precio

Con los datos de la potencia ya podemos hallar la energía en kWh que consume la vivienda y posteriormente el costo. Para ello se consideró los rubros de la tarifa emitida por la agencia de regulación y control de la electricidad ARCONEL y de acuerdo a la planilla eléctrica local del Canto Saquisilí de la Provincia de Cotopaxi aplicada a domicilio de estudio en la cual se considera:

Abonado por comercialización = 1,41 USD

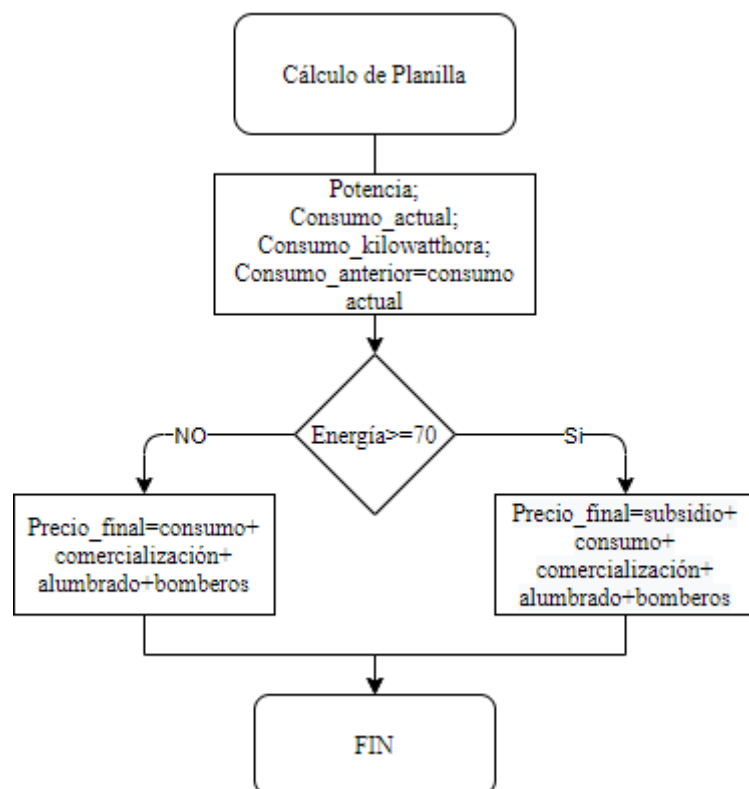
Lectura de consumo energético = kWh

Abonado a bomberos = 2,00 USD

Un subsidio cruzado en caso de haber excedido el consumo promedio local de 70 kWh-mes.

En este caso no se consideró la tarifa del anciano puesto que no aplica y tampoco la tarifa de la dignidad ya que para acceder a esta tarifa se considera un historial de facturación de los últimos 12 meses menores a 110kWh, como el consumo de esta vivienda mostrada en la Figura 3. 3 excede este valor no accedería a esta tarifa. En la figura Figura 4. 15 se muestra el programa

integrado al microcontrolador para realizar las mediciones de energía instantánea y su total acumulado mediante un flujograma.



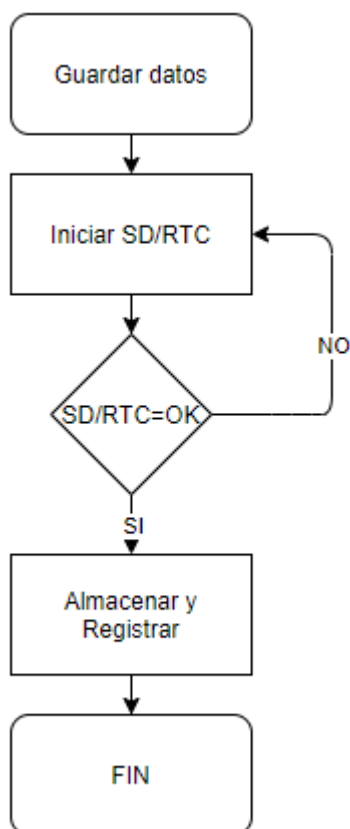
**Figura 4. 15.** Diagrama de flujo para calcular el precio por consumo mediante software.

#### 4.2.2.4. Desarrollo del almacenamiento de datos

Una vez realizada correctamente este proceso de datos consumo y la planilla es necesario respaldar estos datos para realizar un análisis más profundo, para lo cual se acopla un módulo lector de memoria SD que contiene una tarjeta de memoria microSD de una capacidad de 2GB la cual ayuda a almacenar y registrar con la ayuda de un módulo de reloj de tiempo real (RTC) todos los parámetros adquiridos por el sistema de medición. Finalmente se imprime estos parámetros en la pantalla de cristal líquido.

Cabe recalcar que los datos medidos se guardan en una tarjeta de memoria micro SD con el fin de proporcionar una memoria más amplia para almacenarlos además es no volátil, estos datos serán almacenado y el registro lo realiza el reloj de tiempo real en este caso cada segundo, este es un módulo de alta precisión que registra los datos en tiempo real con la podemos visualizar el consumo de la vivienda en determinados periodos, el diagrama de flujo de la Figura

4. 16 muestra el proceso necesario para poder guardar los datos en modulo micro SD con el módulo de reloj de tiempo real acoplada al microcontrolador.



**Figura 4. 16.** Diagrama de flujos para guardar y registrar los datos en la tarjeta micro SD.

#### 4.2.3.DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO

La siguiente arquitectura es la responsable de servir en un punto de conexión de los componentes que se montaran en ella los cuales son:

- Microcontrolador Arduino Mega 2560 R3
- Modulo micro SD
- Reloj en tiempo real
- Sistema de alimentación
- Sistema para medir corriente
- Sensor de voltaje
- Pantalla de cristal líquido 20x4

Este sistema es alimentado por el sistema de alimentación de una entra 12VDC regulada a 5VDC para alimentar a los componentes del prototipo de medición.

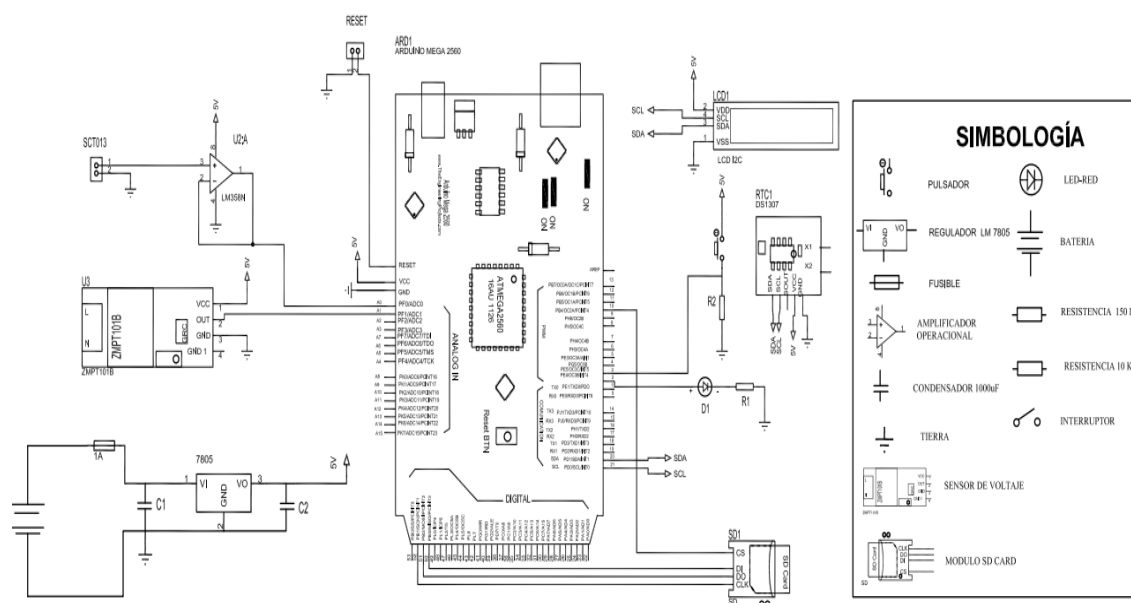
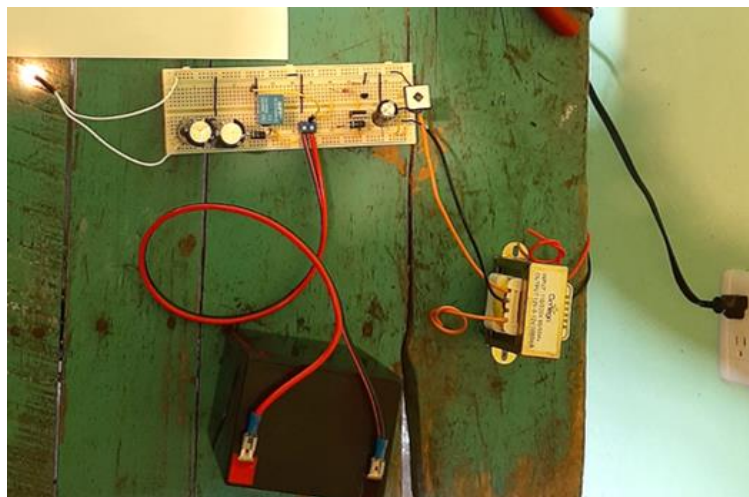


Figura 4. 17. Diseño electrónico general del prototipo de medidor digital.

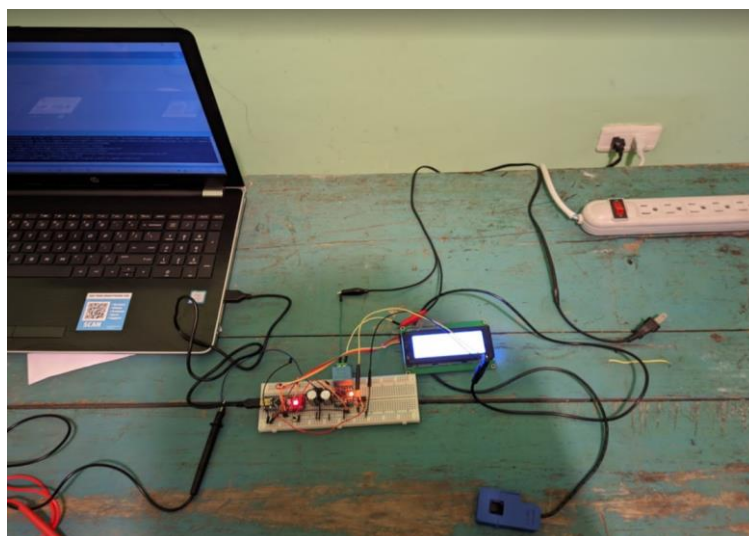
Para este diseño se consideró un sistema de control la cual presenta usa serie de componentes que permiten influir en el funcionamiento del sistema, como un led de notificaciones de color rojo que se enciende ayudando a verificar cuando el sistema está siendo alimentado por la batería y esta se apaga cuando está alimentada por la red eléctrica además un pulsador reset con el fin de restear nuestra placa arduino en caso se diera una circunstancia de necesitarlo.

#### 4.2.3.1. Implementación del prototipo

Después de establecer el diseño, se procedió a adquirir los componentes necesarios para la elaboración del sistema de alimentación y sistema de medición, en la Tabla 5. 7 y de la Tabla 5.8 se puede observar la lista de materiales con su respectivo precio para montar este prototipo, posteriormente se realizó en primera instancia en un protoboard con el fin de realizar pruebas preliminares que corroboran un correcto funcionamiento del sistema como se puede observar en la Figura 4. 18 y Figura 4. 19.



**Figura 4. 18.** Prueba del funcionamiento del circuito armado de alimentación.

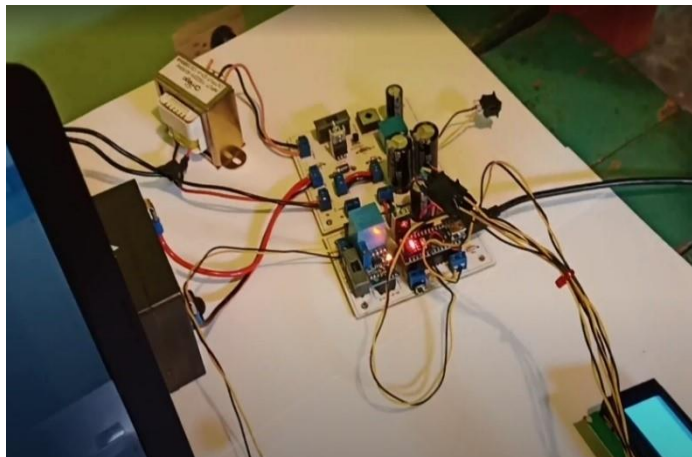


**Figura 4. 19.** Prueba de funcionamiento del circuito armado de medición.

Estas pruebas fueron ideales, al principio se produjeron fallos tal vez por la calidad de los cables, pero utilizando cables más adecuados y con una correcta organización se efectuó todas las pruebas satisfactoriamente. Las pruebas realizadas fueron la medición del voltaje instantáneo y corriente instantáneo que nos mostraba valores aproximados a los del multímetro y amperímetro. Las mediciones se realizaron entre algunos aparatos de uso domésticos con el fin de observar su comportamiento y de mejorar la calibración.

Concluida las pruebas, se procedió a elaborar las placas para el montaje del sistema de alimentación y medición de acuerdo al diseño establecido, ya montada los componentes

electrónicos, como se observa en la Figura 4. 20 se integran los dos sistemas para realizar otra prueba preliminar para verificar su correcto funcionamiento antes de montar a la caja.



**Figura 4. 20.** Prueba del circuito armado del prototipo medición.

Con estos dos componentes armados y verificados se integra todo el sistema obtenido a una caja plástica la cual posee una certificación IP65, con una dimensión 255x200x80 mm, como se pude observar en la Figura 4. 21. Adicionalmente antes de montar los componentes se realizaron adiciones como agujeros en él, los cuales sujetaran los componentes a esta caja y la caja a la pared, también salidas para los diferentes componentes del sistema de control y finalmente como se muestra en la Figura 4. 22 este sistema se implementó a la vivienda.



**Figura 4. 21.** Montaje e implementación del prototipo de medición.



**Figura 4. 22.** Vista frontal del prototipo de medición implementada.

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para las pruebas realizadas consiste básicamente en realizar mediciones de prueba de voltaje, corriente y consumo de energía utilizando el prototipo desarrollado. Estas medidas son comparadas y contrastadas con las medidas por un equipo manual como un multímetro y una pinza amperimétrica, por lo que se asume que las medidas emitidas por ellos son precisas.

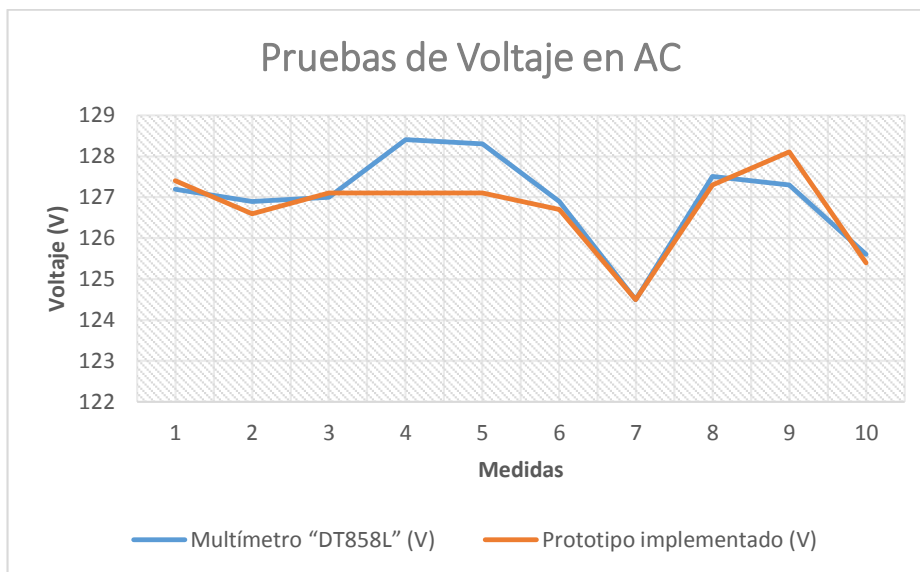
### 5.1. PRUEBAS DE VOLTAJE

Para las pruebas de voltaje se utilizó el multímetro “DT858L”, para eso se llevó a cabo las pruebas en la siguiente Tabla 5. 1 ya que el objetivo de esta prueba es verificar que el equipo mide valores reales de voltaje para esto se tomaron 10 medidas de voltaje AC de la red eléctrica y se comparó con las medidas del prototipo desarrollado.

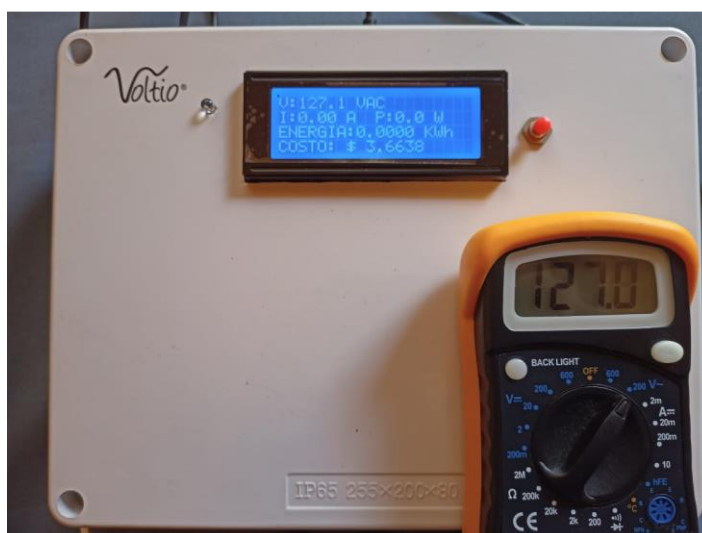
**Tabla 5. 1.** Comparación de las mediciones de voltaje realizadas.

Medidas	Multímetro “DT858L” (V)	Prototipo implementado (V)	Error absoluto (V)	Error absoluto (%)
1	127,2	127,4	-0,2	-0,16
2	126,9	126,6	0,3	0,24
3	127	127,1	-0,1	-0,08
4	124,9	124,9	1,3	1,01
5	127,2	127,7	1,2	0,94
6	126,9	126,7	0,2	0,16
7	124,5	124,5	0	0
8	127,5	127,3	0,2	0,16
9	127,3	128,1	-0,8	-0,63
10	125,6	125,4	0,2	0,16
ERROR TOTAL				0,18

En la siguiente Figura 5. 1 se observa la gráfica de las pruebas de voltajes obtenidas mediante el multímetro y el prototipo implementado, las variaciones de voltaje entre el prototipo y el equipo de medición son mínimas, siendo el valor más significativo de 1.3 voltios con respecto al multímetro.



**Figura 5. 1.** Mediciones realizadas por el multímetro y el prototipo implementado.



**Figura 5. 2.** Mediciones realizadas por el multímetro y el prototipo implementado.

Analizando los valores dados mediante una comparación del voltaje del multímetro con el voltaje del prototipo se puede deducir que se observan muy pocas variaciones, es decir que el porcentaje total en el que varía el voltaje es de 0,18 % para 10 medidas obtenidas en un intervalo de tiempo de cada 10 minutos encontrándose en un rango aceptable.

## 5.2.PRUEBAS DE CORRIENTE

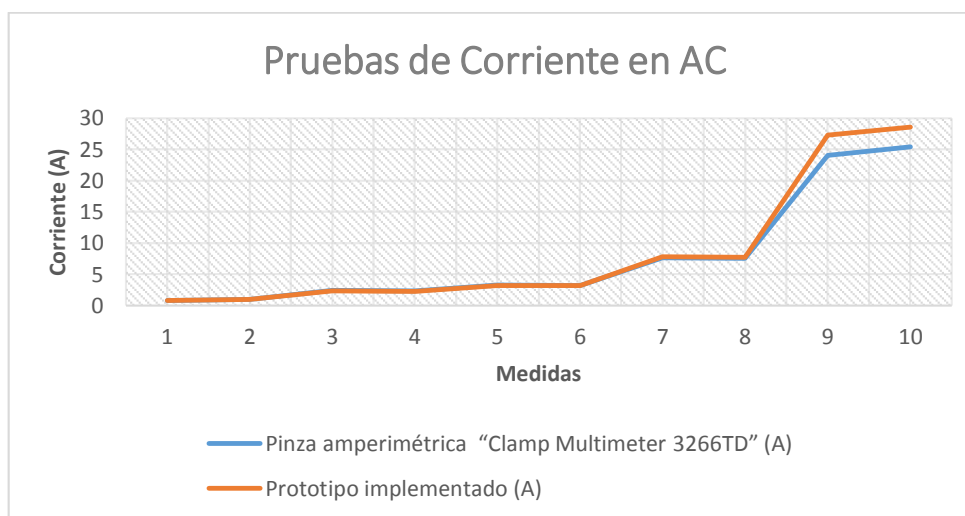
Para realizar las pruebas de corriente se utilizó una pinza amperimétrica “Clamp Multimeter 3266TD” y para eso se determinó mediante la Tabla 5. 2 realizar 10 medidas de corriente a la red eléctrica y compararlas con las del prototipo desarrollado, puesto que se

somete al prototipo a varias cargas, producidas por electrodomésticos de una vivienda. Cabe destacar que en la residencia que se realizó las pruebas, los valores de corriente pico son de 40 amperios, por esta razón solo se muestra las pruebas hasta este rango de corriente, sin embargo, el prototipo está diseñado para soportar corrientes hasta de 100 amperios.

**Tabla 5. 2.** Comparación de las mediciones de corriente realizadas.

Medidas	Pinza amperimétrica “Clamp Multimeter 3266TD” (A)	Prototipo implementado (A)	Error absoluto (A)	Error absoluto (%)
1	0,8	0,81	-0,01	-1,25
2	1,02	0,99	0,03	2,94
3	2,4	2,32	0,08	3,33
4	2,36	2,26	0,1	4,24
5	3,25	3,22	0,03	0,92
6	3,24	3,19	0,05	1,54
7	7,62	7,84	-0,22	-2,89
8	7,56	7,76	-0,2	-2,65
9	24,06	27,27	-3,21	-13,34
10	25,36	28,56	-3,2	-12,62
ERROR TOTAL				-1,98

En la siguiente Figura 5. 3 se observa la gráfica de las pruebas de corriente obtenidas mediante la pinza amperimétrica y el prototipo implementado.



**Figura 5. 3.** Mediciones realizadas por la pinza amperimétrica y el prototipo implementado.



**Figura 5. 4.** Mediciones realizadas por la pinza amperimétrica y el prototipo implementado.

Analizando los valores dados mediante una comparación de la corriente del amperímetro con la corriente del prototipo se puede deducir que se observan muy pocas variaciones, es decir que el porcentaje total en el que varía el voltaje es de -1,98 % para 10 medidas tomadas, para esta prueba se fue conectando las cargas según su nivel potencia para así obtener el máximo valor pico de corriente dentro de la vivienda.

### **5.3.PRUEBAS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

Para realizar las pruebas de la medición del consumo de energía eléctrica se compara la medición obtenida mediante el prototipo implementado y con el medidor de energía de la empresa eléctrica, el cual es un medidor monofásico, que presenta el consumo de energía en kilovatios/hora. El medidor tiene una medida registrada de 21711 kWh, a partir de ese valor se realiza la medición, sin embargo, este valor solo servirá como referencia ya que se desconoce la medida exacta porque dicho medidor solo contiene números enteros.

Las pruebas se realizaron durante dos semanas es decir 15 días desde el 1 de julio del 2021, desde las 15:00 hasta las 15:00 del 15 de julio del mismo año. Para calcular el consumo diario se obtiene la diferencia del consumo actual menos el consumo anterior en ambos medidores.

**Tabla 5. 3.** Comparación de la energía eléctrica entre el medidor y el prototipo implementado.

Lecturas	Hora	Energía kWh				Error absoluto	
		Medidor	Medidor Diario	Prototipo	Prototipo	kWh	%
1	15:00 pm	21711	0	0	0	0	0
2	15:00 pm	21716	5	4,9541	4,9541	0,05	0,92
3	15:00 pm	21720	4	9,1275	4,1734	-0,17	-4,33
4	15:00 pm	21725	5	13,9282	4,8007	0,20	3,99
5	15:00 pm	21729	4	18,2335	4,3053	-0,31	-7,63
6	15:00 pm	21734	5	22,8668	4,6333	0,37	7,33
7	15:00 pm	21739	5	27,8114	4,9446	0,06	1,11
8	15:00 pm	21743	4	32,2684	4,457	-0,46	-11,43
9	15:00 pm	21749	6	38,4949	6,2265	-0,23	-3,78
10	15:00 pm	21755	6	44,6164	6,1215	-0,12	-2,02
11	15:00 pm	21760	5	49,5137	4,8973	0,10	2,05
12	15:00 pm	21766	6	55,8602	6,3465	-0,34	-5,77
13	15:00 pm	21771	5	61,0481	5,1879	-0,18	-3,76
14	15:00 pm	21777	6	67,2656	6,2175	-0,21	-3,63
15	15:00 pm	21782	5	72,2846	5,019	-0,01	-0,38

Mediante la Tabla 5. 3 se puede analizar que los valores medidos por el prototipo son muy aceptables, la diferencia entre la medida del medidor de la empresa eléctrica y el prototipo implementado, se debe a que no se puede sincronizar los dos equipos en una medida exacta, es decir que cuando se observó que el medidor marcaba 21711 kWh, puede que ya estaba midiendo unos cuantos kilovatios/hora para llegar a 21782 kWh, al igual que cuando se tomó la medida del último día, sin embargo la variación en proporción por cada kWh es la misma.



**Figura 5. 5.** Toma de lectura al día 15 del prototipo implementado.

También hay que aclarar que el medidor eléctrico de la empresa solo nos indica valores únicamente con números enteros y nuestro prototipo implementado nos entrega con números enteros más cuatro cifras de decimales.

Por último, podemos decir que los datos de energía eléctrica entregados por el prototipo implementado son bastantes aproximados a los del medidor de la empresa eléctrica, puesto que se puede deducir que existe un error de 1,80 % en un rango de medición de 80 kWh.

#### 5.4.PRUEBA DE CÁLCULO MONETARIO

La presente prueba consiste en comparar el valor de consumo generado por el prototipo y el valor calculado de forma manual para lo cual se utilizó 15 valores de energía eléctrica acumulada de cada 24 horas y se calculó el consumo de energía en valor monetario aplicando el precio que nos indica la Tabla 3. 1 entonces los resultados de esta prueba se muestran en la Tabla 5. 4 y Tabla 5. 5.

**Tabla 5. 4.** Comparación del cálculo monetario de la energía eléctrica consumida, parte 1.

Lecturas	Energía kWh				Calculo energía (\$)	
	Medidor	Medidor Diario	Prototipo	Prototipo	Manual	Prototipo
1	21711	0	0	0	0	0
2	21716	5	4,9541	4,9541	0,46	0,45
3	21720	4	9,1275	4,1734	0,36	0,38
4	21725	5	13,9282	4,8007	0,46	0,44

**Tabla 5. 5.** Comparación del cálculo monetario de la energía eléctrica consumida, parte 2.

Lecturas	Energía kWh				Calculo energía (\$)	
	Medidor	Medidor Diario	Prototipo	Prototipo Diario	Manual	Prototipo
5	21729	4	18,2335	4,3053	0,36	0,39
6	21734	5	22,8668	4,6333	0,46	0,42
7	21739	5	27,8114	4,9446	0,46	0,45
8	21743	4	32,2684	4,4570	0,36	0,41
9	21749	6	38,4949	6,2265	0,55	0,57
10	21755	6	44,6164	6,1215	0,55	0,56
11	21760	5	49,5137	4,8973	0,46	0,45
12	21766	6	55,8602	6,3465	0,55	0,58
13	21771	5	61,0481	5,1879	0,46	0,47
14	21777	6	67,2656	6,2175	0,55	0,57
15	21782	5	72,2846	5,019	0,46	0,46

Mediante la tabla se puede deducir que los valores monetarios diarios calculados y dados por el prototipo son pequeños, puesto que hasta el momento que tenemos calculado la energía eléctrica consumida es de 71 kWh en el medidor y en nuestro prototipo tenemos 72,2846 kWh por lo que esto en el peor de los casos en valor monetario representaría un recargo de 0,12 USD por el consumo de energía eléctrica en kWh.

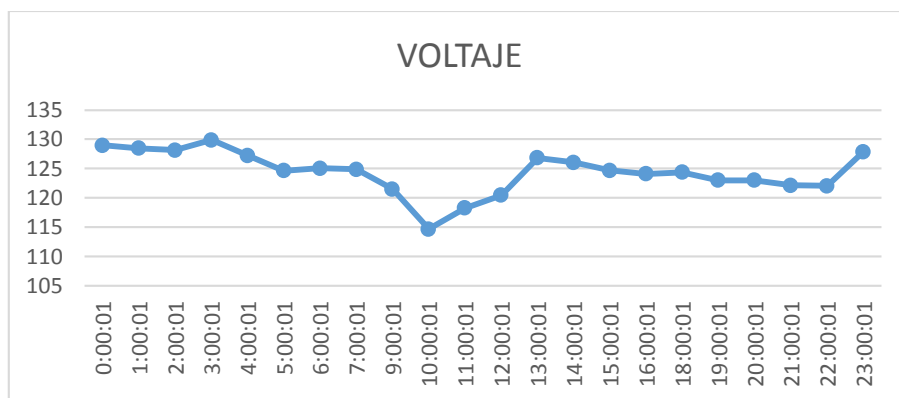
### **5.5.PRUEBA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TARJETA DE MEMORIA MICRO SD**

El sistema de almacenamiento planteado consta del acoplamiento del módulo lector de memoria micro SD para Arduino la cual posee una tarjeta micro SD con una capacidad de 1,79 GB pudiendo ampliarse de ser necesario hasta 32GB. Este módulo está diseñado para conectarse mediante el puerto SPI del microcontrolador Arduino Mega 2560 y almacena estos registros gracias a la librería (SD.h) del IDE de Arduino.

**Tabla 5. 6.** Prueba de funcionamiento de la tarjeta de memoria micro SD.

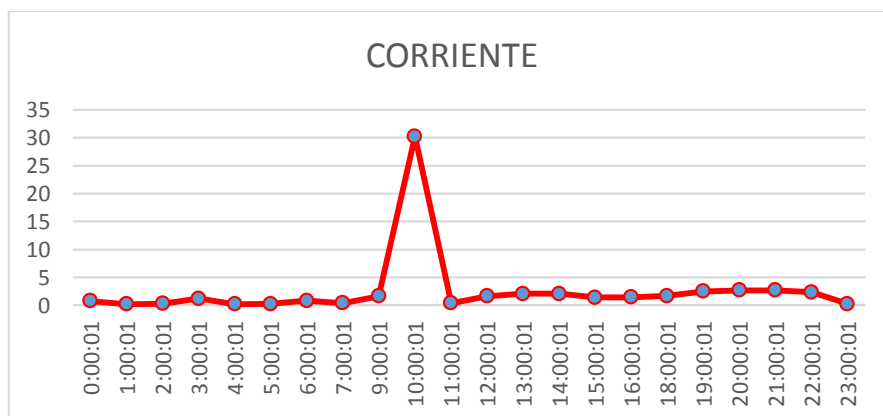
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Corriente (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Energia (kWh)</b>
21/7/2021	0:00:01	128,99	0,76	97,74	0,24
21/7/2021	1:00:01	128,45	0,19	24,11	0,32
21/7/2021	2:00:01	128,16	0,3	38,54	0,37
21/7/2021	3:00:01	129,89	1,18	153,91	0,42
21/7/2021	4:00:01	127,22	0,2	25,48	0,45
21/7/2021	5:00:01	124,64	0,23	28,76	0,5
21/7/2021	6:00:01	125,06	0,83	103,46	0,56
21/7/2021	7:00:01	124,89	0,38	47,55	0,66
21/7/2021	9:00:01	121,5	1,62	196,83	0,74
21/7/2021	10:00:01	114,64	30,27	3470,51	1,7
21/7/2021	11:00:01	118,27	0,4	47,14	1,98
21/7/2021	12:00:01	120,45	1,64	197,62	2,07
21/7/2021	13:00:01	126,84	2,05	259,53	2,17
21/7/2021	14:00:01	126,05	2,03	255,44	2,31
21/7/2021	15:00:01	124,68	1,37	170,41	2,51
21/7/2021	16:00:01	124,11	1,41	175,44	2,7
21/7/2021	18:00:01	124,38	1,65	205,05	3,09
21/7/2021	19:00:01	123,02	2,49	306,72	3,41
21/7/2021	20:00:01	122,99	2,67	327,93	3,74
21/7/2021	21:00:01	122,15	2,68	327,08	4,07
21/7/2021	22:00:01	122,06	2,35	286,34	4,39
21/7/2021	23:00:01	127,86	0,24	31,25	4,55

En la Tabla 5. 6 se muestran los datos almacenados en la tarjeta de memoria micro SD, estos datos se guardan en un formato de archivo de texto el cual puede importarse a Excel para analizar los datos de los parámetros eléctricos obtenidos por el prototipo, el proceso de almacenamiento ocupando una capacidad aproximada de 5 megabyte por día, obteniendo un almacenamiento aproximado 365 días para esta tarjeta de memoria.

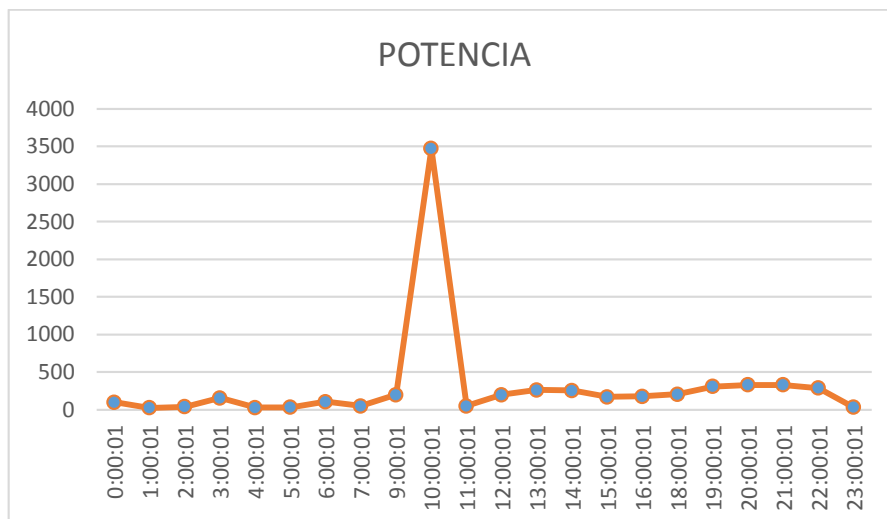


**Figura 5. 6.** Datos obtenidos de voltaje de la tarjeta de memoria micro SD.

En la Figura 5. 6 se puede observar variaciones de voltaje en el transcurso de un día, conjuntamente en la Figura 5. 7 se muestra las variaciones de corriente logrando informar que en el periodo de la 10:00:01am hubo un valor pico de consumo en el caso de la intensidad y una caída de voltaje provocada por consumo significativo de la corriente.

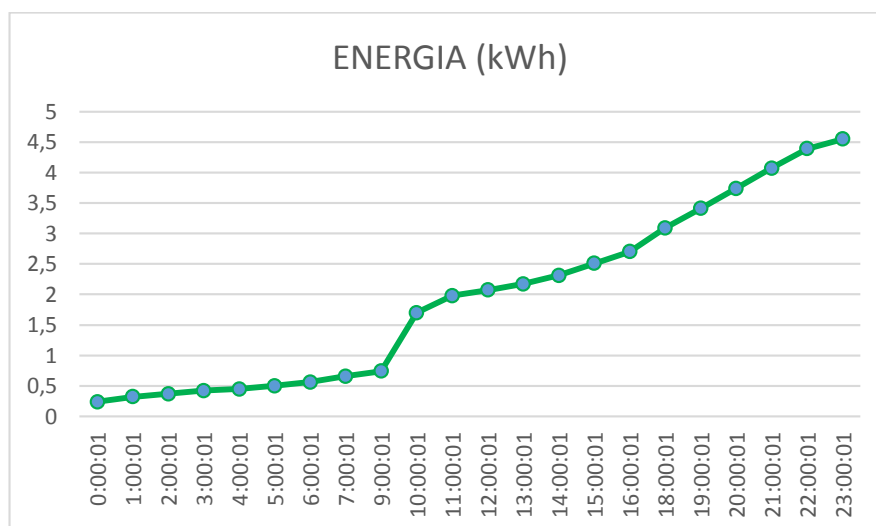


**Figura 5. 7.** Datos obtenidos de corriente de la tarjeta de memoria micro SD.



**Figura 5. 8.** Datos obtenidos de potencia de la tarjeta de memoria micro SD.

La Figura 5. 8 muestra una potencia máxima en el transcurso de un día debido a la carga aplicada en ese transcurso de tiempo y en la Figura 5. 9 se puede ver el consumo de energía eléctrica que tiende a incrementarse dependiendo de la demanda que tenga la residencia.



**Figura 5. 9.** Datos obtenidos de energía de la tarjeta de memoria micro SD.

Las figuras mostradas se realizaron en intervalos de una hora, con el fin de observar el comportamiento de la residencia, cabe recalcar que para realizar el registro del tiempo se implementó un módulo de reloj de tiempo real (RTC) el cual contiene un calendario en segundos, minutos, horas, días, mes y año. Pudiendo registrar el tiempo exacto en el que se

almacenan los parámetros eléctricos en la tarjeta de memoria gracias a la librería (TimeLib.h), este módulo funciona mediante la comunicación I2C para conectarse con Arduino.

## 5.6. INVERSIÓN DEL PROYECTO

El análisis de costos de los elementos implementados en este prototipo está basado en los precios actuales, el diseño del medidor digital cuenta con ciertas características que lo diferencian de otros medidores, estos componentes de materia prima directa se pueden apreciar en las siguientes tablas.

Costo por unidad de la placa de alimentación y de control de carga, la Tabla 5.7 detalla los materiales directos utilizados, con su valor serie, cantidad del elemento y cantidad total de USD.

**Tabla 5. 7.** Componentes que se montaran al sistema de alimentación.

CANTIDAD	TIPO	VALOR O SERIE	PRECIO UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
1	Resistencia	470 ohmios	0,03	0,03
1	Resistencia	1000 ohmios	0,03	0,03
1	Diodo rectificador	1N4007	0,15	0,15
2	Diodo rectificador	1N5408	0,50	1,00
1	Diodo Zener	1N4742	0,50	0,50
1	Puente rectificador	3 amperios	2,00	2,00
1	Transistor	2N3904	0,25	0,25
1	Transistor	TIP41C	1,50	1,50
1	Condensador	1000uF / 50V	0,75	0,75
2	Condensador	3300uF / 50V	2,50	5,00
1	Relay	12VDC	1,00	1,00
1	Transformador	110V o 220V / 12VAC	9,50	9,50
1	Fusible	1 amperio	0,25	0,25
1	Porta fusible	N	0,80	0,80
1	Interruptor	250VAC	1,00	1,00
1	Batería	12VDC / 4Ah	32,00	32,00
8	Borneras	2 pines	0,40	3,20
Total				58,96

La Tabla 5.8 detalla el material primario directo por unidad de la placa medidora de consumo eléctrico, con su valor serie, cantidad del elemento, cantidad total de USD y los materiales utilizados.

**Tabla 5. 8.** Componentes que se montaran al sistema de medición.

CANTIDAD	TIPO	VALOR O SERIE	PRECIO UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
1	Resistencia	150 ohmios	0,03	0,03
1	Resistencia	10000 ohmios	0,03	0,03
1	Diodo led	rojo	0,10	0,10
1	Arduino Mega	2560 R3	20,00	20,00
1	Sensor de Corriente	SCT013 100A / 1V	22,00	22,00
1	Sensor de Voltaje	ZMPT101B	19,00	19,00
1	Modulo	I2C	2,50	2,50
1	Pantalla LCD	20x4	14,00	14,00
1	Amplificador	LM358N	1,00	1,00
2	Condensador	1000uF / 25V	0,75	1,50
1	Regulador	LM7805	1,00	1,00
2	Pulsador	Normalmente abierto	0,60	1,20
1	Porta fusible	N	0,80	0,80
4	Borneras	2 pines	0,40	0,40
1	Jack de audio	Hembra	1,50	1,50
1	Módulo reloj en tiempo real RTC	DS3231	3,50	3,50
1	Modulo SD	6 pines	12,00	12,00
1	Micro SD	2 GB	5,00	5,00
Total				105,56

En la Tabla 5.9 se muestra los elementos de materia prima indirecta que se utilizaron para implementar el prototipo. Detalla los materiales utilizados, con su valor serie, cantidad del elemento y cantidad total de USD.

**Tabla 5. 9.** Lista de materiales primarios indirectos.

<b>CANTIDAD</b>	<b>TIPO</b>	<b>VALOR O SERIE</b>	<b>PRECIO UNITARIO (USD)</b>	<b>TOTAL (USD)</b>
2	Terminales	Tipo riel	0,10	0,20
10	Tornillos	3mm	0,05	0,50
10	Arandelas	3mm	0,02	0,20
10	Tuercas	3mm	0,03	0,30
1	Caja de paso	255x200x80	16,00	16,00
1	Estaño	--	1,00	1,00
1	Pasta	--	1,50	1,50
1	Ácido férrico	---	2,00	2,00
1	Pistola de silicona	--	3,50	3,50
3	Silicona	--	0,20	0,60
1	Cable de timbre	3 metros	0,50	1,50
1	Cable jumper	40 pines	2,00	2,00
Total				29,30

### Herramientas y equipos

En la Tabla 5.10 se puede observar las herramientas empleadas para diseño e implementación del hardware y software del prototipo de medición digital.

**Tabla 5. 10.** Lista de herramientas y equipos utilizados.

<b>CANTIDAD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Vida útil en años</b>	<b>Depreciación anual %</b>	<b>Depreciación mensual</b>	<b>Depreciación anual</b>
1	Multímetro	40,00	5	20%	0,53	6,40
1	Amperímetro	35,00	5	20%	4,46	5,60
2	Ki de Herramientas	20,00	10	10%	0,15	1,84
1	Taladro	80,00	5	20%	1,06	12,80
1	Regulador de voltaje	20,00	10	10%	0,15	1,84
2	Computadora	1.200,00	3	33.33%	22,22	266,68
1	Impresora	150,00	5	20%	2,00	24,00
1	Cautín	7,00	5	20%	0,10	1,12
Total (USD)		1.402,00			30,67	320,28

### Servicios básicos

Se toma en cuenta el precio a cancelar por el servicio al final del mes, en la Tabla 5. 11 se muestra los servicios básicos utilizados para realizar el proceso de construcción del prototipo y el valor a pagar por el servicio prestado.

**Tabla 5. 11.** Servicios básicos utilizados para desarrollar el proyecto.

<b>Descripción</b>	<b>Pago mensual (USD)</b>
Energía eléctrica	22,30
Agua Potable	15,00
Internet	34,50
Transporte	90,00
Total	161,80

### Costo de la implementación por unidad

En este punto toma en cuenta el costo total de USD de los materiales, herramientas y servicios expuestos en las tablas anteriores, finalmente en la Tabla 5. 12 se observa la inversión total para desarrollar este proyecto.

**Tabla 5. 12.** Inversión total para desarrollar este proyecto.

<b>Descripción</b>	<b>Valor total mensual (USD)</b>	<b>Valor total por unidad (USD)</b>
Sistema de alimentación	58,96	58,96
Sistema de medición	105,56	105,56
Herramientas y Equipos depreciación	30,60	30,60
Servicios Básicos	161,80	90
Varios	29,30	29,30
Total		\$314,42

### **Análisis de Impactos**

El presente proyecto está enfocado a determinar los parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia y energía puesto que el prototipo nos permite la adquisición de datos en tiempo real provocada en el sistema de la vivienda producto de la variación de carga.

El presente proyecto tecnológico posee un **impacto social** en función de mejorar la calidad de visualización para los miembros del hogar de la vivienda los cuales al intervenir dicho proyecto presentan un gran beneficio el cual se basa en el análisis de carga de la vivienda; tiene un **impacto técnico** porque ofrece beneficios de modernización debido que el prototipo ya no es analógico sino digital, manteniendo un sistema convincente y confiable siendo fácil de operar en casos de mantenimientos y sucesos, además de un **impacto económico** al poder visualizar el consumo de energía se puede tomar acciones para reducir el consumo de la misma la cual ayuda a reducir la facturación al final de cada mes.

## **6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1.CONCLUSIONES**

El diseño y la implementación del prototipo de medición digital es satisfactorio, permitiendo adquirir datos que se asemejan a los adquiridos por el medidor convencional de una residencia, el rango de error no supera 5% comparado con el multímetro y la pinza amperimétrica comercial, entonces se puede concluir que el prototipo es apropiado para realizar mediciones de energía y adquirir datos de manera eficiente.

Se determinó que el prototipo implementado para medir la energía eléctrica en el sector residencial es capaz de medir la energía en kWh en tiempo real y en unidades que el usuario de dicha vivienda pueda percibir, también además le permite conocer como está utilizando la energía y lo que está pagando por ella por el consumo de energía.

El sistema de medición propuesto es flexible y garantiza que el software o hardware se puedan modificar y adaptarlos a diferentes mediciones de energía o aplicaciones futuras, también este sistema permite mejorar su exactitud de una manera más fácil ya que permite calibraciones mediante software para mayor resolución.

El cálculo del consumo de energía eléctrica residencial del prototipo implementado tiene un error de 1,28 kWh respecto al medidor convencional de la empresa Eléctrica Cotopaxi instalado en la residencia en cual se realizaron las pruebas del sistema y también dentro de la facturación de consumo de energía eléctrica este error representaría un cargo adicional de 0,12 USD.

### **6.2.RECOMENDACIONES**

Existen diferentes modelos de los sensores de corriente SCT013 que dependiendo del modelo a la salida se obtendrá un valor de corriente o voltaje, pero se recomienda trabajar con sensores que a su salida tengan un valor de voltaje puesto que resulta más fácil de trabajar, pero si el sensor tiene una salida a mA se debe acondicionar la señal para obtener los voltios requeridos para lo lee el Arduino.

Se recomienda trabajar solo con señales de corriente continua, puesto el arduino solo lee estas señales al no trabajar con estas señales malograremos el arduino, además arduino ofrece varias entradas desde análogas o digitales por ellos se debe tener muy en cuenta donde se conectan los pines puesto que no todos ofrecen la función que requerimos, por lo que también es recomendable estudiar a fondo el modelo que se usará en un determinado proyecto.

El proyecto resulta factible pero siempre se debe pensarse en innovar, por lo que se presentan algunos puntos a mejorar y planes a futuro de este documento como: Realizar un interfaz de aplicación mucho más interactiva. Realizar un estudio de mercado, con el fin de observar la factibilidad de producción y comercialización del mismo. Crear un servidor web donde se pueda observar los parámetros en tiempo real. Utilizar un módulo que permita la comunicación bidireccional. Realizar las pruebas de mediciones en laboratorios para mayor precisión.

**7.BIBLIOGRAFÍA**

- [1] L. C. Hernandez Cesar, “Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917316002>,” 2010.
- [2] ANGÉLICA SÁNCHEZ, “Diseño Y Construcción De Un Prototipo Para El Control De Consumo,” no. 44. pp. 7–12, 2010.
- [3] C. D. E. Investigación and E. N. Computación, “Instituto Politécnico Nacional Diseño De Un Medidor Eléctrico Digital De Prepago Tesis,” p. 68, 2003, [Online]. Available: [https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/6873/1/Tesis 9269.pdf](https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/6873/1/Tesis%209269.pdf).
- [4] Pazmiño, “Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas Cesión de derechos de autor del trabajo a favor de la Universidad Técnica del Norte,” 2019.
- [5] D. I. Samaniego Idrovo, V. Orellana, and D. Fernando, *Diseño e implementación de un medidor de energía electrónico para vivienda, con orientación a la prevención de consumo y ahorro energético*. 2016.
- [6] R. N. Arconel-, R. N. Arconel, E. L. Directorio, and D. E. L. A. Agencia, “Y CONTROL DE ELECTRICIDAD – ARCONEL – Considerando: Que , el artículo 30 de la Constitución de la República establece el derecho de las personas a un hábitat seguro y saludable , y a una vivienda adecuada y digna , con independencia de su situación socia,” pp. 1–41, 2017.
- [7] CONELEC, “Aspects of Sustainability and Social and Environmental Sustainability,” *Master Plan Electríf. 2013-2022*, p. 380, 2013, [Online]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/plan-maestro-de-electrificacion-2013-2022/>.
- [8] Arcotel, “Estudio de la Demanda Eléctrica,” *Balanc. Energético Nac.*, no. 3, pp. 1–71, 2019.
- [9] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, “Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas de Distribución - Servicio Público de Energía Eléctrica. Periodo: Enero-Diciembre 2020,” *Resolución Nro. ARCONEL – 035/19*, vol. 19, p. 35, 2019.
- [10] R. Bitu and P. Born, *Tarifas de energía eléctrica: aspectos conceptuales y metodológicos*. 1993.
- [11] M. C. Zambrano Herrera, “Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito,” *Tesis*, pp. 1–100, 2013, [Online]. Available:

- <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [12] P. Constitucional and de la Republica del Ecuador, “Reglamento a Ley Organica Del Servicio Publico De Energia Electrica,” *Decreto Ejec. 856 Regist. Of. Supl. 21 20-ago.-2019 Estado Vigen.*, vol. Estado: Vi, pp. 1–61, 2019.
- [13] CNE, “Ley del régimen del sector eléctrico,” no. 351, p. 38, 1996.
- [14] “598\_CodificacionReglamentoTarifas.” .
- [15] F. X. García, *Modelo De Estado Estacionario De La Microrred Del Laboratorio De Balzay De La Universidad De Cuenca*. 2012.
- [16] Asamblea Nacional República del Ecuador, “Ley Orgánica De Las Personas Adultas Mayores,” *Supl. del Regist. Of. No. 484*, no. 484, pp. 1–37, 2019, [Online]. Available: [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-06/Documento\\_LEY\\_ORGANICA\\_DE\\_LAS\\_PERSONAS\\_ADULTAS\\_MAYORES.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-06/Documento_LEY_ORGANICA_DE_LAS_PERSONAS_ADULTAS_MAYORES.pdf).
- [17] Ministerio del Trabajo, “En materia de derechos y garantías constitucionales, las servidoras y servidores públicos, administrativos o judiciales, deberán aplicar la norma y la interpretación que más favorezcan su efectiva vigencia”;,” 2020, [Online]. Available: <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2020/11/ACUERDO-MDT-2020-249-SBU-2021-SFGG.pdf>.
- [18] J. D. CHAMBA LOAIZA, “Diseño E Implementación De Un Sistema De Medición De Energía Eléctrica Inteligente Para Uso Doméstico,” 2014, [Online]. Available: [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11420/1/Chamba\\_Loaiza%2C\\_José\\_David.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11420/1/Chamba_Loaiza%2C_José_David.pdf).
- [19] NETL, “NETL Modern Grid Strategy Powering our 21st-Century Economy ADVANCED METERING INFRASTRUCTURE,” *US Dep. Energy Off. Electr. Energy Reliab.*, no. February, p. 34, 2008, [Online]. Available: [https://www.smartgrid.gov/files/NIST\\_SG\\_Interop\\_Report\\_Postcommentperiod\\_version\\_200808.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/NIST_SG_Interop_Report_Postcommentperiod_version_200808.pdf).
- [20] U. PARA and G. DE ACERO, “Universidad De San Carlos De Guatemala Facultad De Ingeniería,” *Emecanica.Ingenieria.Usac.Edu.Gt*, no. 53, pp. 1–75, 2011, [Online]. Available: <http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>.

- [21] C. P. Millahual, “Arduino de Cero a Experto.” p. 322, 2017.
- [22] AG Electrónica, “Mb0014: Oem Arduino Mega 2560,” p. 1, 2017, [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
- [23] P. L. C. Configuraci and M. T. C. P. Comunicaci, “5,” 2018.
- [24] A. Pcr and L. Kit, “Data Sheet Data Sheet,” vol. 31402, no. September 2004, pp. 0–1, 2012, [Online]. Available: [http://www.papersearch.net/view/detail.asp?detail\\_key=10000715](http://www.papersearch.net/view/detail.asp?detail_key=10000715).
- [25] L. D. Notice, “Colophon.”
- [26] T. Fin and D. E. M. N°, “Escuela politécnica de ingeniería de gijón,” 2018.
- [27] E. Rodriguez, W. Alejandra, G. Rojas, and J. Ignacio, “Ad03 Conversores Análogo-Digital y Digital-Análogo : Conceptos Básicos,” no. 4.
- [28] “Conversión Análoga DIGITAL 1,” pp. 1–29.
- [29] W. Paper, S. D. De Trabajo, B. Aires, and S. D. De Trabajo, “www.econstor.eu,” 2015.
- [30] A. Furfaro, “Conversión Analógico/Digital y Digital Analógica,” vol. 1, p. 25, 1994.
- [31] F. Miyara, “Conversores D/a Y a/D,” *Electrónica III*, vol. 1, p. 43, 2004, [Online]. Available: <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3>.
- [32] T. F. De Grado, “Proyecto Fin de Carrera Trabajo Fin de Grado Ingeniería de Telecomunicación Ingeniería Aeroespacial Formato de Publicación de global la Escuela Técnica Análisis de la radiación solar en fun- Superior de la Ingeniería ción de,” 2017.
- [33] H. Torres and R. Estrada, “Definición ley de ohm,” *HeTPro*, vol. 1, p. 9, 2018, [Online]. Available: <https://hetpro-store.com/PDFs/La-Ley-de-Ohm.pdf?x18372>.
- [34] M. N. O. S. Charles K. Alexander, *Fundamentos de Circuitos Eléctricos 3th edition*. 2009.
- [35] “CircElect-JosEdm2001.pdf.” .
- [36] R. Boylestad, “Introduccion al Analisis de Circuitos.” p. 1228, 2004.
- [37] “Bipolar AD ,  $U_{max}= 2$ ,” pp. 2–5.
- [38] YDHC, “Split core current transformer,” *Split core Curr. Transform.*, p. 100, 2010, [Online]. Available:

[https://www.mcielectronics.cl/website\\_MCI/static/documents/Datasheet\\_SCT013.pdf](https://www.mcielectronics.cl/website_MCI/static/documents/Datasheet_SCT013.pdf).

- [39] J. E. Calle, “Medición de variables eléctricas utilizando señales digitalizadas,” no. 24, pp. 37–41, 2004.

## 8.ANEXOS

### Anexo A: Algoritmo de programación

Código de programación en el Software arduino IDE

```
#include <SD.h> // librería para uso modulo sd
#include <SPI.h>
#include <DS1307RTC.h>
#include <TimeLib.h>
#include <Filters.h> // Librería necesaria para obtener datos en el sensor de voltaje
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Incluimos las librerías del modulo I2C.
#include <Wire.h> //Incluimos las librerías del modulo I2C.
//RTC_DS1307 RTC; // crear el objeto de tiempo y variables
String ano;
String dia;
String mes;
String horas;
String minutos;
String segundos;
String Fecha;
String Hora;
String Nombrearchivo;
String Imprimir;
tmElements_t tm;
const int chipSelect = 10;// puerto de control SD
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // Determinamos el nombre y tipo de la LCD con su dirección
I2C y sus características
// VARIABLES DEL SENSOR DE CORRIENTE
float intensidad;
float sensor;
float potencia;
int Frecuencia = 60; // Frecuencia (Hz)
float Promedio = 40.0/Frecuencia; // promedio de la señal

//VARIABLES DEL SENSOR DE VOLTAJE
int VACSensor = 0;
float intercept = -0.04; // de ser necesario cambiar en la prueba de calibración
float slope = 0.0405; // de ser necesario cambiar en la prueba de calibración
```

```

float voltaje;          // Voltaje
// VARIABLES GLOBALES
int periodo = 1000;
float consumo;
float consumo_actual;
float consumo_anterior;
float consumo_WattHora;
float consumo_KiloWattHora;
float precio_planilla;
float precio_consumo;
float comercializacion = 1.41;
float subsidio;
float alumbrado;
float bomberos = 2;
float precio_final;
unsigned long t_LuzFondo; // variable que almacena el tiempo que permanece encendido la luz de
fondo del LCD.
int pulsador = 3;      // pin 3 digital del Arduino que recibe la señal del pulsador
int led = 2;           // pin 2 digital der arduino que envía la señal al diodo LED
void setup() {
  Serial.begin(9600); //velocidad de seteo del puerto serial
  Serial.println("Inicializando DS1307RTC.....");
  if (RTC.read(tm)) {
    Serial.println("Ok time");
  }
  else
  {
    Serial.println("RTC no está activado!");
    //Ajustar la fecha y hora en la que se compiló este código.
  }
  Serial.print("Inicializando tarjeta SD...");//iniciar modulo SD
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("No se pudo inicializar la SD, o no está conectada");
    //while (1);
  }
  else {
    Serial.println("SD inicializada!");
  }
}

```

```

}
//analogReference(INTERNAL);//Configura la tensión de referencia utilizada para la entrada
analógica 1.1 voltios
pinMode(pulsador, INPUT);    // declaro al pin 3 del Arduino como entrada de señal
pinMode(led, OUTPUT);        // declaro al pin 2 del Arduino como salida de señal
lcd.backlight();             //Iniciamos el fondo retroiluminado
lcd.init();                   //Iniciamos la pantalla
lcd.clear();                  //Limpiamos la LCD
lcd.setCursor(0,0);           // Pantalla de inicio en LCD
lcd.print("_____");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("CALIBRANDO      ");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("SENSORES       ");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("-----");
Serial.println("Iniciando DS1307RTC.....");
if (RTC.read(tm)) {
  Serial.println("Ok time");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("CALIBRANDO OK RTC");
}
else
{
  Serial.println("RTC no está activado!");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("CALIBRANDO BAT RTC");
  //Ajustar la fecha y hora en la que se compiló este código.
}
Serial.print("Iniciando tarjeta SD...");//iniciar modulo SD
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("SENSORES BAT SD");
  Serial.println("No se pudo inicializar la SD, o no está conectada");
  //while (1);
}
else {

```

```

Serial.println("SD inicializada!");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("SENSORES OK SD");
}
t_LuzFondo = (millis()/1000); // Variable toma el tiempo transcurrido en el arduino y lo
transforma a segundos
delay(5000); // Pausa de 5 segundos
}
void loop() {
RunningStatistics inputStats; // instrucción de la libreria FILTERS
inputStats.setWindowSecs(Promedio); // instrucción de la libreria FILTERS
while(true) { //////////// CICLO REPETITIVO DE TOMA DE SEÑALES Y CALCULOS QUE SE
REALIZA CADA SEGUNDO
RTC.read(tm);
ano = tm.YearToCalendar(tm.Year);
mes = tm.Month;
dia = tm.Day;
horas = tm.Hour;
minutos = tm.Minute;
segundos = tm.Second;
Fecha = ano + "/" + mes + "/" + dia;
Hora = horas + ":" + minutos + ":" + segundos;
////////////////////////////////////
Nombrearchivo = ano + mes + dia + ".txt";
////////////////////////////////////
float ondac=0; // variable de sensor de corriente inicia en 0.
long retardo=millis(); // variable retardo toma el tiempo transcurrido desde que se inició el arduino.
int s=0; // variable s inicia en 0
while(millis()-retardo<1000)//Duración de un segundo
{
//Operaciones para el calculo de la intensidad
sensor = analogRead(A0) *(4.75*(1.25 / 1023.0)); //voltaje de referencia del sensor de corriente (se
puede cambiar el valor para lograr mayor precisión)
intensidad=sensor*100.0; //corriente=sensor*(100A/1V)
ondac=ondac+sq(intensidad); //Sumatoria de Cuadrados/ sq-->cuadrado de un número
s=s+1; //Incremento de 1 de la variable S
delay(5); //Pausa de 1 milisegundo
}
}
}

```

```

//Operaciones para obtener el voltaje del sensor
VACSensor = analogRead(A1); //Leer pin Analógico A1 que es la señal del sensor de voltaje
inputStats.input(VACSensor); //Instrucción para obtener señal del sensor de voltaje
}
ondac=ondac*2; //Para compensar los cuadrados de los semiciclos negativos.
intensidad=sqrt((ondac)/s); //ecuación del RMS sqrt-->raiz cuadrada
voltaje = intercept + slope * inputStats.sigma(); //offset y amplitud
voltaje = voltaje*(40.3234); //calibración (40.3231)
Frecuencia = 60;
potencia=intensidad*voltaje; // P=IV (Watts) calculo de la potencia
consumo = potencia; // variable consumo toma el valor obtenido de la operación de potencia
consumo_actual = consumo + consumo_anterior; // Variable consumo actual va almacenando los
datos de consumo
consumo_WattHora = (consumo_actual/3600); // operacion para obtener Watt Hora
consumo_KiloWattHora =(consumo_WattHora/1000); // operación para obtener Kilowatt Hora

////////////////////////////////////
digitalWrite(led, LOW); // el led se mantiene apagado
if(voltaje <= 20){ // Condicional para cuando el sensor de voltaje detecta corte en la
alimentacion de 110 VAC
    voltaje = 0; // Variable voltaje toma el valor de 0.
    Frecuencia = 0; // Variable frecuencia toma el valor de 0.
    potencia=intensidad*voltaje; // el calculo de potencia viene dado por la ecuación
    digitalWrite(led, HIGH); // enciende el led
}

//////////////////////////////////// CALCULOS DE PLANILLA EN BASE AL CONSUMO
ELECTRICO
if ((consumo_KiloWattHora > 0) && (consumo_KiloWattHora <= 50)){ // Condicional para cuando
el consumo se mantiene por debajo de 50KWh
    precio_planilla = 0.091; //precio de la planilla eléctrica.
    precio_consumo = (consumo_KiloWattHora * precio_planilla); // operación para obtener el precio a
pagar
}
if ((consumo_KiloWattHora > 50) && (consumo_KiloWattHora <= 100)){ // Condicional para
cuando el consumo es mayor a 50 KWh y se mantiene por debajo de 100KWh
    precio_planilla = 0.093; //precio de la planilla eléctrica.

```

```

precio_consumo = (4.55 + ((consumo_KiloWattHora - 50) * precio_planilla)); // operación para
obtener el precio a pagar
}
if ((consumo_KiloWattHora > 100) && (consumo_KiloWattHora <= 150)){ // Condicional para
cuando el consumo es mayor a 100 KWh y se mantiene por debajo de 150KWh
precio_planilla = 0.095; //precio de la planilla eléctrica.
precio_consumo = (4.55 + 4.65 + ((consumo_KiloWattHora - 100) * precio_planilla)); // operación
para obtener el precio a pagar
}
if (consumo_KiloWattHora > 150){ // Condicional para cuando el consumo es mayor a 150 KWh
precio_planilla = 0.097; //precio de la planilla eléctrica.
precio_consumo = (4.55 + 4.65 + 4.75 + ((consumo_KiloWattHora - 150) * precio_planilla)); //
operación para obtener el precio a pagar
}
subsidio = 0.1*(precio_consumo + comercializacion); // Cálculo de subsidio
alumbrado = 0.18 *(precio_consumo + comercializacion);
if(consumo_KiloWattHora >= 70){
precio_final = subsidio + precio_consumo + comercializacion + alumbrado + bomberos;
}
if(consumo_KiloWattHora < 70){
precio_final = precio_consumo + comercializacion + alumbrado + bomberos;
}
////////////////////VISUALIZACIÓN DE DATOS POR CMUNICACIÓN SERIAL.
Imprimir = Fecha + " " + Hora + " " + " V: " + voltaje + " " + "I:" + intensidad +"" + " P: " + potencia
+ " " + "E:" + consumo_KiloWattHora + " " + "$:" + precio_final ;
File dataFile = SD.open(Nombreadarchivo, FILE_WRITE);
lcd.clear();
// Si el archivo está disponible, escribir en el:
if (dataFile) {
dataFile.println(Imprimir);
dataFile.close();
Serial.println(Imprimir);
lcd.setCursor(12,0);
lcd.print(" OK SD");
}
// Si el archivo no se puede abrir, mensaje de error:
else {

```

```

    Serial.println("Error al intentar escribir en el archivo!");
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print(" BAT SD");
    }
//VISUALIZACIÓN DE DATOS EN LCD.
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("V:");
    lcd.print(voltaje,1);
    lcd.print(" VAC");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("I:");
    lcd.print(intensidad,2);
    lcd.print(" A");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print("P:");
    lcd.print(potencia,1);
    lcd.print(" W");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("ENERGIA:");
    lcd.print(consumo_KiloWattHora,4);
    lcd.print(" KWh");
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("COSTO: $ ");
    lcd.print(precio_final,4);
    consumo_anterior = consumo_actual;    // la variable consumo_anterior almacena los valores
dados por la variable consumo_actual
    if(digitalRead(pulsador) == HIGH){    // enciende la Luz del LCD cuando se presiona el pulsador
        lcd.backlight();
        t_LuzFondo = (millis()/1000);
    }
    if ((t_LuzFondo+3600) <= (millis()/1000)){    // apaga Luz de LCD despues del tiempo designado
        lcd.noBacklight();
    }
    dataFile.close();
}
}

```

**Anexo B:** Especificaciones extras de los materiales para la implementación del prototipo

**Materiales del sistema de alimentación**

**Resistencia 470 ohmios 5% 1 / 4W**



**Figura B. 1.** Resistencia 470 ohmios.

Especificaciones técnicas:

**Tabla B. 1.** Especificaciones técnicas.

<b>Resistencia</b>		470 ohmios
<b>Tolerancia</b>		5%
<b>Código de color</b>		Amarillo / Violeta / Marrón / Dorado
<b>Tipo</b>		Película de carbono
<b>Voltaje</b>	Operación máxima	350 V
<b>Polarización</b>		Ninguno
<b>Dimensiones</b>	Diámetro del cuerpo	2,3 mm
	Longitud del cuerpo	6 mm
	Longitud del cable	28 mm
	Diámetro de plomo	0,55 mm

**Resistencia 1000 ohm 1/4 Watt**



**Figura B. 2.** Resistencia 1000 ohm.

**Tabla B. 2.** Especificaciones técnicas.

<b>Especificaciones</b>	
Resistencia (ohmios)	1K
Potencia (Watts)	0,25 W, 1/4 W
Tolerancia	± 5%
embalaje	A granel
Composición	Película de carbono
Coefficiente de temperatura	350ppm / ° C
Estado libre de plomo	Sin plomo
Estado de RoHS	RoHS

**Diodo Rectificador 1N4007****Figura B. 3.** Diodo Rectificador 1N4007.**Tabla B. 3.** Especificaciones técnicas.

<b>Características:</b>	
Tensión inversa de pico mayor	1KV (VRRM) Max
Su tensión pico es de:	500 V (Vef) siendo un rectificador de media onda.
Soporta temperaturas de:	- 65 a +125 °C
Tensión de caída:	1,1 V
Corriente en sentido directo:	1 A (If)
Corriente máxima de pico:	30 A (Ifsm) Max

**Diodo rectificador 1N5408 3A 1000v**



**Figura B. 4.** Diodo Rectificador 1N5408.

**Tabla B. 4.** Especificaciones técnicas.

<b>Características:</b>	
Voltaje inverso ( $V_r$ ):	700 V
Voltaje inverso pico ( $V_{rm}$ ):	1000 V
Corriente directa máx. ( $I_o$ ):	3 A
Caída tensión directa ( $V_f$ ):	1 V a 3 A
Corriente de sobretensión máxima:	125 A
Encapsulado:	DO-27
Tensión operativa:	-55 °C a +150 °C

**Diodo Zener 1N4742**



**Figura B. 5.** Diodo Zener 1N4742.

**Tabla B. 5.** Especificaciones técnicas.

<b>Características:</b>	
Disipación de potencia máxima:	1W
Temperatura de unión en funcionamiento:	200°C
Tensión Zener Vz:	12V
Tensión directa VF :	1,2 V
Corriente directa IF:	200 mA

**Transistor 2N3904**

Especificaciones:

**Tabla B. 6.** Especificaciones técnicas.

Disipación total del dispositivo (Pc):	0.31 W
Tensión colector-base (Ucb):	60 V
Tensión colector-emisor (Uce):	40 V
Tensión emisor-base (Ueb):	6 V
Potencia total disipada (Pd):	625 mW
Corriente del colector DC máxima (Ic):	0.2 A
Temperatura operativa máxima (Tj), :	150 °C
Polaridad de transistor:	NPN
Ganancia o hfe entre:	30 -300 (hfe)
Frecuencia de trabajo:	300 Mhz (Ft)

**Condensador 1000uF / 50V****Figura B. 6.** Condensador 1000uF.

Especificaciones:

**Tabla B. 7.** Especificaciones técnicas.

Encapsulado:	Electrolítico de Aluminio
Estructura:	Radial
Montaje:	Trough Hole
Capacitancia:	1000uF
Voltaje:	50V
Temperatura de operación:	-40°C a +85°C
Tolerancia:	+/-20% a 20°C y 120Hz
Corriente de fuga:	3uA (máx.)

**Condensador 3300uF / 50V**

Especificaciones:

**Tabla B. 8.** Especificaciones técnicas.

Encapsulado:	Electrolítico de Aluminio
Estructura:	Radial
Montaje:	Trough Hole
Capacitancia:	3300uF
Voltaje:	50V
Temperatura de operación:	-40°C a +85°C
Tolerancia:	+/-20% a 20°C y 120Hz
Corriente de fuga:	3uA (máx)

**Relay 12VDC**



**Figura B. 7. Relay 12VDC.**

### Configuración de pines

**Tabla B. 9. Configuración de pines.**

Número de PIN	Nombre de PIN	Descripción
1	Extremo de la bobina 1	Se utiliza para activar (encendido / apagado) el relé, normalmente un extremo está conectado a 12V y el otro extremo a tierra
2	Extremo de la bobina 2	Se utiliza para activar (encendido / apagado) el relé, normalmente un extremo está conectado a 12V y el otro extremo a tierra
3	Común (COM)	El común está conectado a un extremo de la carga que se va a controlar.
4	Normalmente cerrado (NC)	El otro extremo de la carga está conectado a NA o NC. Si está conectado a NC, la carga permanece conectada antes del disparo.
5	Normalmente abierto (NO)	El otro extremo de la carga está conectado a NA o NC. Si está conectado a NO, la carga permanece desconectada antes del disparo.

**Batería 12VDC**



**Figura B. 8.** Batería 12VDC.

**Características**

- No necesita mantenimiento (no necesita rellenar con agua).
- Sin ácido libre (batería no derramable).
- Se puede utilizar en cualquier orientación (excluyendo el uso invertido).
- La batería está diseñada para una alta tasa de uso.
- Su vida útil es de hasta 5 años en aplicación flotante.
- Tecnología de vidrio absorbente para una eficiente recombinación de gases.
- La densidad de potencia a una tasa de descarga de 5 min~15min es un 30% superior a la de la serie BP.

**Materiales del sistema de Medición**

**Arduino Mega 2560 R3**



**Figura B.9.** Arduino Mega2560.

Especificaciones técnicas:

**Tabla B. 10.** Configuración de Arduino Mega 2560.

Microcontrolador:	ATmega2560.
Voltaje Operativo:	5V.
Voltaje de Entrada:	7-12V.
Voltaje de Entrada (límites):	6-20V.
Pines digitales de Entrada/Salida:	54 (de los cuales 15 proveen salida PWM).
Pines análogos de entrada:	16.
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida:	40 mA.
Corriente DC entregada en el Pin 3.3V:	50 mA.
Memoria Flash:	256 KB (8KB usados por el bootloader).
SRAM:	8KB.
EEPROM:	4KB.
Clock Speed:	16 MHz.

**Sensor de corriente SCT013 100A / 1V**



**Figura B. 10.** Sensor de corriente SCT-013.

Especificaciones:

**Tabla B. 11.** Especificaciones.

Corriente de entrada:	0~100A AC.
Modo de salida:	0-1V.
No linealidad:	±3%.
Relación:	100A:0.05A.
Resistencia Grado:	Grado B.
Temperatura de trabajo:	-25 ° C ~ + 70 ° C.
Rigidez dieléctrica (entre la cáscara y la salida):	1000V AC/1min 5mA.
Longitud del cable:	100cm.
Plug :	3.5mm.
Dimensiones:	Características:
Peso:	36x57x21 mm.
Marca:	73 g.
Cantidad:	OEM.

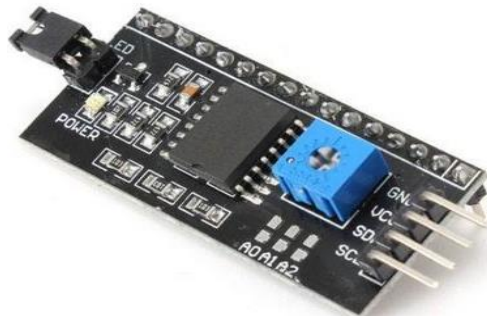
**Sensor de Voltaje ZMPT101B****Figura B. 11.** Sensor de voltaje ZMPT101B.

Especificaciones:

**Tabla B. 12.** Especificaciones.

Voltaje de alimentación:	3,3V – 5VDC.
Voltaje alterno de entrada:	250VAC máx.
Voltaje alterno de salida:	Onda senoidal 5VAC máx.
Señal de salida:	Analógica senoidal.
Dimensiones:	5 cm x 2 cm x 2,4 cm.
Corriente nominal de entrada y salida:	2mA.
Ratio entrada-salida 1000:	1000.
Diferencia de fase:	<30° (A 50ohm).
Rango lineal:	0-3mA (a 50ohm).
Linealidad:	1%.
Precisión:	0.2%.
Aislamiento eléctrico entrada:	Hasta 3000V.

### Módulo I2C



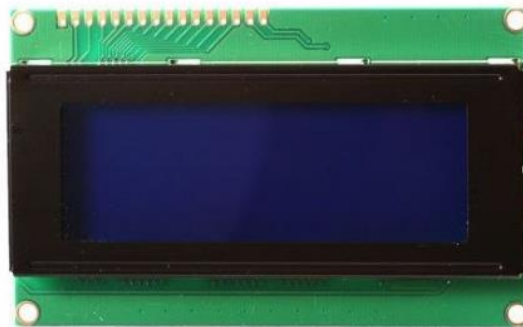
**Figura B. 12.** Módulo I2C.

Especificaciones:

**Tabla B. 13.** Especificaciones.

Microcontrolador:	ATMEL ATMEGA328
Voltaje de entrada:	5V~9V
Voltaje de salida:	3,3V/5V
Pines digitales entradas/salidas:	14
Pines analógicos entradas/salidas:	6
Interfaz (protocolo):	I2C/TWI/SPI
Potenciómetro:	Ajustar contraste y luz de fondo
Líneas de salida:	4
Dirección del dispositivo:	0x20/0x27
Tamaño:	Tamaño: 5,4cm x 1,9cm
Peso:	16 gramos

#### Pantalla LCD 20x4



**Figura B. 13.** Pantalla de cristal líquido 20x4.

Características:

**Tabla B. 14.** Características pantalla LCD.

Alimentación:	5V
Interfaz:	paralelo 4 o 8 bits
Medidas:	98x60x14 mm
Área útil:	76x26 mm
Tamaño de carácter:	2,95x4,75 mm
Peso:	78 gramos

## LM358



**Figura B.14.** Amplificador operacional LM358.

Características:

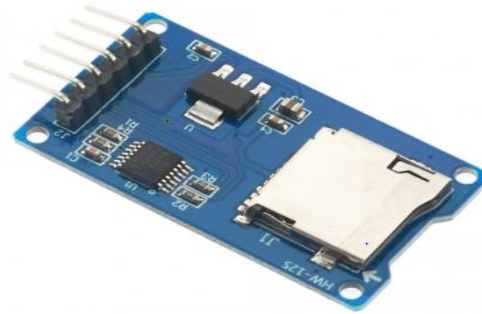
**Tabla B. 15.** Características, parte 1.

Voltaje de alimentación:	3 – 32 volts.
Voltaje offset de entrada:	7mV.
Corriente de salida por canal:	30 mA.
Corriente de suministro operativa:	350 uA.
Tipo:	Amplificador Operacional.
Pines:	8 pines.
Velocidad de precesión:	0,3 V/us.

**Tabla B. 16.** Características, parte 2.

Ganancia de voltaje:	100 dB.
Número de canales:	2 canales.
Frecuencia de ancho de banda (GBP):	700 KHz.
Temperatura de trabajo:	0 a 70 °C.

**Módulo lector de memoria micro SD card**



**Figura B. 15.** Módulo SD.

**Tabla B. 17.** Características.

Voltaje de trabajo	5V
Interfaz	SPI
Pines	MOSI, MISO, SCK, CS

**Regulador lm7805**



**Figura B. 16.** Regulador de tensión LM7805.

Características:

**Tabla B. 18.** Características.

Dropout Voltage:	2V típicamente
Salida de voltaje:	5V
Temperatura de operación:	0°C ~ 125°C
Encapsulado:	TO220

**Reloj en tiempo real (DS3231)**



**Figura B. 17.** Reloj de tiempo real (RTC).

**Tabla B. 19.** Características.

Voltaje de trabajo	3,3V-5V
Interfaz:	I2C
Formato de operación	24horas

### Anexo C: Calibración y Pruebas

Estas pruebas se realizaron en un lapso de tiempo de cada 10 minutos



Figura C. 1. Medición de voltaje.



Figura C. 2. Medición de corriente.



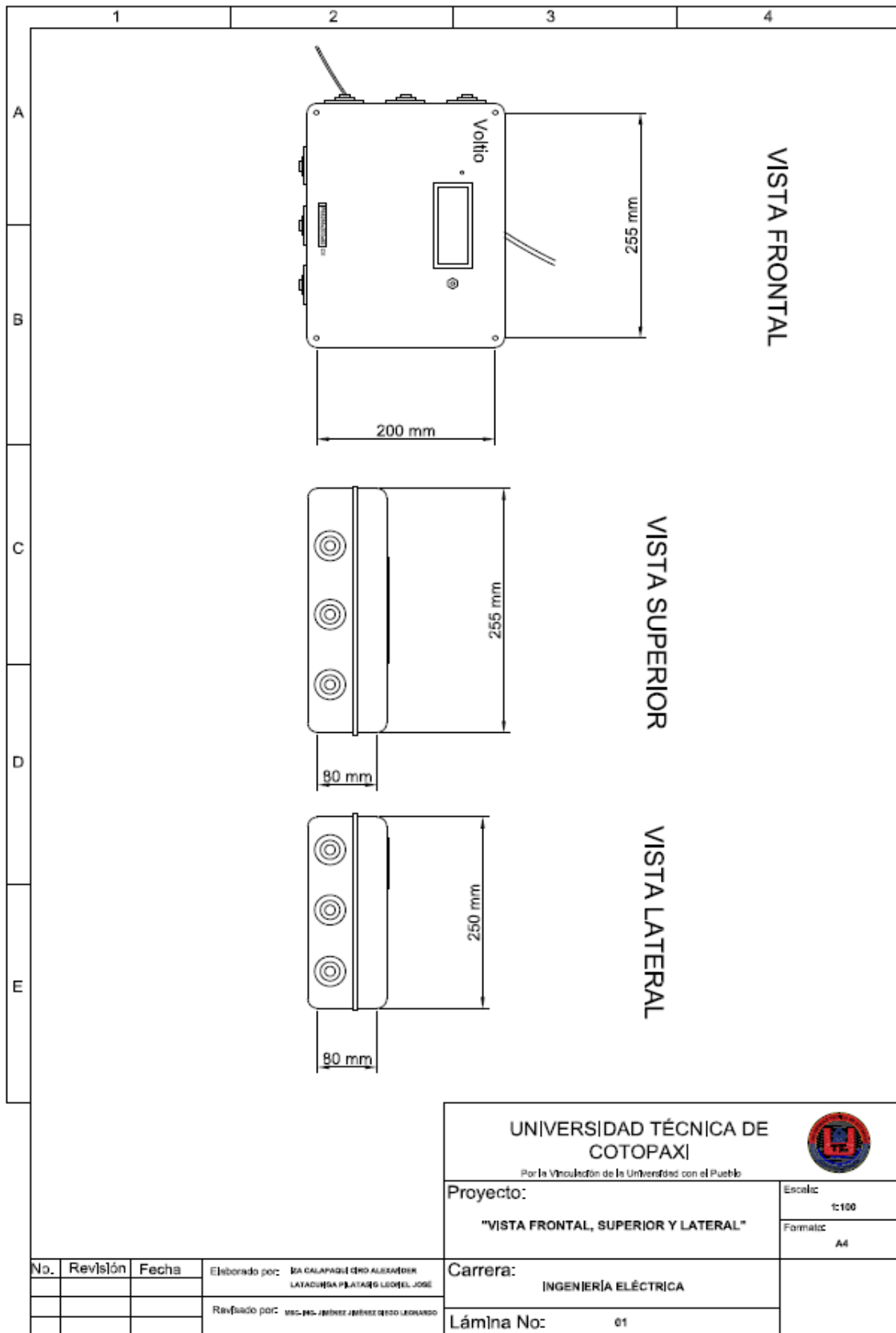


Figura D.3. Dimensiones del prototipo.

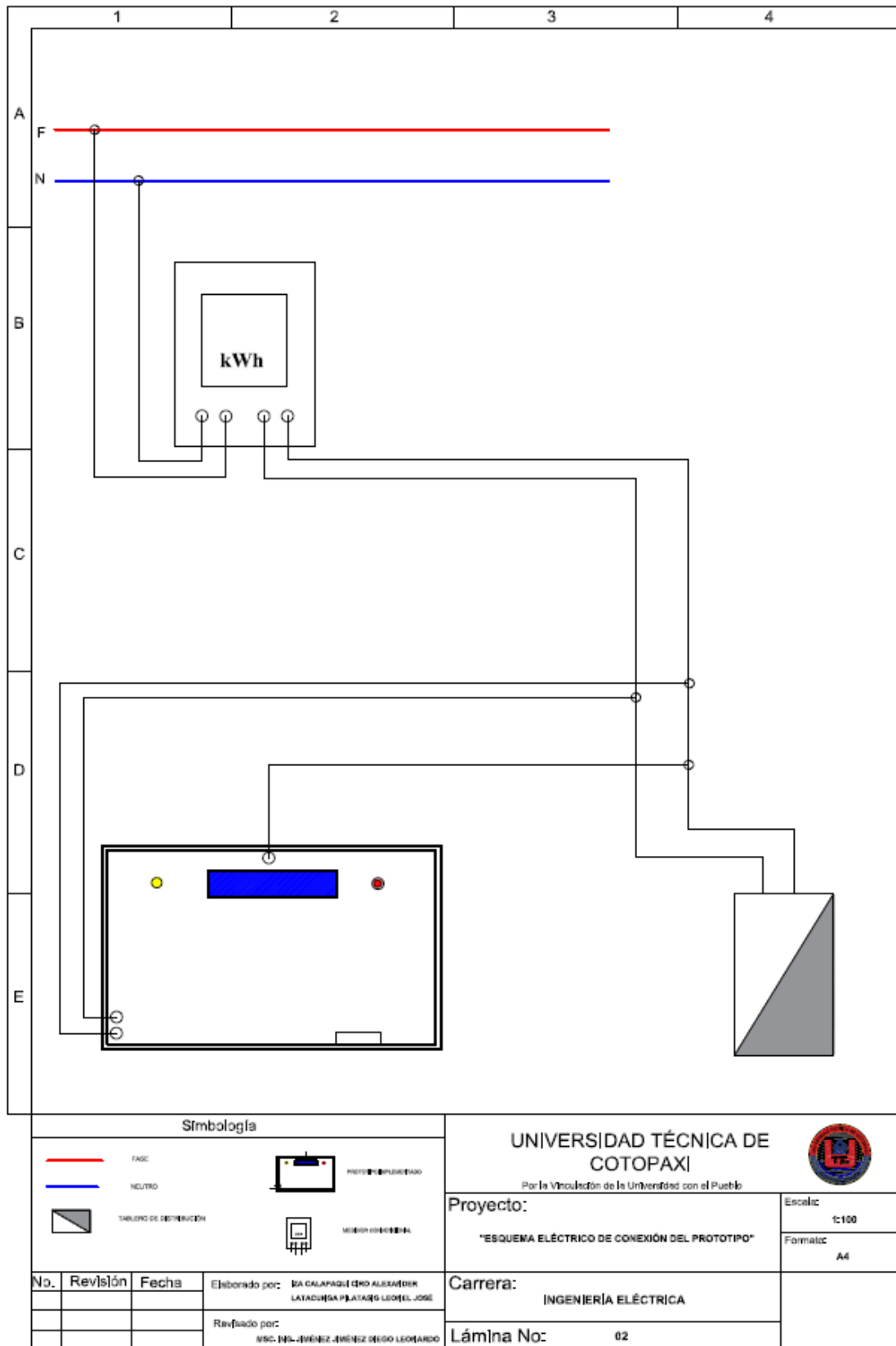


Figura D.4. Conexión eléctrica del prototipo.

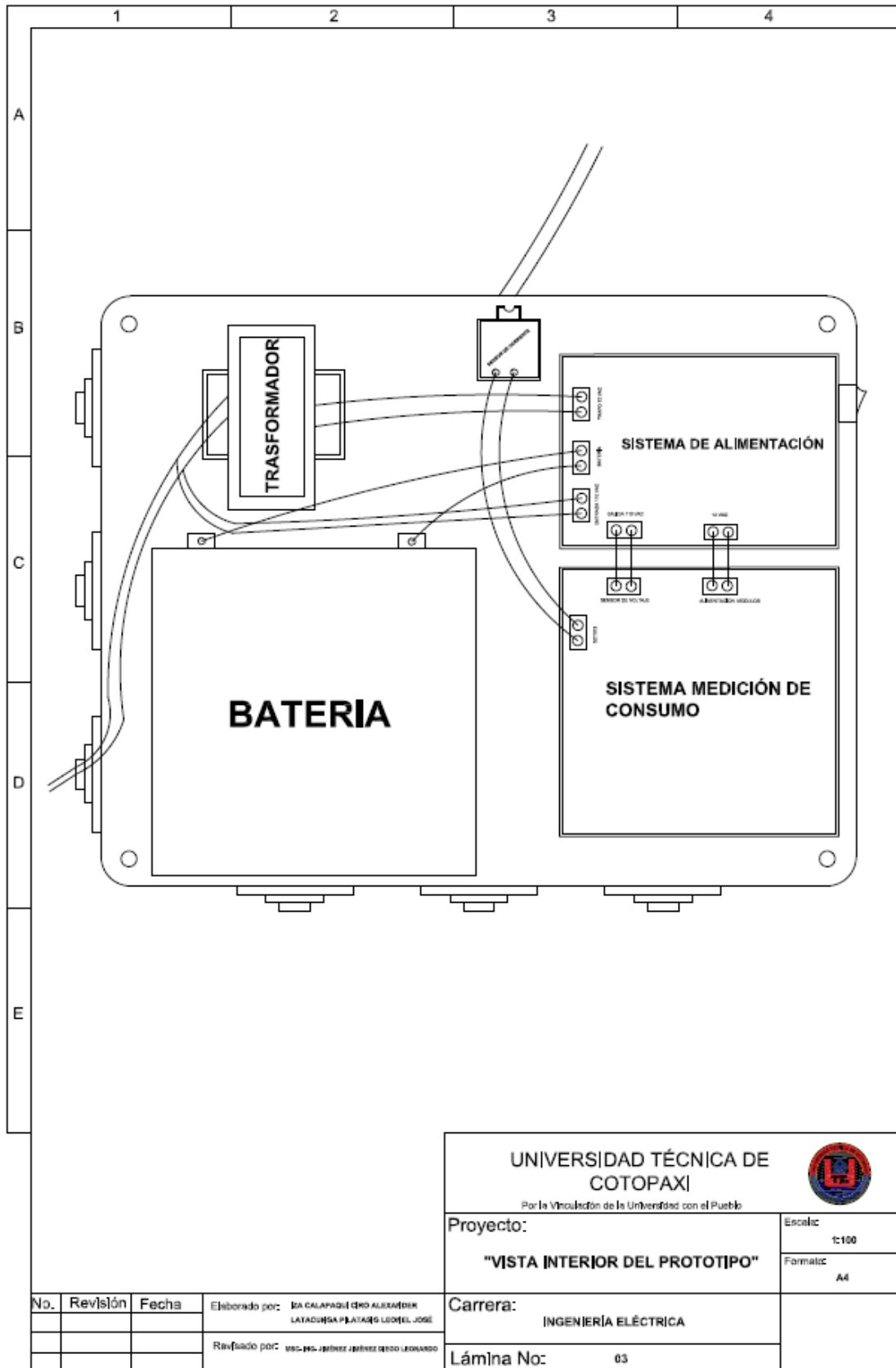


Figura D.5 Vista interior del prototipo.

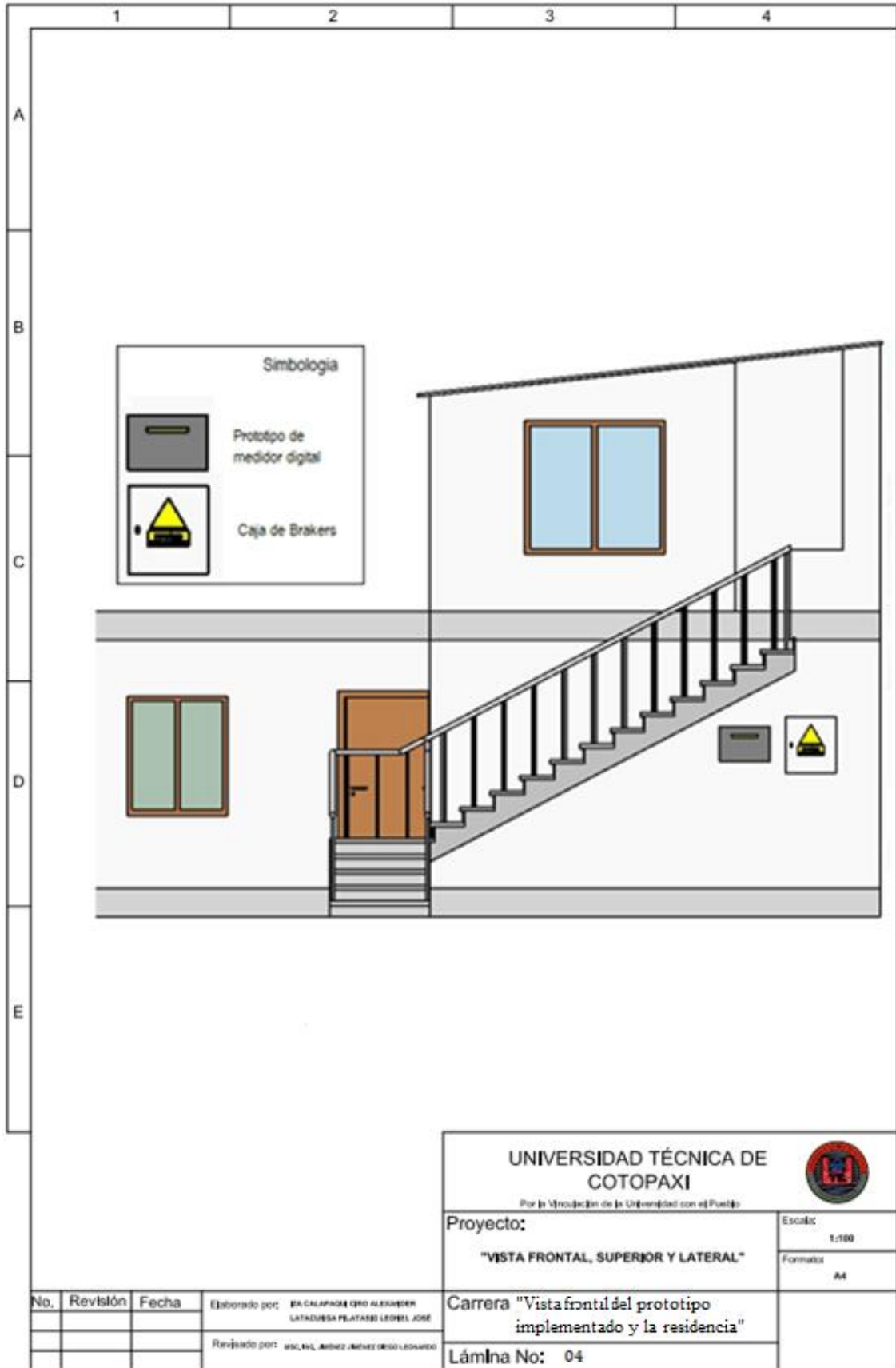
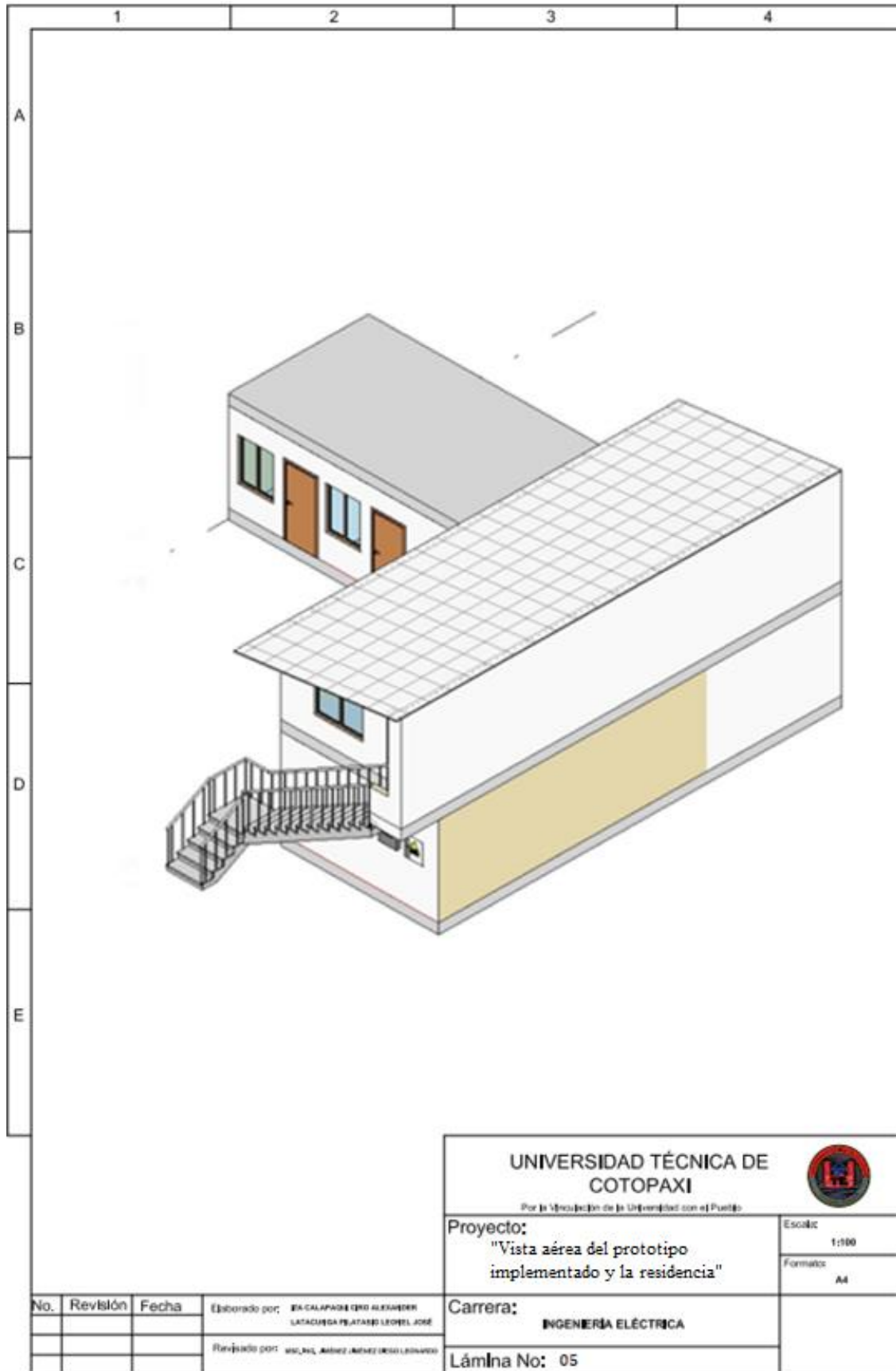


Figura D.6. Vista frontal del prototipo implementado a la residencia.



**Figura D.7.** Vista aérea de la residencia.