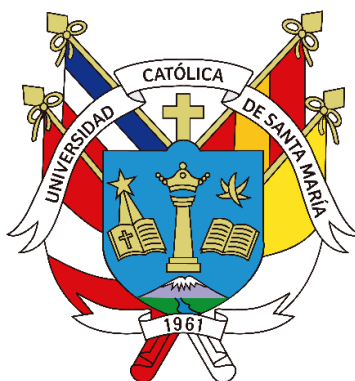


# **Universidad Católica de Santa María**

## **Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**

### **Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica**



### **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MEDIDOR INTELIGENTE MONOFÁSICO PARA EL MONITOREO DE ENERGÍA EN HOGARES EMPLEANDO TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS (IOT)”**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Quilla Cruz, Dustin Pedro**

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero Mecatrónico**

Asesor:

**Dr. Quispe Ccachuco, Marcelo  
Jaime**

**Arequipa - Perú**

**2023**

# DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 01 de Mayo del 2023

Dictamen: 004280-C-EPIMMEM-2023

Visto el borrador del expediente 004280, presentado por:

**2013801261 - QUILLA CRUZ DUSTIN PEDRO**

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MEDIDOR INTELIGENTE MONOFÁSICO  
PARA EL MONITOREO DE ENERGÍA EN HOGARES EMPLEANDO TECNOLOGÍA DE INTERNET DE  
LAS COSAS (IOT)**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29592341 - MESTAS RAMOS SERGIO ORLANDO**  
**DICTAMINADOR**



**29277716 - CUADROS MACHUCA JUAN CARLOS**  
**DICTAMINADOR**



**46292714 - SILES NATES FERNANDO DAVID**  
**DICTAMINADOR**



# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE MEDIDOR INTELIGENTE MONOFÁSICO PARA EL MONITOREO DE ENERGÍA EN HOGARES EMPLEANDO TECNOLOGÍA DE INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

## INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|   |                                                           |      |
|---|-----------------------------------------------------------|------|
| 1 | <b>barbaraiot.com</b><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 2 | <b>manualzz.com</b><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 3 | <b>digibuo.uniovi.es</b><br>Fuente de Internet            | <1 % |
| 4 | <b>wikihastags.com</b><br>Fuente de Internet              | <1 % |
| 5 | <b>repository.unad.edu.co</b><br>Fuente de Internet       | <1 % |
| 6 | <b>mail.polodelconocimiento.com</b><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 7 | <b>repositorio.utc.edu.ec</b><br>Fuente de Internet       | <1 % |
| 8 | Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego           | <1 % |

|    |                                                                                            |      |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 9  | <a href="http://www.grafiat.com">www.grafiat.com</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 10 | Submitted to usach<br>Trabajo del estudiante                                               | <1 % |
| 11 | <a href="http://www.doccity.com">www.doccity.com</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 12 | Submitted to Universidad Tecnológica Israel<br>Trabajo del estudiante                      | <1 % |
| 13 | <a href="http://manglar.uninorte.edu.co">manglar.uninorte.edu.co</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | <a href="http://dspace.usalca.cl">dspace.usalca.cl</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 15 | Submitted to CONACYT<br>Trabajo del estudiante                                             | <1 % |
| 16 | <a href="http://unamba.edu.pe">unamba.edu.pe</a><br>Fuente de Internet                     | <1 % |
| 17 | Submitted to Universidad de Pamplona<br>Trabajo del estudiante                             | <1 % |
| 18 | <a href="http://mriuc.bc.uc.edu.ve">mriuc.bc.uc.edu.ve</a><br>Fuente de Internet           | <1 % |
| 19 | <a href="http://resources.altium.com">resources.altium.com</a><br>Fuente de Internet       | <1 % |
| 20 | <a href="http://www.ptolomeo.unam.mx:8080">www.ptolomeo.unam.mx:8080</a>                   |      |



<1 %

21

Moral Perea Bernardo del. "Diseño, implantación y validación de protocolos y software de comunicaciones digitales para transmitir imágenes de satélite pequeño a estación terrena", TESIUNAM, 2016

Publicación

<1 %

22

[dspace.unila.edu.br](https://dspace.unila.edu.br)

Fuente de Internet

<1 %

23

[pt.slideshare.net](https://pt.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

24

[cybertesis.uach.cl](https://cybertesis.uach.cl)

Fuente de Internet

<1 %

25

[vicorob.udg.es](https://vicorob.udg.es)

Fuente de Internet

<1 %

26

Submitted to Universidad de Burgos UBUCEV

Trabajo del estudiante

<1 %

27

Submitted to Universidad de Valladolid

Trabajo del estudiante

<1 %

28

[edu.sacolife.com](https://edu.sacolife.com)

Fuente de Internet

<1 %

29

[repositorio.ulacit.ac.cr](https://repositorio.ulacit.ac.cr)

Fuente de Internet

<1 %

[repositorio.unjbg.edu.pe](https://repositorio.unjbg.edu.pe)

30

Fuente de Internet

&lt;1 %

31

[sedici.unlp.edu.ar](http://sedici.unlp.edu.ar)

Fuente de Internet

&lt;1 %

32

Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

33

[virtual.urbe.edu](http://virtual.urbe.edu)

Fuente de Internet

&lt;1 %

34

[www.carelec.gob.pe](http://www.carelec.gob.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

35

[montsecelestin.blogspot.com](http://montsecelestin.blogspot.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

36

Ramírez Pulido Adolfo Antonio. "Estudio de acceso inalámbrico a Internet en CU", TESIUNAM, 2007

Publicación

&lt;1 %

37

[idus.us.es](http://idus.us.es)

Fuente de Internet

&lt;1 %

38

[repositorio.upn.edu.pe](http://repositorio.upn.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

39

[www.dspace.espol.edu.ec](http://www.dspace.espol.edu.ec)

Fuente de Internet

&lt;1 %

40

[www.taringa.net](http://www.taringa.net)

Fuente de Internet

&lt;1 %

|    |                                                                                                                                                      |      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 41 | Armas Santillán Eder. "Definiciones de potencia en estado senoidal permanente y en estado no senoidal", TESIUNAM, 2015<br>Publicación                | <1 % |
| 42 | <a href="https://docs.arduino.cc">docs.arduino.cc</a><br>Fuente de Internet                                                                          | <1 % |
| 43 | <a href="https://dspace.ucacue.edu.ec">dspace.ucacue.edu.ec</a><br>Fuente de Internet                                                                | <1 % |
| 44 | <a href="https://opac.fmoues.edu.sv">opac.fmoues.edu.sv</a><br>Fuente de Internet                                                                    | <1 % |
| 45 | <a href="http://www.4singenieria.com">www.4singenieria.com</a><br>Fuente de Internet                                                                 | <1 % |
| 46 | López de Jesús Luis Alberto. "Sistema electrónico para el control de una dirección diferencial con motores Brushless", TESIUNAM, 2012<br>Publicación | <1 % |
| 47 | <a href="https://developer.sensirion.com">developer.sensirion.com</a><br>Fuente de Internet                                                          | <1 % |
| 48 | <a href="https://docs.thinger.io">docs.thinger.io</a><br>Fuente de Internet                                                                          | <1 % |
| 49 | <a href="https://idetec.frv.m.UTN.edu.ar">idetec.frv.m.UTN.edu.ar</a><br>Fuente de Internet                                                          | <1 % |
| 50 | <a href="https://informacionestadistica.uagro.mx">informacionestadistica.uagro.mx</a><br>Fuente de Internet                                          | <1 % |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 51 | <a href="http://uelectronics.com">uelectronics.com</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                                                                                                                                | <1 % |
| 52 | <a href="http://edoc.pub">edoc.pub</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                                                                                                                                                | <1 % |
| 53 | <a href="http://programarfácil.com">programarfácil.com</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                                                                                                                            | <1 % |
| 54 | <a href="http://www.bioteq.ca">www.bioteq.ca</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                                                                                                                                      | <1 % |
| 55 | <a href="http://www.buenastareas.com">www.buenastareas.com</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                                                                                                                        | <1 % |
| 56 | Rogelio Jose Gonzalez Gonzalez, Alejandro Espinosa Calderon, Raul Santiago Montero, Antonio Zamarron Ramirez et al. "FPGA Embedded System for Non-Invasive Current Measurement in Induction Motors", 2021 IEEE International Summer Power Meeting/International Meeting on Communications and Computing (RVP-AI/ROC&C), 2021<br>Publicación | <1 % |
| 57 | Submitted to <a href="http://consultoriadeserviciosformativos">consultoriadeserviciosformativos</a><br>Trabajo del estudiante                                                                                                                                                                                                               | <1 % |
| 58 | Domínguez Valdez Abraham. "Análisis y aplicación de los componentes                                                                                                                                                                                                                                                                         | <1 % |

## semiconductores de potencia", TESIUNAM, 2002

Publicación

59

Hernández Padilla Flor. "Plan de manejo integral de residuos sólidos en la industria hotelera. Caso estudio : Hotel Emporio Ixtapa", TESIUNAM, 2010

Publicación

<1 %

60

Romero Perez Jorge. "Diseño y elaboracion del manual de practicas de medicion e instrumentacion para el laboratorio de maquinas electricas", TESIUNAM, 2005

Publicación

<1 %

61

Submitted to Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac

Trabajo del estudiante

<1 %

62

[lorca.umh.es](http://lorca.umh.es)

Fuente de Internet

<1 %

63

[programadelfin.org.mx](http://programadelfin.org.mx)

Fuente de Internet

<1 %

64

[www.ilustrados.com](http://www.ilustrados.com)

Fuente de Internet

<1 %

65

[www.upo.es](http://www.upo.es)

Fuente de Internet

<1 %

66

[docsonline.wto.org](http://docsonline.wto.org)

Fuente de Internet

<1 %

67

[repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar)

Fuente de Internet

&lt;1 %

68

Arredondo Garza José Antonio de Jesús.  
"Diseno y construccion de un control de par y  
velocidad de un motor de C.D. por medio de  
un microprocesador", TESIUNAM, 1984

Publicación

&lt;1 %

69

Javier Rojas-Cárdenas, Yeison Estiven Otavo-  
Vargas. "Estudio y diseño de módulo de  
transmisión autónoma de lectura de  
contadores de energía eléctrica integrado a  
IoT", Revista Ontare, 2020

Publicación

&lt;1 %

70

[ablacas15tic.blogspot.com](https://ablacas15tic.blogspot.com)

Fuente de Internet

&lt;1 %

71

[es.unionpedia.org](https://es.unionpedia.org)

Fuente de Internet

&lt;1 %

72

Submitted to Corporación Universitaria del  
Caribe

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

73

Escalona Camarillo Jesús Martín. "Desarrollo  
de un radiómetro portátil para la medición del  
índice de radiación ultravioleta con bitácora  
de lecturas", TESIUNAM, 2022

Publicación

&lt;1 %

|    |                                                                                                                                                                                        |      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 74 | Submitted to Universidad Tecnologica del Peru<br>Trabajo del estudiante                                                                                                                | <1 % |
| 75 | portaldeinformacao.utfpr.edu.br<br>Fuente de Internet                                                                                                                                  | <1 % |
| 76 | repositorio.ucsp.edu.pe<br>Fuente de Internet                                                                                                                                          | <1 % |
| 77 | repositorio.ujcm.edu.pe<br>Fuente de Internet                                                                                                                                          | <1 % |
| 78 | visorsig.oefa.gob.pe<br>Fuente de Internet                                                                                                                                             | <1 % |
| 79 | Álvarez Mendoza María Fernanda. "Modelado y simulación de un sistema híbrido: eólico-celda de combustible con generación y almacenamiento de hidrógeno", TESIUNAM, 2013<br>Publicación | <1 % |
| 80 | Hernández Soto Alfonso. "Efectos de las redes de cuarta generación (lte) en México : visión presente y futura", TESIUNAM, 2014<br>Publicación                                          | <1 % |
| 81 | Submitted to Systems Link<br>Trabajo del estudiante                                                                                                                                    | <1 % |
| 82 | Submitted to Universidad Catolica De Cuenca<br>Trabajo del estudiante                                                                                                                  | <1 % |

|    |                                                                                                                                                                       |      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 83 | <a href="https://repositorioinstitucional.uabc.mx">repositorioinstitucional.uabc.mx</a><br>Fuente de Internet                                                         | <1 % |
| 84 | <a href="https://revistas.udistrital.edu.co">revistas.udistrital.edu.co</a><br>Fuente de Internet                                                                     | <1 % |
| 85 | Submitted to unasam<br>Trabajo del estudiante                                                                                                                         | <1 % |
| 86 | <a href="http://www.noie-kaleidoscope.org">www.noie-kaleidoscope.org</a><br>Fuente de Internet                                                                        | <1 % |
| 87 | <a href="http://1library.org">1library.org</a><br>Fuente de Internet                                                                                                  | <1 % |
| 88 | Submitted to Universidad de León<br>Trabajo del estudiante                                                                                                            | <1 % |
| 89 | <a href="http://hemeroteca.unad.edu.co">hemeroteca.unad.edu.co</a><br>Fuente de Internet                                                                              | <1 % |
| 90 | <a href="https://repositorio.upch.edu.pe">repositorio.upch.edu.pe</a><br>Fuente de Internet                                                                           | <1 % |
| 91 | <a href="http://tr-ex.me">tr-ex.me</a><br>Fuente de Internet                                                                                                          | <1 % |
| 92 | <a href="http://www.gavazziautomation.com">www.gavazziautomation.com</a><br>Fuente de Internet                                                                        | <1 % |
| 93 | Garza Macedo José Ángel de la. "Diseño y construcción de un robot cartesiano para aplicaciones en la impresión 3D monitoreado por IoT", TESIUNAM, 2022<br>Publicación | <1 % |



94

Jose Velazquez Varela. "ESTUDIO DE LOS ESPECTROS DIELECTRICOS EN ALIMENTOS CON ESTRUCTURA COLOIDAL", Universitat Politecnica de Valencia, 2014

Publicación

&lt;1 %

95

Juan Suardiaz Muro. "", IEEE Latin America Transactions, 9/2006

Publicación

&lt;1 %

96

López Ramírez Julio César, Neria Martínez Adolfo Jonathan. "Manual de operación y mantenimiento de la red eléctrica en media tensión de Ciudad Universitaria UNAM", TESIUNAM, 2015

Publicación

&lt;1 %

97

Ventura Agustin Paulina, Guerrero Quintero Vicente Javier. "Desarrollo de herramientas de software para el análisis de sistemas estructurales", TESIUNAM, 1996

Publicación

&lt;1 %

98

face.el.uma.es

Fuente de Internet

&lt;1 %

99

gitlab.fdmci.hva.nl

Fuente de Internet

&lt;1 %

100

rcta.unah.edu.cu

Fuente de Internet

&lt;1 %

101

riunet.upv.es

Fuente de Internet

<1 %

---

102 [ruidera.uclm.es](http://ruidera.uclm.es)  
Fuente de Internet

<1 %

---

103 [vdocuments.mx](http://vdocuments.mx)  
Fuente de Internet

<1 %

---

104 [www.blackstormnetworks.com](http://www.blackstormnetworks.com)  
Fuente de Internet

<1 %

---

105 [www.clap.ops-oms.org](http://www.clap.ops-oms.org)  
Fuente de Internet

<1 %

---

106 [www.inforpressca.com](http://www.inforpressca.com)  
Fuente de Internet

<1 %

---

107 [www.sonel.pl](http://www.sonel.pl)  
Fuente de Internet

<1 %

---

108 "Nuevos sistemas de medición en el mercado eléctrico chileno", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2013  
Publicación

<1 %

---

109 Alvarado Lara Erik Alejandro. "Automatizacion de una planta de tratamiento de aguas residuales", TESIUNAM, 2002  
Publicación

<1 %

---

110 Delgadillo Martínez Oscar Alejandro. "Diseño e implementación de un dispositivo

<1 %

automático y energéticamente autónomo  
para ahuyentar canes", TESIUNAM, 2017

Publicación

- 
- 111 García Bautista Julio Cesar, Lozano Abascal Juan Carlos. "Análisis técnico económico para sustituir una subestación convencional en alta tensión por una subestación aislada en gas sf6", TESIUNAM, 2002

Publicación

- 
- 112 Javier Rodríguez García. "Metodología para la optimización del beneficio de la respuesta de la demanda en consumidores industriales: caracterización por procesos y aplicación", Universitat Politècnica de Valencia, 2021

Publicación

- 
- 113 Perez López Manuel. "Interfaz general para la adquisición y procesamiento de las señales procedentes de un detector infrarrojo de estado sólido", TESIUNAM, 1999

Publicación

- 
- 114 Submitted to Universidad de Málaga - Tii

Trabajo del estudiante

- 
- 115 biblioteca.icap.ac.cr

Fuente de Internet

- 
- 116 dl.dropboxusercontent.com

Fuente de Internet

|     |                                                                                                     |      |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 117 | Fuente de Internet                                                                                  | <1 % |
| 118 | <a href="https://dx.doi.org">dx.doi.org</a><br>Fuente de Internet                                   | <1 % |
| 119 | <a href="https://foro.galeon.com">foro.galeon.com</a><br>Fuente de Internet                         | <1 % |
| 120 | <a href="https://fr.slideshare.net">fr.slideshare.net</a><br>Fuente de Internet                     | <1 % |
| 121 | <a href="https://horoscopo.cubasi.cu">horoscopo.cubasi.cu</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 122 | <a href="https://kipdf.com">kipdf.com</a><br>Fuente de Internet                                     | <1 % |
| 123 | <a href="https://repositorio.autonoma.edu.pe">repositorio.autonoma.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 124 | <a href="https://repositorio.tecnm.mx:8080">repositorio.tecnm.mx:8080</a><br>Fuente de Internet     | <1 % |
| 125 | <a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a><br>Fuente de Internet         | <1 % |
| 126 | <a href="https://searchworks-lb.stanford.edu">searchworks-lb.stanford.edu</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 127 | <a href="https://serdis.dis.ulpgc.es">serdis.dis.ulpgc.es</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 128 | <a href="https://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a><br>Fuente de Internet   | <1 % |

|     |                                                                                                                                                                                                                                           |      |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 129 | <a href="http://www.engormix.com">www.engormix.com</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                              | <1 % |
| 130 | <a href="http://www.fisicarecreativa.com">www.fisicarecreativa.com</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                              | <1 % |
| 131 | <a href="http://www.infor.uva.es">www.infor.uva.es</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                              | <1 % |
| 132 | <a href="http://www.scoop.it">www.scoop.it</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                                      | <1 % |
| 133 | <a href="http://www.st.ryukoku.ac.jp">www.st.ryukoku.ac.jp</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                      | <1 % |
| 134 | <a href="http://www.tecmate.com.au">www.tecmate.com.au</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                          | <1 % |
| 135 | <a href="http://www.u-s-v.de">www.u-s-v.de</a><br>Fuente de Internet                                                                                                                                                                      | <1 % |
| 136 | Camacho Castañeda David, Gutierrez Ballinas Efrain Heradio, Cuevas Moreno Javier. "Diseño de un sistema de medicion remoto de los parametros funcionales y operativos de unidades de transporte terrestre", TESIUNAM, 1997<br>Publicación | <1 % |
| 137 | Carmona Reyes Pamela Gabriela. "Propuesta de prácticas de laboratorio para la materia de sistemas de distribución que se imparte en la                                                                                                    | <1 % |

## carrera de Ingeniería Eléctrica Electrónica de la FES Aragón UNAM", TESIUNAM, 2016

Publicación

- 
- |            |                                                                                                                                                                                                                       |                |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>138</b> | Carranza Becerra Luis Jorge. "Modelo de simulacion de flujo en tuberias de los pozos del campo Carmito", TESIUNAM, 1994                                                                                               | <b>&lt;1 %</b> |
| <hr/>      |                                                                                                                                                                                                                       |                |
| <b>139</b> | Cayetano Antonio Timoteo, Gómez Noguera David, Rodríguez Rivera Martín. "Diseño y construcción de un controlador digital basado en un microcontrolador de la familia 68HC908", TESIUNAM, 2009                         | <b>&lt;1 %</b> |
| <hr/>      |                                                                                                                                                                                                                       |                |
| <b>140</b> | Claudia Lucia Cortes Cortes, SANDRA XIMENA CARVAJAL QUINTERO, NEIL GUERRERO GONZALEZ. "Demand Side Management System Characterization for Residential Users in Manizales City", IEEE Latin America Transactions, 2021 | <b>&lt;1 %</b> |
| <hr/>      |                                                                                                                                                                                                                       |                |
| <b>141</b> | Corona Pérez Iván de Jesús. "Estudio e implementación de un sensor híbrido de partículas radioactivas", TESIUNAM, 2017                                                                                                | <b>&lt;1 %</b> |
| <hr/>      |                                                                                                                                                                                                                       |                |
| <b>142</b> | Gutiérrez Guzmán Blanca Erika. "Relación de la actividad oscilatoria theta de la vía septo-hipocampal y septo-mamilar durante el                                                                                      | <b>&lt;1 %</b> |

# aprendizaje espacial en ratas con alteración serotoninérgica septal", TESIUNAM, 2018

Publicación

---

|             |                                                                                                                        |      |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 143         | Joaquín Safont Vivas. "Simulador de Generador Eólico Doblemente Alimentado", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 | <1 % |
| Publicación |                                                                                                                        |      |

---

|             |                                                                     |      |
|-------------|---------------------------------------------------------------------|------|
| 144         | Oscar Mauricio Caicedo. "", IEEE Latin America Transactions, 6/2007 | <1 % |
| Publicación |                                                                     |      |

---

|             |                                                                                                              |      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 145         | Perez Ocharon Luis Roberto. "La poblacion y el desarrollo economico en el estado de Tabasco", TESIUNAM, 1982 | <1 % |
| Publicación |                                                                                                              |      |

---

|             |                                                                                                                                                                                                                  |      |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 146         | Thiago Angelino dos Santos, Filipe Gomes de Freitas, Diego Lima Carvalho Gonçalves, Luis Miguel Fernández-Ramírez. "Design and validation of IoT measurement system for photovoltaic generation", Ingenius, 2022 | <1 % |
| Publicación |                                                                                                                                                                                                                  |      |

---

|                        |                                                    |      |
|------------------------|----------------------------------------------------|------|
| 147                    | Submitted to Universidad Autónoma de Ciudad Juárez | <1 % |
| Trabajo del estudiante |                                                    |      |

---

|                    |                                                                              |      |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------|------|
| 148                | <a href="http://andres-murillo.blogspot.com">andres-murillo.blogspot.com</a> | <1 % |
| Fuente de Internet |                                                                              |      |

---

|                    |                                                                  |      |
|--------------------|------------------------------------------------------------------|------|
| 149                | <a href="http://b2b.partcommunity.com">b2b.partcommunity.com</a> | <1 % |
| Fuente de Internet |                                                                  |      |

---

|     |                                                                                                                |      |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 150 | <a href="http://cia.uagraria.edu.ec">cia.uagraria.edu.ec</a><br>Fuente de Internet                             | <1 % |
| 151 | <a href="http://doku.pub">doku.pub</a><br>Fuente de Internet                                                   | <1 % |
| 152 | <a href="http://dspace.unl.edu.ec">dspace.unl.edu.ec</a><br>Fuente de Internet                                 | <1 % |
| 153 | <a href="http://files.bbystatic.com">files.bbystatic.com</a><br>Fuente de Internet                             | <1 % |
| 154 | <a href="http://investigacion.unirioja.es">investigacion.unirioja.es</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 155 | <a href="http://jrolivasipi.wordpress.com">jrolivasipi.wordpress.com</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 156 | <a href="http://kelatos.com">kelatos.com</a><br>Fuente de Internet                                             | <1 % |
| 157 | <a href="http://libros.catedu.es">libros.catedu.es</a><br>Fuente de Internet                                   | <1 % |
| 158 | <a href="http://mcitp-70-433.blogspot.com">mcitp-70-433.blogspot.com</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 159 | <a href="http://mielelectronicafacil.com">mielelectronicafacil.com</a><br>Fuente de Internet                   | <1 % |
| 160 | <a href="http://prosjektbanken.forskningsradet.no">prosjektbanken.forskningsradet.no</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 161 | <a href="http://recercat.cat">recercat.cat</a><br>Fuente de Internet                                           | <1 % |



|     |                                                                                                                  |      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 162 | <a href="http://repositorio.ucp.edu.co">repositorio.ucp.edu.co</a><br>Fuente de Internet                         | <1 % |
| 163 | <a href="http://repositorio.unicauca.edu.co:8080">repositorio.unicauca.edu.co:8080</a><br>Fuente de Internet     | <1 % |
| 164 | <a href="http://repositorio.uta.cl">repositorio.uta.cl</a><br>Fuente de Internet                                 | <1 % |
| 165 | <a href="http://repositoriotec.tec.ac.cr">repositoriotec.tec.ac.cr</a><br>Fuente de Internet                     | <1 % |
| 166 | <a href="http://repository.udistrital.edu.co">repository.udistrital.edu.co</a><br>Fuente de Internet             | <1 % |
| 167 | <a href="http://repository.uin-suska.ac.id">repository.uin-suska.ac.id</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |
| 168 | <a href="http://rikain.com">rikain.com</a><br>Fuente de Internet                                                 | <1 % |
| 169 | <a href="http://rraae.cedia.edu.ec">rraae.cedia.edu.ec</a><br>Fuente de Internet                                 | <1 % |
| 170 | <a href="http://shop.arsam.es">shop.arsam.es</a><br>Fuente de Internet                                           | <1 % |
| 171 | <a href="http://transportesynegocios.wordpress.com">transportesynegocios.wordpress.com</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 172 | <a href="http://www.abcnet.es">www.abcnet.es</a><br>Fuente de Internet                                           | <1 % |
| 173 | <a href="http://www.allen-bradley.com">www.allen-bradley.com</a><br>Fuente de Internet                           | <1 % |

|     |                                                                                                                                                                  |      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 174 | <a href="http://www.att.com">www.att.com</a><br>Fuente de Internet                                                                                               | <1 % |
| 175 | <a href="http://www.consortio.org">www.consortio.org</a><br>Fuente de Internet                                                                                   | <1 % |
| 176 | <a href="http://www.ecologia.edu.mx">www.ecologia.edu.mx</a><br>Fuente de Internet                                                                               | <1 % |
| 177 | <a href="http://www.icco.org">www.icco.org</a><br>Fuente de Internet                                                                                             | <1 % |
| 178 | <a href="http://www.lycos.es">www.lycos.es</a><br>Fuente de Internet                                                                                             | <1 % |
| 179 | <a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a><br>Fuente de Internet                                                               | <1 % |
| 180 | <a href="http://www.sec.upm.es">www.sec.upm.es</a><br>Fuente de Internet                                                                                         | <1 % |
| 181 | Esparza Posadas Marcos Francisco. "Diseño de un coronógrafo para las estaciones de la red mexicana de meteoros "Citlalin tlamina", TESIUNAM, 2022<br>Publicación | <1 % |
| 182 | Maldonado Serrano Miguel Angel. "Manual de laboratorio de maquinas electricas", TESIUNAM, 1995<br>Publicación                                                    | <1 % |
| 183 | "Sistema motor-inversor "sensorless" para el arranque de vehículo híbrido "plug-in",                                                                             | <1 % |

- 
- 184 Gamiño Cruz Ernesto,Trejo Martinez David,García González Armando. "Desarrollo e implementacion de un sistema de evaluacion basado en el 6809", TESIUNAM, 1993

<1 %

Publicación

- 
- 185 Mujica Ortega Hoover. "Control no lineal basado en pasividad para alto desempeño en motores de inducción", TESIUNAM, 2016

<1 %

Publicación

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo

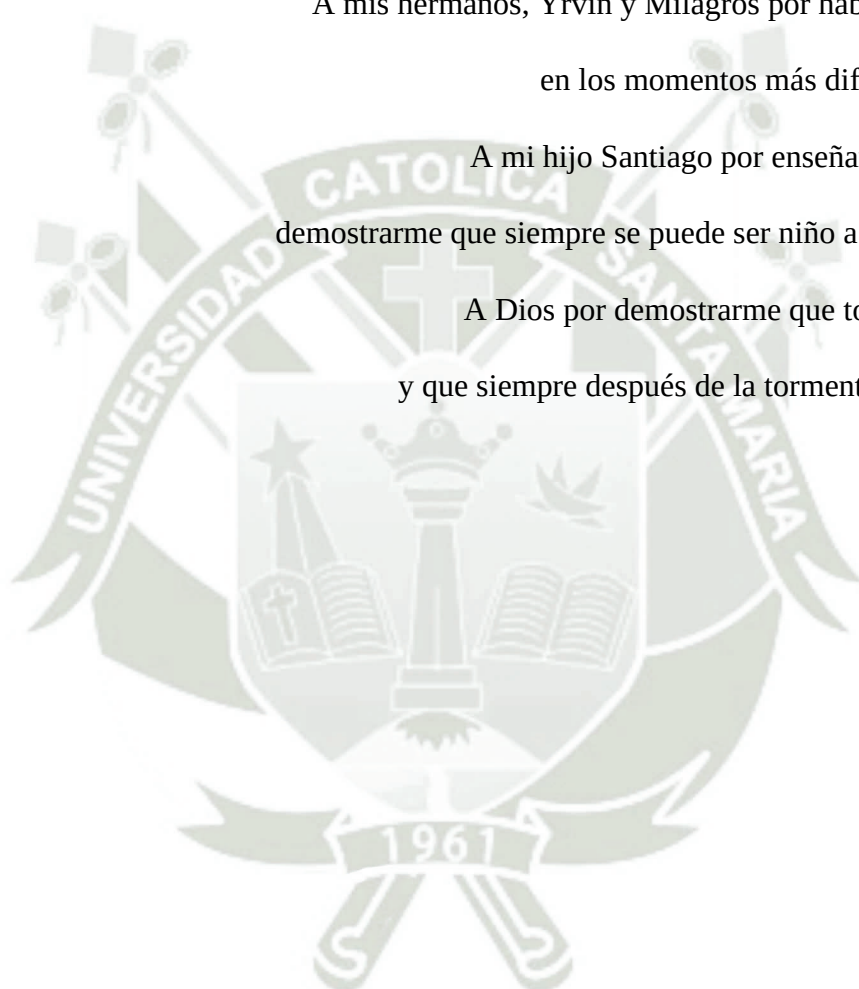
## DEDICATORIA

A mis padres, Eva y Pedro por haberme ayudado  
a crecer como persona ante las dificultades de la vida.

A mis hermanos, Yrvin y Milagros por haberme aconsejado  
en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi hijo Santiago por enseñarme a ser padre y  
demostrarme que siempre se puede ser niño a pesar de la edad.

A Dios por demostrarme que todo pasa por algo  
y que siempre después de la tormenta viene la calma.



## RESUMEN

La energía eléctrica juega un papel importante en nuestras vidas, en los últimos tiempos la medición del consumo energético en hogares se ha venido realizando de forma visual. Sin embargo, el avance tecnológico ha permitido la conexión de muchos dispositivos a internet, abriendo paso al mundo del internet de las cosas (IoT). En el presente proyecto se pretende emplear estas tecnologías para implementar un medidor inteligente de energía que brinde parámetros de voltaje, corriente, potencia y energía al usuario a través de internet. La información brindada a los usuarios resulta de gran utilidad para gestionar mejor el consumo de energía. Asimismo, la empresa distribuidora podrá actualizar el firmware a través de internet (OTA) y cambiar los parámetros que considere necesario.

**Palabras Claves:** Medidor Inteligente, IoT, OTA, Energia, Internet.

## ABSTRACT

Electrical energy plays an important role in our lives, in recent years energy consumption has been measure through visual inspection. However, technological advancement has allowed internet connection to many devices, opening a new world to the internet of things (IoT). In this project a smart meter is implemented to measure energy and give the user parameters of voltage, current, power and energy through internet. The given information is important because it helps the users manage their power consumption in a better way. The electrical distribution company can update the firmware through internet (OTA) and change parameters that they consider necessary.

**Keywords:** Smart Meter, IoT, OTA, Energy, Internet.



## ÍNDICE

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| DICTAMEN APROBATORIO.....                              | I   |
| DEDICATORIA.....                                       | II  |
| RESUMEN .....                                          | III |
| ABSTRACT .....                                         | IV  |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                | IX  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                  | XI  |
| INTRODUCCIÓN.....                                      | 1   |
| 1. MARCO METODOLÓGICO.....                             | 3   |
| 1.1. Enunciado del Problema .....                      | 3   |
| 1.2. Identificación del problema .....                 | 3   |
| 1.3. Descripción del problema .....                    | 3   |
| 1.4. Área de conocimiento .....                        | 4   |
| 1.5. Antecedentes.....                                 | 5   |
| 1.6. Objetivos.....                                    | 8   |
| 1.6.1. Objetivo general .....                          | 8   |
| 1.6.2. Objetivos específicos.....                      | 8   |
| 1.7. Interrogante principal.....                       | 9   |
| 1.8. Hipótesis .....                                   | 9   |
| 1.9. Variables .....                                   | 9   |
| 1.10. Justificación.....                               | 10  |
| 1.10.1. Justificación social.....                      | 10  |
| 1.10.2. Justificación económica.....                   | 10  |
| 1.11. Alcances y limitaciones.....                     | 10  |
| 1.11.1. Alcances.....                                  | 10  |
| 1.11.2. Limitaciones.....                              | 11  |
| 1.12. Metodología para el desarrollo del proyecto..... | 12  |
| 1.13. Tipo de proyecto .....                           | 12  |
| 2. MARCO TEÓRICO.....                                  | 14  |
| 2.1. Corriente Alterna Monofásica.....                 | 14  |
| 2.2. Parámetros de la energía eléctrica.....           | 15  |
| 2.2.1. Voltaje .....                                   | 15  |
| 2.2.2. Corriente .....                                 | 15  |

|         |                                                                        |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.3.  | Potencia .....                                                         | 16 |
| 2.2.4.  | Energía.....                                                           | 17 |
| 2.2.5.  | Factor de Potencia .....                                               | 17 |
| 2.3.    | Medidores Convencionales de Energía Eléctrica .....                    | 18 |
| 2.3.1.  | Medidores Electromecánicos.....                                        | 18 |
| 2.3.2.  | Medidores electromecánicos con registrador electrónico (HÍBRIDO) ..... | 18 |
| 2.4.    | Medición Inteligente .....                                             | 19 |
| 2.5.    | Red Inteligente (Smart Grid) .....                                     | 20 |
| 2.6.    | Transformadores de medida.....                                         | 22 |
| 2.6.1.  | Transformadores de Medida de Corriente (CT o TC) .....                 | 22 |
| 2.6.2.  | Transformadores de Medida de Tensión .....                             | 23 |
| 2.7.    | Placas de Desarrollo.....                                              | 23 |
| 2.7.1.  | Arduino.....                                                           | 24 |
| 2.7.2.  | ESP32 .....                                                            | 25 |
| 2.7.3.  | Lilygo TTGO T-Display ESP32.....                                       | 26 |
| 2.8.    | Internet de las cosas (IoT).....                                       | 26 |
| 2.8.1.  | Protocolos de comunicación IoT .....                                   | 27 |
| 2.8.2.  | Tecnologías Inalámbricas de Comunicación.....                          | 28 |
| 2.9.    | Plataformas IoT.....                                                   | 30 |
| 2.9.1.  | Ubidots .....                                                          | 30 |
| 2.9.2.  | Blynk IoT.....                                                         | 30 |
| 2.9.3.  | Arduino IoT Cloud .....                                                | 31 |
| 2.9.4.  | Thingier.io .....                                                      | 32 |
| 2.9.5.  | IFTTT .....                                                            | 32 |
| 2.10.   | Programación Over the Air (OTA) .....                                  | 33 |
| 2.11.   | Softwares empleados para el Proyecto.....                              | 34 |
| 2.11.1. | Visual Studio IDE .....                                                | 34 |
| 2.11.2. | PlatformIO .....                                                       | 35 |
| 2.11.3. | Arduino IDE .....                                                      | 35 |
| 2.11.4. | Proteus .....                                                          | 35 |
| 2.11.5. | Solidworks .....                                                       | 36 |
| 2.12.   | Placa de circuito impreso (PCB) .....                                  | 36 |
| 2.13.   | Señales analógicas y Acondicionamiento .....                           | 37 |
| 3.      | DESARROLLO DEL PROYECTO .....                                          | 40 |
| 3.1.    | Selección de Componentes .....                                         | 40 |



|        |                                                  |     |
|--------|--------------------------------------------------|-----|
| 3.1.1. | LilyGo TTGO T-Display ESP32.....                 | 40  |
| 3.1.2. | Sensor de voltaje.....                           | 42  |
| 3.1.3. | Sensor de Corriente (SCT-013).....               | 43  |
| 3.1.4. | Conector de Audio 3.5mm PJ307.....               | 44  |
| 3.1.5. | Conversor Analógico-Digital (ADS 1115).....      | 46  |
| 3.1.6. | Módulo Micro SD.....                             | 47  |
| 3.1.7. | Fuente de Alimentación Mean Well DR-15-5.....    | 48  |
| 3.2.   | Acondicionamiento de Señal de Sensores .....     | 50  |
| 3.2.1. | Medición de Corriente.....                       | 50  |
| 3.2.2. | Medición de Tensión.....                         | 55  |
| 3.3.   | Esquemático Electrónico .....                    | 65  |
| 3.3.1. | Alimentación del medidor inteligente .....       | 65  |
| 3.3.2. | Convertidor analógico/digital ADS1115.....       | 66  |
| 3.3.3. | Circuito de Micro SD .....                       | 68  |
| 3.3.4. | Acondicionamiento de sensores de corriente ..... | 69  |
| 3.3.5. | Conexión de Módulo ZMPT101B.....                 | 71  |
| 3.3.6. | Conexión de Placa de Desarrollo.....             | 72  |
| 3.4.   | Diseño de Footprints.....                        | 72  |
| 3.4.1. | Footprint: ZMPT101B.....                         | 73  |
| 3.4.2. | Footprint: Lilygo TTGO T-Display ESP32.....      | 74  |
| 3.4.3. | Footprint: Socket de Tarjeta SD .....            | 74  |
| 3.4.4. | Footprint: PJ-307 .....                          | 75  |
| 3.5.   | Diseño de PCB.....                               | 76  |
| 3.6.   | Ensamble de la placa.....                        | 80  |
| 3.7.   | Diseño de la Carcasa del Medidor .....           | 81  |
| 3.8.   | Medidor Implementado.....                        | 82  |
| 3.9.   | Desarrollo de Firmware .....                     | 84  |
| 3.9.1. | FreeRTOS.....                                    | 85  |
| 3.9.2. | Funcionamiento General .....                     | 90  |
| 3.9.3. | Setup del firmware .....                         | 93  |
| 3.9.4. | Task: Lectura de Sensores .....                  | 98  |
| 3.9.5. | Task: Parámetros Eléctricos .....                | 103 |
| 3.9.6. | Task: Conexión Wifi .....                        | 110 |
| 3.9.7. | Task: Botones (Pulsadores) .....                 | 112 |
| 3.9.8. | Task: Pantalla (Display) .....                   | 114 |

|         |                                     |     |
|---------|-------------------------------------|-----|
| 3.9.9.  | Task: Existencia de SD.....         | 117 |
| 3.9.10. | Task: Lectura de SD.....            | 118 |
| 3.9.11. | Task: Escritura de SD .....         | 120 |
| 3.9.12. | Task: Servidor NTP .....            | 121 |
| 3.9.13. | Task: Reseteo Fin de Mes.....       | 123 |
| 3.10.   | Calibración de sensores.....        | 126 |
| 3.10.1. | Calibración de Tensión RMS.....     | 126 |
| 3.10.2. | Calibración de Corriente RMS.....   | 127 |
| 3.10.3. | Calibración de Potencia Activa..... | 129 |
| 3.11.   | Plataforma Thinger.io .....         | 130 |
| 3.11.1. | Over the air (OTA).....             | 131 |
| 3.11.2. | Dashboard .....                     | 132 |
| 3.11.3. | Endpoint.....                       | 134 |
| 3.11.4. | Data Buckets .....                  | 135 |
| 4.      | PRUEBAS Y RESULTADOS .....          | 137 |
| 4.1.    | Pantallas del Medidor .....         | 137 |
| 4.2.    | Medidas de tensión .....            | 139 |
| 4.3.    | Medidas de Corriente.....           | 142 |
| 4.4.    | Medidas de Energía .....            | 145 |
|         | CONCLUSIONES.....                   | 150 |
|         | RECOMENDACIONES .....               | 152 |
|         | REFERENCIAS .....                   | 153 |
|         | ANEXOS.....                         | 156 |
|         | ZMPT101B .....                      | 156 |
|         | SCT-013-000 .....                   | 157 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 2.1 Onda de Voltaje y Corriente Alterna .....                              | 14        |
| Figura 2.2 Triángulo de Potencias .....                                           | 17        |
| Figura 2.3 Sistema de Medición Convencional.....                                  | 18        |
| Figura 2.4 Sistema Típico de Medición Inteligente .....                           | 19        |
| Figura 2.5 Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.....       | 20        |
| Figura 2.6 Arquitectura de una Red Inteligente .....                              | 22        |
| Figura 2.7 Modulo ESP32 .....                                                     | 25        |
| Figura 2.8 Lilygo TTGO T-Display ESP32 .....                                      | 26        |
| Figura 2.9 Internet de las Cosas en la Industria.....                             | 27        |
| Figura 3.1 Pines del ESP32 LilyGo TTGO T-Display .....                            | 42        |
| Figura 3.2 Sensor de voltaje ZMPT101B.....                                        | 43        |
| Figura 3.3 Sensor de corriente SCT-013 .....                                      | 43        |
| Figura 3.4 Jack de 3.5mm hembra PJ307 para PCB .....                              | 45        |
| <b>Figura 3.5 Dimensiones y footprint del Jack de 3.5mm PJ307 .....</b>           | <b>45</b> |
| Figura 3.6 Módulo ADS 1115 .....                                                  | 46        |
| Figura 3.7 Modulo micro SD.....                                                   | 47        |
| Figura 3.8 Fuente de alimentación Mean Well DR-15-5 .....                         | 48        |
| Figura 3.9 Corriente en el devanado secundario .....                              | 51        |
| Figura 3.10 Circuito de prueba con resistencia de carga .....                     | 52        |
| Figura 3.11 Señal alterna desplazada al agregar tensión DC .....                  | 53        |
| Figura 3.12 Acondicionamiento de señal para transformadores de corriente .....    | 54        |
| Figura 3.13 Divisor de tensión .....                                              | 55        |
| Figura 3.14 Tensión de red 220v RMS .....                                         | 56        |
| Figura 3.15 Circuito Electrónico del sensor ZMPT101B.....                         | 57        |
| Figura 3.16 Transformación de tensión en el módulo ZMPT101B.....                  | 57        |
| Figura 3.17 Salida en tensión del transformador en el módulo ZMPT101B.....        | 58        |
| Figura 3.18 Primer amplificador operacional para elevar la tensión.....           | 59        |
| Figura 3.19 Salida en tensión del primer amplificador operacional.....            | 62        |
| Figura 3.20 Segundo amplificador operacional (salida de ZMPT101B).....            | 63        |
| Figura 3.21 Tensión de salida del sensor ZMPT101B .....                           | 64        |
| Figura 3.22 Circuito de Alimentación .....                                        | 66        |
| Figura 3.23 Circuito de ADS1115.....                                              | 67        |
| Figura 3.24 a) Dirección 0x48 (Corriente) b) Dirección 0x49 (Voltaje).....        | 68        |
| Figura 3.25 Circuito de Micro SD.....                                             | 69        |
| Figura 3.26 Circuito de acondicionamiento de señal de sensores de corriente ..... | 70        |
| Figura 3.27 Jack de 3.5mm y esquemático.....                                      | 71        |
| Figura 3.28 Circuito de conexión de sensores ZMPT101B (Voltaje) .....             | 71        |
| Figura 3.29 Circuito de conexión de placa de desarrollo ESP32 .....               | 72        |
| Figura 3.30 Footprint de sensor ZMPT101B .....                                    | 73        |
| Figura 3.31 Footprint de placa de desarrollo ESP32 Lilygo TTGO.....               | 74        |
| Figura 3.32 Footprint de TF 15x15 (Socket SD).....                                | 75        |
| <b>Figura 3.33 Footprint del componente PJ-307 .....</b>                          | <b>75</b> |
| Figura 3.34 Vista posterior de Layout del PCB.....                                | 78        |
| Figura 3.35 Vista posterior del PCB.....                                          | 78        |



|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 3.36 Vista frontal de layout del PCB .....                              | 79  |
| Figura 3.37 Vista frontal del PCB .....                                        | 79  |
| Figura 3.38 Ensamble de los componentes en PCB .....                           | 80  |
| Figura 3.39 Componentes montados en PCB.....                                   | 80  |
| Figura 3.40 Vista frontal de la carcasa diseñada .....                         | 81  |
| Figura 3.41 Vista posterior de la carcasa del medidor .....                    | 81  |
| Figura 3.42 PCB Montada en carcasa .....                                       | 82  |
| Figura 3.43 Vista interior del prototipo del medidor.....                      | 82  |
| Figura 3.44 Vista exterior del prototipo del medidor .....                     | 83  |
| Figura 3.45 Prototipo de medidor en funcionamiento .....                       | 83  |
| Figura 3.46 Nuevo Proyecto en PlatformIO.....                                  | 84  |
| Figura 3.47 Ejecución de tareas en FreeRTOS.....                               | 86  |
| Figura 3.48 Estados de Tareas en Medidor Inteligente .....                     | 87  |
| Figura 3.49 Código para crear una tarea en FreeRTOS .....                      | 88  |
| Figura 3.50 Vincular una tarea a un núcleo.....                                | 88  |
| Figura 3.51 Interacción de las diferentes tareas del medidor inteligente ..... | 92  |
| Figura 3.52 Ejecución de código en Setup .....                                 | 93  |
| Figura 3.53 Inicializar pantalla.....                                          | 94  |
| Figura 3.54 Parámetro de rotación de display .....                             | 94  |
| Figura 3.55 Configuración de los ADS1115 de corriente y voltaje .....          | 95  |
| Figura 3.56 Configuración PWM para control de led RGB.....                     | 96  |
| Figura 3.57 Función implementada para control de led RGB.....                  | 97  |
| Figura 3.58 Configuración de pulsadores de la placa de desarrollo.....         | 97  |
| Figura 3.59 Configuración SPI secundaria en placa de desarrollo.....           | 97  |
| Figura 3.60 Objeto Voltaje RMS de salida a Thinger .....                       | 98  |
| Figura 3.61 Tarea lectura de sensores .....                                    | 99  |
| Figura 3.62 Señal de tensión muestreada .....                                  | 100 |
| Figura 3.63 Obteniendo lecturas de voltaje y corriente instantáneos.....       | 101 |
| Figura 3.64 Valores acumulados de voltaje, corriente y potencia.....           | 101 |
| Figura 3.65 Diagrama de flujo de tarea Lectura de sensores.....                | 102 |
| Figura 3.66 Tarea Parámetros Eléctricos.....                                   | 103 |
| Figura 3.67 Diagrama de flujo de tarea cálculo de parámetros eléctricos.....   | 104 |
| Figura 3.68 Cálculo de corriente y voltaje eficaz.....                         | 106 |
| Figura 3.69 Cálculo de potencia activa .....                                   | 107 |
| Figura 3.70 Multiplexar canales para las lecturas de los ADS115.....           | 110 |
| Figura 3.71 Tarea Conexión Wifi.....                                           | 111 |
| Figura 3.72 Diagrama de flujo de Tarea Conexión Wifi.....                      | 112 |
| Figura 3.73 Tarea Pulsadores .....                                             | 113 |
| Figura 3.74 Diagrama de flujo de tarea pulsadores .....                        | 114 |
| Figura 3.75 Tarea Pantalla.....                                                | 115 |
| Figura 3.76 Intensidad de señal Wifi (RSSI).....                               | 115 |
| Figura 3.77 Diagrama de flujo de tarea pantalla .....                          | 116 |
| Figura 3.78 Tarea existencia SD .....                                          | 117 |
| Figura 3.79 Diagrama de flujo de la tarea existencia SD .....                  | 118 |
| Figura 3.80 Tarea Lectura SD .....                                             | 118 |
| Figura 3.81 Diagrama de flujo de tarea Lectura SD.....                         | 119 |

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 3.82 Tarea Escritura SD .....                                             | 120 |
| Figura 3.83 Diagrama de flujo de la tarea Escritura SD.....                      | 121 |
| Figura 3.84 Tarea Servidor NTP .....                                             | 121 |
| Figura 3.85 Diagrama de flujo de tarea Servidor NTP .....                        | 123 |
| Figura 3.86 Tarea Reseteo Fin de Mes .....                                       | 124 |
| Figura 3.87 Diagrama de flujo de la tarea Reseteo fin de mes .....               | 125 |
| Figura 3.88 Voltaje RMS real vs calculado ADC .....                              | 127 |
| Figura 3.89 Corriente RMS real vs calculado ADC .....                            | 128 |
| Figura 3.90 Potencia activa real vs calculado ADC .....                          | 130 |
| Figura 3.91 Medidor agregado en la plataforma IoT.....                           | 130 |
| Figura 3.92 Extensión de thinger.io en visual studio .....                       | 131 |
| Figura 3.93 Funcionamiento de OTA.....                                           | 132 |
| Figura 3.94 Pantalla principal de la interfaz en Thinger para el medidor .....   | 133 |
| Figura 3.95 Parámetros del medidor 1 en la plataforma IoT.....                   | 134 |
| Figura 3.96 Configuración de endpoint (email) .....                              | 134 |
| Figura 3.97 Data buckets agregados al proyecto.....                              | 135 |
| Figura 4.1 Módulo de pruebas.....                                                | 146 |
| Figura 4.2 Prueba con todos los focos encendidos.....                            | 147 |
| Figura 4.3 Lectura inicial a) Medidor Convencional b) Medidor implementado ..... | 148 |
| Figura 4.4 Lectura Final a) Medidor Convencional b) Medidor implementado .....   | 149 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                |     |
|----------------|-----|
| Tabla 1 .....  | 9   |
| Tabla 2 .....  | 49  |
| Tabla 3 .....  | 68  |
| Tabla 4 .....  | 126 |
| Tabla 5 .....  | 128 |
| Tabla 6 .....  | 129 |
| Tabla 7 .....  | 137 |
| Tabla 8 .....  | 139 |
| Tabla 9 .....  | 140 |
| Tabla 10 ..... | 141 |
| Tabla 11 ..... | 142 |
| Tabla 12 ..... | 143 |
| Tabla 13 ..... | 144 |

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como principal objetivo diseñar e implementar un medidor inteligente monofásico para el monitoreo de energía en hogares empleando tecnología IoT.

Se empleará una metodología basada en la revisión bibliográfica para el desarrollo del proyecto y que permita el desarrollo de un medidor inteligente para monitorear hasta dos circuitos independientes.

En el primer capítulo (**Marco Metodológico**), se plantean los objetivos del proyecto y el propósito de este, se definen los alcances y limitaciones del mismo y se sustenta el proyecto en los antecedentes presentados.

En el segundo capítulo (**Marco Teórico**), se definen los conceptos fundamentales para comprender mejor el desarrollo del proyecto y se revisan temas correspondientes a la energía eléctrica, sus parámetros, tecnologías IoT, etc.

En el tercer capítulo (**Desarrollo del proyecto**), se seleccionan los componentes a emplear para la implementación del prototipo de medidor inteligente, se analiza el acondicionamiento de señal de los sensores, se implementa la placa de circuito impreso y se desarrolla el firmware del medidor.

En el cuarto capítulo (**Pruebas y resultados**), se muestran las distintas pantallas del medidor, se analizan los datos tomados durante cada una de las pruebas y se muestran los errores absolutos y relativos de dichas mediciones.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones y anexos con información relevante de los sensores de tensión y corriente empleados en el proyecto.





# **CAPÍTULO I**

## **MARCO METODOLÓGICO**

## **1. MARCO METODOLÓGICO**

### **1.1. Enunciado del Problema**

“Diseño e implementación de un prototipo de medidor inteligente monofásico para el monitoreo de energía en hogares empleando tecnología de internet de las cosas (IoT)”

### **1.2. Identificación del problema**

Hoy en día la energía eléctrica es muy importante tanto en el ámbito industrial como para uso doméstico, el uso adecuado de esta depende de los consumidores, ya que algunos la utilizan de forma cuidadosa y otros de forma desmedida.

En la actualidad existe un porcentaje de la población que tiene un medidor eléctrico mecánico del cual no se obtiene una medición real del consumo exacto de una vivienda.

Por otra parte, un usuario al recibir su recibo, muchas veces se ve en la obligación de acercarse a la distribuidora de energía a reclamar por no tener conocimiento preciso de su consumo energético ya que en su recibo solo indica la energía consumida. En tal sentido, los medidores inteligentes permitirían tener datos de forma gráfica, no solo de la energía consumida sino también de la corriente, tensión y potencia consumida en cada instante con una fecha y hora, pudiendo así el usuario evaluar su consumo y determinar en qué momentos durante el día consume más energía.

### **1.3. Descripción del problema**

Debido a los cambios tecnológicos que avanzan día a día a grandes pasos se ve por conveniente investigar acerca de los medidores inteligentes e implementar un sistema que permita el monitoreo de la energía eléctrica en una vivienda.



En la actualidad la lectura de un medidor convencional de energía eléctrica es ejecutado por una persona de forma visual mensualmente, la empresa hace gastos logísticos para que esa persona llegue hasta el lugar donde se encuentra el medidor convencional. En algunos casos se presenta el error humano. Los medidores inteligentes van a cambiar la gestión de energía y esto puede representar un paso muy importante para lo que se conoce como Ciudad Inteligente (Smart City).

### **Medible**

La persona encargada de la recopilación de información de los medidores convencionales lo realizan de forma visual, esto hace que se ejecute un gasto logístico en la empresa para que la persona encargada pueda realizar su labor.

### **Solucionable**

La selección adecuada de instrumentos, accesorios y componentes permitirá una mayor información del consumo energético del usuario a través de internet y por otro lado la empresa distribuidora de energía no tendría un gasto logístico extra.

### **Flexible**

Todos los equipos necesarios para la implementación del prototipo pueden ser adquiribles en el mercado ya que se emplea hardware libre.

## **1.4. Área de conocimiento**

De acuerdo al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC) el cual usa como áreas del conocimiento el estándar internacional de Áreas de Ciencia y Tecnología de La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) para el presente proyecto se tiene:

- **ÁREA:** Ingeniería y Tecnología

- SUB ÁREA: Ingeniería Eléctrica, Electrónica e informática
- LÍNEA: Ingeniería Eléctrica y Electrónica

### 1.5. Antecedentes

Como antecedente nacional encontramos a (ENEL, 2018) el cual es un proyecto implementado en la ciudad de Lima por la empresa Enel y es ofertado para los distritos del Callao (340 medidores inteligentes instalados), San Miguel (794 medidores inteligentes instalados), Breña (794 medidores inteligentes instalados) , San Martin de Porres (2713 medidores inteligentes instalados), Los olivos (3118 medidores inteligentes instalados), Huacho (340 medidores inteligentes instalados), y Cercado de Lima (747 medidores inteligentes instalados). En tal sentido los medidores inteligentes nos brindan mayor información sobre nuestro consumo de energía, el cual nos ayudara a utilizarla de forma eficiente.

Por otro lado, tenemos a (GAVIDIA CORONEL, 2020) con la tesis de pregrado Implementación de una aplicación para el registro de lectura de consumo de energía eléctrica mediante la captura de imágenes con un dispositivo móvil para el área de facturación de la empresa electro Oriente S.A realizado en la Universidad católica santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo. Se desarrolló una aplicación móvil la cual permite el registro de lecturas de los medidores para 152 hogares para el área de facturación de la empresa distribuidora de energía eléctrica Electro Oriente S.A. La aplicación identifica de forma automática la lectura de los medidores y se almacena en una base de datos.

Como antecedente internacional encontramos a (Sai Shibu et al., 2018) cuyo título de paper fue Development of IoT Enabled Smart Energy Meter with Remote Load Management. 2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, ICCIC 2018, India. Se desarrolló un dispositivo inteligente el cual puede ser

monitoreado a través de internet convirtiéndolo así en un dispositivo de Internet de las Cosas (IoT). Gracias a este dispositivo se puede monitorear la energía eléctrica en tiempo real mediante una aplicación móvil. Este sistema ha sido diseñado con sensores de voltaje y corriente, y emplea como procesador de datos un Raspberry Pi 3B, como resultado se puede saber el valor del voltaje eficaz (RMS), corriente RMS, frecuencia, factor de potencia, potencia real, potencia reactiva, potencia aparente, energía real, energía reactiva y energía total. Asimismo, este sistema fue empleado en un sistema trifásico. Por último este sistema se comunica con diferentes dispositivos del hogar al permitir la conexión con un módulo remoto (Node MCU).

Como otro antecedente tenemos también a (JEREMIAS, 2020) con la tesis titulada Estudo de um medidor de corrente conectado com uma plataforma IoT. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis. Se desarrolló en Brasil un dispositivo medidor de corriente y que está conectado a una plataforma IoT en el cual se busca garantizar la conectividad de la red eléctrica, así como la administración de la energía. Este sistema diseñado para medir variaciones de tensión, aumento de carga, fallas y sobre todo la energía consumida. Por lo tanto, este sistema es monitoreado por una plataforma vía internet llamada ThingSpeak la cual posee una serie de visualización de gráficos que ayudan a la automatización de sistemas basados en IoT. Para la realización de este sistema se utilizó el Efecto Hall con un sensor (ACS712), el cual utiliza esta teoría para medir corriente en diferentes versiones de 5A, 20A O 30A; el cual es conectado al procesador (NodeMCU ESP-12) escogido y que además tiene una conexión Wifi integrada en ella; lo que beneficia la comunicación.

Además, en antecedentes internacionales se tiene a (JÚNIOR, 2018) con la tesis titulada Análise do Consumo de Energia em uma unidade consumidora via internet das coisas. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. Se desarrolló en Brasil un



dispositivo inteligente para analizar el consumo de energía para el funcionamiento de diversos equipos y el desperdicio de esta en una residencia; utilizando Internet de las cosas y comunicación constante con un hardware, el cual manda los datos en tiempo real a una plataforma virtual. Es así como utiliza un microcontrolador Espressif ESP8266 el cual tiene Wifi en su estructura de comunicación dentro del chip, el cual permite la construcción de elementos importantes. Así mismo se utilizó un sensor de corriente SCT – 013 el cual puede medir corriente sin estar en contacto con el circuito, esto se debe a algunas propiedades magnéticas que contiene el sensor. De esa forma el sensor puede medir la corriente que pasa por conductor a monitorear.

También se tiene a (Jimenez-Guamán, 2020) con un artículo científico titulado Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube. Universidad Católica de Cuenca, Ecuador. Se desarrolló un sistema de monitoreo del consumo de energía de los hogares para optimizarla mediante el uso de IoT. Este sistema ayudo a las personas a concientizar respecto a los posibles problemas que se ocasionan al usar la energía de manera incorrecta y de cómo ayudar al medio ambiente gracias a sus beneficios. Por lo tanto, se utilizó el protocolo de Cola de mensajes telemetría y transporte (MQTT) que no es más que la comunicación maquina a máquina, seguido por un servicio de almacenamiento web (Amazon Web Service); enviando información de voltaje, corriente potencia, temperatura y humedad y el control de manera remota. Es así como utilizando sensores de voltaje (zmpt101b.), corriente (SCT-013-030), humedad y temperatura (DTH11); conectados a un Arduino Mega para obtener información y luego ser enviados por un módulo Wifi (esp8266) a la nube para finalmente ser monitoreados por una computadora o un sistema Android.

Por último, se tiene a (Lopez Lautaro et al., 2019) con la tesis titulada Internet de las cosas aplicado al control del consumo eléctrico hogareño mediante dispositivos móviles.

Universidad Nacional de Río Negro, Argentina. Se desarrolló un sistema en el cual se pudo analizar las problemáticas que presentaba el consumo excesivo del sector doméstico el cual es diferente en cada hogar, ya que cada familia o persona tiene diferentes hábitos de consumo. Entonces gracias a Internet de las cosas (IoT) se puede monitorear el consumo diario y/o mensual de un hogar. Por ello en este sistema para lograr su objetivo se utilizó un Arduino Uno como microcontrolador para el procesamiento de datos que son enviados del sensor de corriente (SCT 013 100A) y para medir el voltaje se desarrolló un circuito compuesto resistencias y un capacitor para la lectura en Arduino. Por lo tanto, al tener todos los datos, se envía a internet por medio del módulo WiFi ESP8266, para luego crear una aplicación Android la cual, conectada a la misma red, es posible monitorear la cantidad de energía en Kwh de forma diaria o mensual.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

- Diseñar e implementar un prototipo de medidor inteligente monofásico para el monitoreo de energía en hogares empleando tecnología IoT.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar los parámetros a monitorear, así como los sensores adecuados que permitan la supervisión de la energía eléctrica.
- Diseñar un circuito impreso para la implementación del sistema empleando el software Proteus.
- Visualizar en tiempo real el consumo de energía en un hogar empleando una plataforma IoT.
- Evaluar los datos obtenidos de los sensores y calibrarlos para obtener mediciones más precisas al compararlos con los dispositivos de medición eléctrica.

### 1.7. Interrogante principal

¿En qué medida un sistema de monitoreo y medición inteligente de energía eléctrica basado en hardware libre permite tener datos precisos del consumo energético de un hogar a través de internet?

### 1.8. Hipótesis

Al realizar el diseño e implementación de este prototipo de medición de consumo energético a través de una plataforma IoT, la empresa distribuidora de energía podrá tener mayor control del consumo energético de cada uno de sus usuarios.

### 1.9. Variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| Variables                                                                      | Tipo de Variable | Dimensiones                   | Indicadores                    | Instrumento                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Precisión de las lecturas de los equipos de medición a utilizar en el proyecto | Independiente    | Frecuencia de muestreo        | Muestras por segundo           | Máxima frecuencia de muestreo del ADS 1115: 860HZ                        |
|                                                                                |                  | Calibración                   | Desfase en la medición         | Basado en equipos de medición eléctrica: Pinza Amperimétrica, Voltímetro |
|                                                                                |                  | Rango de medición             | Especificado por el fabricante | Pinza Amperimétrica: 0 – 100A<br>Voltímetro: 0 – 1000V                   |
|                                                                                |                  | Conversión Analógico/Digital  | Resolución en bits             | Dos ADS 1115 de 16 bits                                                  |
| Diseño del Medidor Inteligente                                                 | Dependiente      | Error en la Energía consumida | Kilowatt - Hora                | Análisis experimental y determinación del error mediante estadística     |



## **1.10. Justificación**

### **1.10.1. Justificación social**

Este proyecto pretende facilitar a la empresa distribuidora de energía la gestión del consumo energético en tiempo real a través de una plataforma IoT y un prototipo de medidor inteligente basado en ESP32. Así mismo el usuario tendrá acceso a la visualización de su consumo energético.

### **1.10.2. Justificación económica**

El medidor inteligente que se pretende diseñar e implementar permitirá a la empresa distribuidora reducir gastos operativos. Al enviar datos de manera remota no se necesitaría de mucho personal y por Thinger se podrá enviar información de facturación mensual directamente a los usuarios mediante plataformas virtuales como email en vez de recibos impresos.

## **1.11. Alcances y limitaciones**

### **1.11.1. Alcances**

Los alcances de la presente tesis son: El diseño e implementación de un prototipo de medidor inteligente monofásico de uso doméstico, empleando la plataforma IoT Thinger.io. Se va a registrar los valores de corriente, voltaje, potencia, energía y el monto a pagar basado en el costo del kilowatt-hora (Kwh) de la empresa distribuidora. El sistema contará con una pantalla LCD (pantalla de cristal líquido) de 1.14 pulgadas el cual permitirá visualizar los datos al usuario.

Los valores registrados por los sensores se deben de almacenar en una tarjeta digital segura (SD) en caso de que no haya energía y retomar la transmisión de datos cuando esta regrese. Se empleará la placa de desarrollo ESP32 y se conectará con la plataforma vía internet empleando wifi.

Se espera tener el sistema en una placa de circuito impreso (PCB). Esta PCB contará con una carcasa impresa en 3D que permita montar el sistema en un riel DIN.

Se considera también el uso de 2 transformadores de corriente permitiendo monitorear 2 líneas de corriente distintas. Así como también el uso de 2 sensores para la medición de la tensión. Es necesario acondicionar las señales de los sensores para poder trabajar con el ESP32. Se hará una explicación detallada de los diferentes algoritmos y el proceso empleado para el desarrollo del proyecto. Además, en base a la literatura se determinará un tiempo de muestreo y de transmisión de datos a la plataforma IoT adecuado para el funcionamiento del sistema.

#### **1.11.2. Limitaciones**

El sistema de medición inteligente a implementar no cuenta con una fuente de alimentación incluida en el mismo sistema por lo que se requiere de alimentación externa. Asimismo, el sistema a implementar se comunicará vía Wifi con la plataforma IoT pudiendo sufrir casos de desconexión en caso se pierda la señal Wifi.

El ESP32 solo trabaja con la banda de 2.4GHz, por el momento en todas las viviendas aún se tiene esta banda para la conexión Wifi, pero en los últimos años se ha visto la aparición de la banda de 5Ghz y muchos dispositivos que se compran actualmente ya tienen lo necesario para detectar este tipo de red.

La plataforma IoT Thinger.io tiene algunas limitaciones para los usuarios gratuitos estando restringidos en la cantidad de dispositivos que podemos conectar a su plataforma, así como también la cantidad de datos que se pueden almacenar en la nube y la frecuencia con que estos se guardan. El valor mínimo con el que se puede recibir datos y almacenarlos en la plataforma de Thinger.io es de 1 minuto.

### 1.12. Metodología para el desarrollo del proyecto

La metodología para el desarrollo del proyecto está basada en la literatura revisada:

**Primero**, se recolecta y analiza información relevante al tema en estudio. De esta manera se logra adquirir conocimiento respecto al proyecto a desarrollar.

**Segundo**, se determina los parámetros a ser monitoreados ya que de esto depende los sensores a emplear.

**Tercero**, se seleccionan sensores y equipos adecuados que permitan el monitoreo de la red eléctrica en base a los parámetros que se van a monitorear.

**Cuarto**, acondicionar las señales de los sensores para trabajar con las tensiones adecuadas en función del microcontrolador o placa de desarrollo a ser empleado.

**Quinto**, calibrar los sensores utilizando equipos de medición eléctrica y seleccionar un tiempo adecuado de muestreo.

**Sexto**, desarrollar el código del dispositivo para adquirir datos y mostrarlos según se requiera. La presentación de datos puede realizarse vía serial, wifi, bluetooth, etc. Es importante también seleccionar un tiempo adecuado de envío de datos de forma que se evita saturar la plataforma IoT.

**Séptimo**, evaluar el sistema implementado en base a los requerimientos del proyecto y verificar que se tengan datos en tiempo real tanto de forma numérica como en forma gráfica.

### 1.13. Tipo de proyecto

El proyecto planteado es de ingeniería aplicada ya que consiste en el diseño e implementación de un prototipo de medidor inteligente. Se realizarán pruebas a nivel de simulación y también de manera real empleando el medidor inteligente diseñado para obtener datos en tiempo real del consumo energético en una vivienda.





# **CAPITULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Corriente Alterna Monofásica

La corriente alterna es aquella que cambia alternativamente de sentido y toma valores según la función matemática seno y se repite de forma periódica.

$$V(t) = A * \sin(\omega t + \phi)$$

$$\omega = 2\pi * f$$

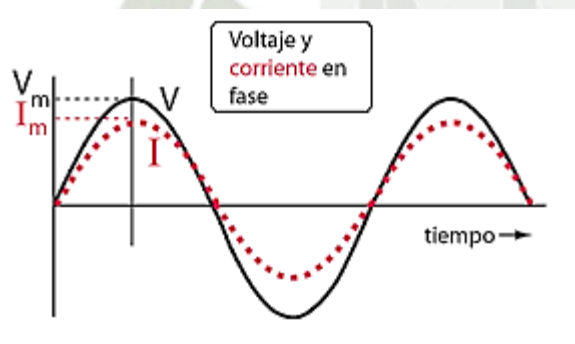
$A$ : Amplitud [V]

$f$ : Frecuencia [Hz]

$\phi$ : Desfase [rad]

**Figura 2.1** Onda de Voltaje y Corriente Alterna

Onda de Voltaje y Corriente Alterna



**Nota de:** <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/acres.html>

Si representamos la tensión alterna de forma senoidal tal y como se observa en la Figura 2.1 que la onda alcanza un máximo valor positivo y un máximo valor negativo dado por el parámetro  $A$  en la ecuación previamente mostrada. En las instalaciones eléctricas en hogares normalmente se trabaja con una tensión eficaz (RMS) de 220 V monofásico (Línea y Neutro) en el Perú a una frecuencia de 60 Hz. Debido a que la onda de tensión es alterna también la corriente lo es, pero el desfase que existe entre tensión y corriente dependerá mucho del tipo de carga que se alimenta (Baselga Carrera, n.d.).

Las empresas distribuidoras de energía en el Perú asumen un factor de potencia de valor 1 en nuestro recibo mensual, lo cual indica solamente una presencia de cargas resistivas en las viviendas. Un factor de potencia de 1 indica que la tensión y la corriente están en fase por lo que el cálculo de potencia activa se puede simplificar. Lo descrito previamente solo es una suposición ya que en realidad en las viviendas también existen cargas inductivas que provocan un desfase entre la onda de tensión y corriente.

## 2.2. Parámetros de la energía eléctrica

La energía involucra varios parámetros tales como:

### 2.2.1. Voltaje

El voltaje o también llamado diferencia de potencial, es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos y se define como la capacidad de efectuar un trabajo para que los electrones se muevan. Se utiliza como unidad de medida el Voltio (V) (Gussow, 1993).

La ecuación que se muestra a continuación permite calcular el Voltaje eficaz cuando se tiene un tiempo continuo.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

$V_{rms}$ : *Voltaje eficaz* [V]

$V$ : *Voltaje Instantáneo* [V]

$T$ : *Tiempo* [s]

### 2.2.2. Corriente

La corriente es el movimiento de electrones a través de un material conductor para el cual es necesario tener una diferencia de potencial entre dos puntos. La unidad básica de la



corriente es el Amperio (A) (Gussow, 1993).

La ecuación que se muestra a continuación permite calcular la Corriente eficaz cuando se tiene un tiempo continuo.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt}$$

$I_{rms}$ : Corriente eficaz [I]

$I$ : Corriente Instantánea [A]

$T$ : Tiempo [s]

### 2.2.3. Potencia

Por otro lado, la potencia se define como el trabajo realizado a través de un intervalo de tiempo (Boylestad, 2011). La unidad de medición es el Watt o Joule/s en el caso de la potencia activa.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) * I(t) dt$$

$P$ : Potencia activa [W]

$I$ : Corriente Instantánea [A]

$V$ : Voltaje Instantáneo [V]

$T$ : Tiempo [s]

#### 2.2.4. Energía

La energía es la cantidad de potencia consumida a través de un intervalo de tiempo. La potencia es medida en Watts por segundo (Boylestad, 2011). La energía es la variable más importante a monitorear ya que esta es la información que las empresas de distribución de energía utilizan para facturar cada mes. En todos los meses nos llega un recibo con un valor de energía en Kwh y el costo se expresa en función de este.

#### 2.2.5. Factor de Potencia

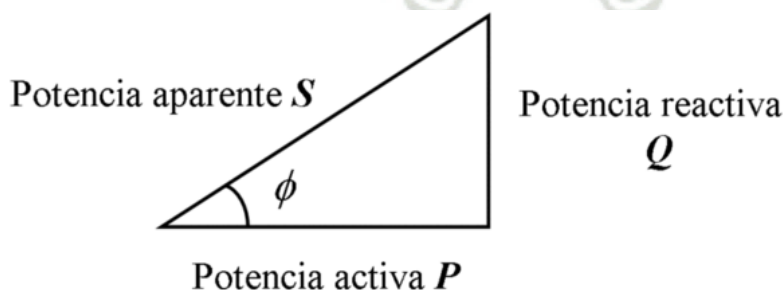
El factor de potencia de un dispositivo o circuito de corriente alterna es la relación que existe entre la potencia activa  $P$  y la potencia aparente  $S$  (Wildi, 2007).

$$FP \text{ (Factor de Potencia)} = \cos\phi = \frac{P}{S}$$

Este valor se representa mediante un número adimensional, un valor distinto a 1 implicaría una existencia de Potencia Reactiva ( $Q$ ). En el caso de que el factor de potencia sea 1, la potencia Aparente sería igual a la Potencia Activa ( $P$ ) y no existiría Potencia Reactiva ( $Q$ ). Lo detallado anteriormente se puede entender mejor observando el triángulo de potencias mostrado en la Figura 2.2.

**Figura 2.2**

*Triángulo de Potencias*



## 2.3. Medidores Convencionales de Energía Eléctrica

**Figura 2.3**

*Sistema de Medición Convencional*



**Nota de:** (Chandima, D P, Weranga, K.S.K. & Kumarawadu, 2014)

Un sistema de Medición convencional involucra un medidor electromecánico en el cual las lecturas se realizan de forma manual, es decir, por inspección visual al final de cada facturación. La Figura 2.3 nos muestra un sistema de medición convencional en el cual aparte de lo mencionado la empresa distribuidora de energía tiene que registrar de forma manual cada una de las lecturas realizadas para poder emitir un recibo (base de datos).

El medidor de energía eléctrica es un instrumento que permite medir el consumo energético y tiene diferentes tipos como:

### 2.3.1. Medidores Electromecánicos

Está compuesto por un vatímetro con sistema móvil de giro libre sobre un disco, cuya velocidad influye en la potencia consumida en un dispositivo integrador (OSINERGMIN, 2011).

### 2.3.2. Medidores electromecánicos con registrador electrónico (HÍBRIDO)

Este medidor eléctrico está compuesto por un disco de medidor por inducción el cual es configurado para que genere un tren de pulsos mediante un captador óptico o magnético que censa las lecturas en su cara superior. Estos pulsos son procesados para su cálculo en un sistema digital los cuales son registrados en la misma unidad o módulos separados (OSINERGMIN, 2011).

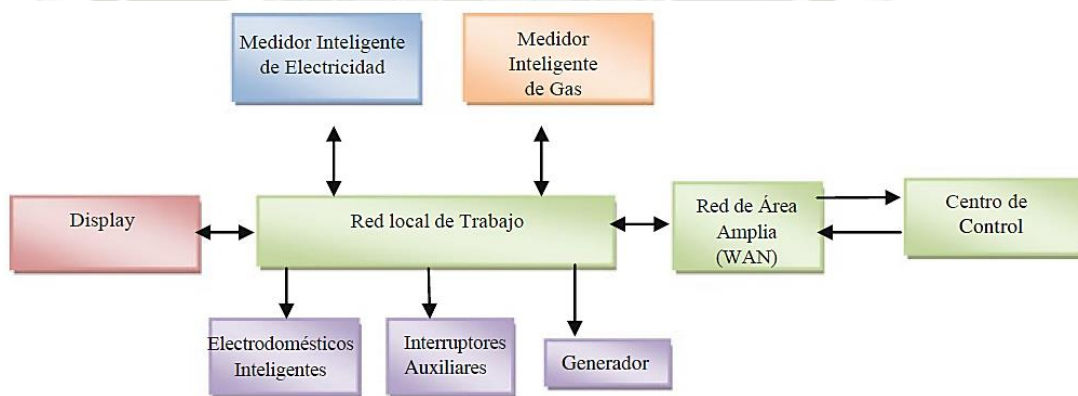


## 2.4. Medición Inteligente

Un sistema de medición inteligente está conformado por contadores inteligentes, dispositivos de control y un enlace de comunicación (isbel, n.d.). Los medidores electromecánicos que utilizamos en la actualidad tienen muchos inconvenientes, con poca precisión ya que las partes mecánicas móviles se desgastan con el tiempo generando así errores en las mediciones. Es por ello que se utilizan medidores inteligentes para generar una mayor demanda y eficiencia energética ya que se tiene la capacidad de comunicarse de forma remota entre sí. Los datos recopilados en los medidores inteligentes sirven para múltiples usuarios, ya sea consumidores y empresas distribuidoras de energía. Esto beneficia a los usuarios a monitorear el gasto de su consumo energético y conocer su factura mensual (Chandima, D P, Weranga, K.S.K. & Kumarawadu, 2014).

**Figura 2.4** Sistema Típico de Medición Inteligente

*Sistema Típico de Medición Inteligente*



**Nota de:** (Chandima, D P, Weranga, K.S.K. & Kumarawadu, 2014)

En la Figura 2.4 se describe un sistema atípico de medición inteligente el cual como núcleo depende de una red, la cual puede ser local o una red de área amplia. Los datos son enviados a un centro de control (Empresa distribuidora), los datos se presentan al usuario en un display o pantalla, registrando así el consumo de cada uno de los equipos en el hogar.

## 2.5. Red Inteligente (Smart Grid)

Las redes inteligentes o también llamadas Smart Grid son redes de distribución eléctrica combinadas con modernas tecnologías de información que proporcionan datos a las empresas distribuidoras de electricidad como a los consumidores. Los Smart Grids modifican la cadena de distribución del sistema energético tradicional en un centro de producción de energía que abastece de manera unidireccional muchos puntos de consumo. Esta forma de distribución tiene un importante número de carencias y problemáticas que se ponen más que nunca de manifiesto ante la creciente necesidad de eficiente y de ahorro energético (Fundación Telefónica, n.d.).

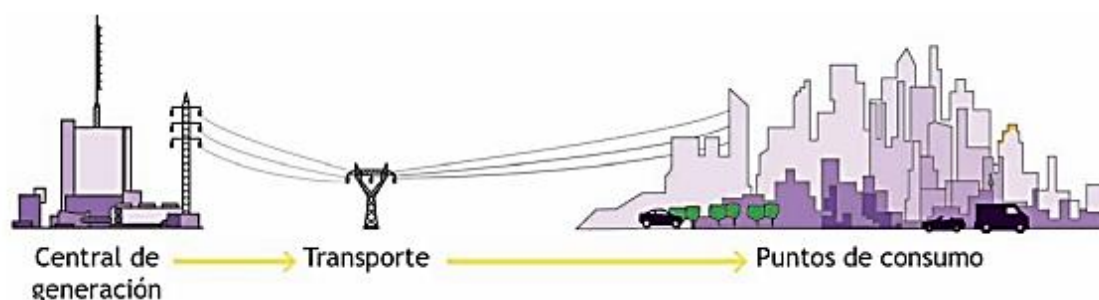
Para hacer que una red sea inteligente se añade contadores inteligentes que brinden información del consumo en tiempo real, de manera que la compañía distribuidora de energía, así como el usuario final conozcan el consumo.

Los objetivos de un Smart Grid según (Fundación Telefónica, n.d.) son:

- Facilitar la conexión y operación de generadores de todos los tamaños y tecnologías.
- Permitir a los consumidores integrarse y ser parte de la optimización del sistema.
- Proveer a los consumidores de una mayor información y opciones para seleccionar el suministro.

**Figura 2.5**

*Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica*



**Nota de:** (Fundación Telefónica, n.d.)



La Figura 2.5 representa un sistema eléctrico de potencia, el cual explica las siguientes etapas: generación de energía, transmisión de energía y distribución de energía. En cuanto a la distribución de energía los puntos de consumo son: viviendas, negocios y sector industrial.

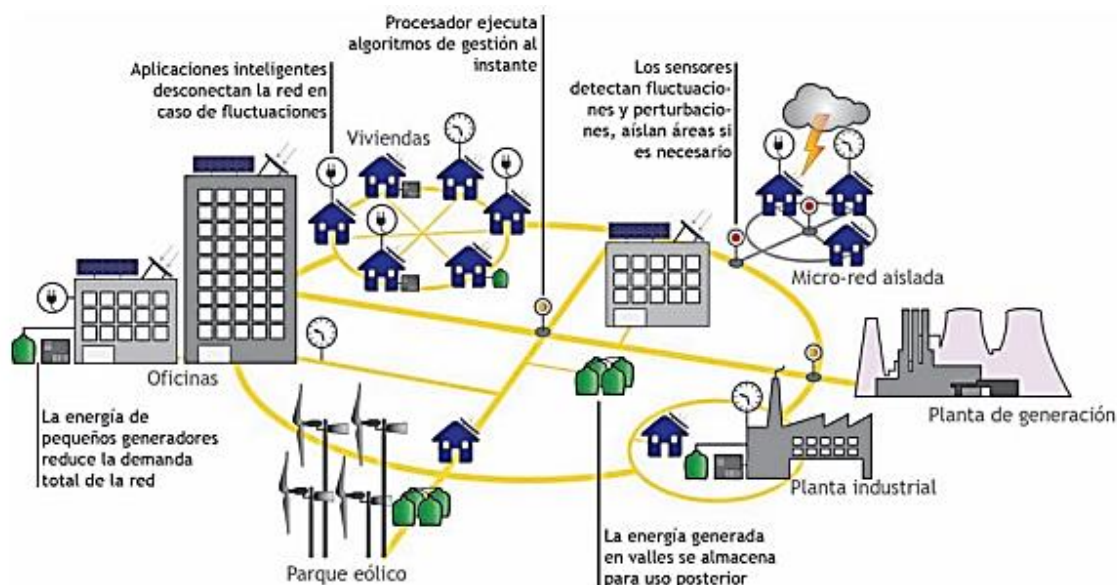
Un Smart Grid se compone de controladores, sensores, ordenadores y sistemas de control y gestión. La arquitectura de un Smart Grid de acuerdo a (Fundación Telefónica, n.d.) se compone de cinco capas tal y como se muestra en los puntos siguientes:

- **Inteligencia:** Son los equipos de operación, protección, medidores, etc.
- **Conectividad:** Áreas de red local (LAN), red de área amplia (WAN), red de área de campo (FAN) y red de área residencial (HAN).
- **Hardware:** Infraestructura que permita guardar información que proporcionan los equipos.
- **Aplicaciones:** Control de respuesta de demanda, facturación, control de averías, monitorización de cargas, mercados energéticos en tiempo real y nueva gama de servicios al cliente.
- **Usuario final:** Ofrecer nuevos productos y servicios a los clientes. Mayor eficiencia y ahorro al usuario final.

La Figura 2.6 representa una red inteligente en la cual diferentes estructuras están conectadas entre si y compartan recursos. La generación distribuida es uno de los pilares mas importantes de una red inteligente teniendo generación de energía cerca a los puntos donde va ser utilizada. Una red inteligente también contempla el uso de medidores inteligentes.

**Figura 2.6**

*Arquitectura de una Red Inteligente*



**Nota de:** (Fundación Telefónica, n.d.)

## 2.6. Transformadores de medida

Los transformadores de medida son dispositivos que se conectan en las redes eléctricas con la finalidad de que conviertan los valores de tensión y corriente de un circuito AC, en corrientes y tensiones que sean proporcionales a la magnitud real. Esta señal convertida se utiliza en instrumentos de medida, contadores, relés de protección y otros aparatos análogos.

### 2.6.1. Transformadores de Medida de Corriente (CT o TC)

Cuando una corriente atraviesa un conductor se genera en este un campo magnético a su alrededor.

La ley de Ampere indica que la intensidad de campo magnético en un contorno cerrado es proporcional a la corriente que lo atraviesa. Un transformador de corriente emplea estos conceptos para su funcionamiento.

Un transformador de corriente es un transformador inductivo en el cual la bobina del secundario está alrededor de un núcleo de hierro. En muchos casos la bobina del primario

solo se forma cuando un conductor porta la corriente primaria y esta induce una corriente en la bobina del secundario teniendo así valores más pequeños para ser ingresados en los instrumentos de medida. La corriente en el secundario es proporcional a la corriente del primario y está dado por un ratio. La precisión de un transformador de corriente depende del tamaño y el material del núcleo de hierro y la carga colocada en el secundario.

Los transformadores de corriente reducen la corriente en una red eléctrica a valores estándar que puede ser 5 o 1 amperio. Hay distintas aplicaciones de medición y usos para los transformadores de corriente como para medir potencia empleando vatímetros, medidores de factor de potencia, relés de protección, etc. En cuanto a sensores para medir la corriente también se tienen en el mercado transformadores de corriente los cuales pueden ser de núcleo dividido o entero. Comercialmente hablando tenemos las pinzas amperimétricas las cuales son capaces de medir la corriente que atraviesa un cable basándose en el campo magnético que rodea al conductor (Beaty, n.d.).

### **2.6.2. Transformadores de Medida de Tensión**

Los transformadores de tensión, transforman proporcionalmente el voltaje de alto valor en el devanado primario a un voltaje de bajo valor y medible en su bobinado secundario. Estos transformadores tienen un núcleo ferromagnético (Beaty, n.d.).

### **2.7. Placas de Desarrollo**

Las placas de desarrollo son dispositivos que contienen un microcontrolador reprogramable y que ejecuta instrucciones con un propósito específico. Muchas de estas placas de desarrollo permiten el manejo de señales digitales y analógicas. Se han vuelto muy populares ya que permiten integrar diferentes sensores y actuadores creando así proyectos diversos. En el mercado encontramos placas de desarrollo con diferentes características y el uso de una u otra dependerá de la aplicación.



### 2.7.1. Arduino

Arduino es una placa de desarrollo creada en el año 2005 en el Instituto de Diseño interactivo de Ivrea (Italia) y surgió ante la necesidad de contar con un dispositivo de bajo costo para utilizar en las aulas y que funcionase en cualquier sistema operativo (Torrente Artero, 2013). Esta placa de desarrollo cuenta con pines hembra o macho dependiendo del modelo y que facilitan las conexiones de sus entradas y salidas a sensores o actuadores. Encontramos en el mercado numerosas placas Arduino con diferentes especificaciones técnicas, entre estas podemos destacar:

**Arduino Mega:** Esta placa según (arduino, n.d.) está basada en el microcontrolador Atmega 2560 y brinda 54 pines de entradas/salidas digitales, de los cuales 14 pueden ser usados como salidas analógicas (PWM) y 16 entradas analógicas.

**Arduino Ethernet:** La placa utiliza un puerto ethernet y permite conectarse a internet. Los pines que posee son similares a los de la placa Arduino UNO.

**Arduino Nano:** El Arduino nano está basado en el microcontrolador Atmega 328P y tiene un tamaño de 0.73 pulgadas de ancho por 1.7 pulgadas de longitud. Esta placa ofrece el mismo número de entradas y salidas que la placa Arduino UNO.

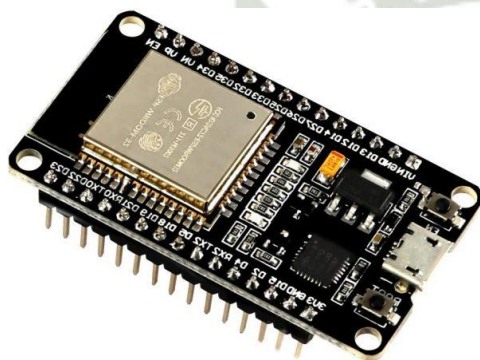
**Arduino Leonardo:** Esta placa según (LEONARDO, n.d.) está basada en el microcontrolador Atmega32U4 el cual tiene las mismas funcionalidades que el Atmega328P con la diferencia de que soporta comunicación USB directamente y no requiere ningún chip que permita la comunicación con la computadora. El hecho de que soporte USB directamente brinda la posibilidad de utilizarlo como un dispositivo HID (Human Interface Devices).

### 2.7.2. ESP32

ESP32 es un microcontrolador con un chip de bajo costo y bajo consumo con Wi-Fi integrado y Bluetooth de modo dual. La serie ESP32 emplea un microprocesador Tensilica Xtensa LX6. Este microcontrolador ha sido creado y desarrollado por Espressif Systems, una empresa china con sede en Shanghai, y es fabricado por TSMC utilizando su proceso de 40 nm (Hendry, 2019).

**Figura 2.7** Módulo ESP32

*Modulo ESP32*



**Nota de:** <https://www.sigmaelectronica.net/producto/esp-32/>

El chip cuenta con conectividad Wi-Fi, siendo compatible con 802.11 b/g/n en la banda de 2.4 GHz, alcanzando velocidades de hasta 150 Mbits/s. Incluye también comunicación Bluetooth compatible con Bluetooth v4.2 y Bluetooth Low Energy (BLE). El procesador permite realizar operaciones numéricas de forma instantánea, realizar operaciones con números reales y además ejecuta 15 veces más rápidos las instrucciones que un Arduino.

Los chips empleados por los ESP32 utilizan el package QFN para montaje superficial. Entre los chips desarrollados por Espressif Systems están los ESP32-D0WDQ6 (primer chip de la familia ESP32) que posee 48 pines, ESP32-D0WD, ESP32-D2WD, ESP32 S0WD y ESP32-PICO-D4 (Programar Fácil, n.d.).

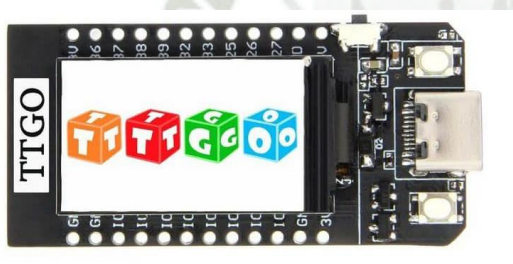


### 2.7.3. Lilygo TTGO T-Display ESP32

Lilygo TTGO T-Display es una placa de desarrollo basada en un ESP32-D0WDQ6, a diferencia de otras placas de desarrollo esta cuenta con características adicionales como: pantalla a color de 1.14 pulgadas (comunicación SPI), interfaz para carga de baterías litio y 2 botones. También cuenta con WiFi y Bluetooth. Esta placa de desarrollo está pensada para desarrollar proyectos de internet de las cosas (IoT). La pantalla permite mostrar información de los sensores, actuadores, conexión a internet, etc. Además, posee un circuito para cargar baterías de litio, para esto solo es necesario conectar la placa a alimentación por el puerto tipo C (UNIT ELECTRONICS, n.d.).

**Figura 2.8** Lilygo TTGO T-Display ESP32

*Lilygo TTGO T-Display ESP32*



**Nota de:** <https://sg.cytron.io/>

## 2.8. Internet de las cosas (IoT)

El internet de las cosas hace referencia a la conexión de dispositivos u objetos de uso cotidiano a internet con la finalidad de intercambiar, agregar y procesar información sobre el entorno físico para proporcionar servicios de valor añadido a los usuarios finales.

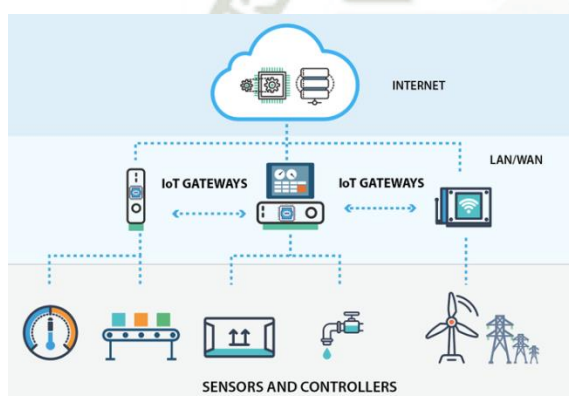
El propósito del Internet de las Cosas es brindar una infraestructura que supere la barrera entre los objetos en el mundo físico y su representación en los sistemas de información. El término Internet de las Cosas fue utilizado y acuñado por primera vez por Kevin Ashton en una presentación que realizó en 1999 para la multinacional Procter & Gamble, donde describía un sistema en el cual los objetos en el mundo físico se podrían conectar a internet

a través de sensores para automatizar la colecta de datos añadiendo etiquetas RFID (Identificación por radiofrecuencia) (Barrio, 2018).

Dentro de la categoría de dispositivo IoT existen dispositivos denominados contadores inteligentes o medidores inteligentes, es decir, equipos electrónicos que permiten la medición de energía (gas y/o electricidad), calefacción, climatización agua y otras magnitudes. Estos medidores permiten e integran más funciones que un medidor tradicional, además brindaría información a las empresas distribuidoras de energía acerca de los patrones de consumo (Barrio, 2018).

**Figura 2.9** Internet de las Cosas en la Industria

*Internet de las Cosas en la Industria*



**Nota de:** (Open Automation Software, n.d.)

En la Figura 2.9 se muestra un esquema general de la conexión de los distintos dispositivos a una puerta de enlace hacia internet para enviar y recibir información de un centro de control.

### 2.8.1. Protocolos de comunicación IoT

Los dispositivos IoT necesitan una plataforma en la cual trabajar, es decir, una plataforma que pueda gestionar la información proveniente de sensores y/o actuadores, pero sin protocolos de red estos sistemas no se podrían ejecutar. Los protocolos de comunicación utilizados por las redes IoT cuentan con varios niveles:

- **Aplicación:** Interfaz entre usuario y dispositivo.
- **Red:** Potencia la comunicación entre enrutador y cada uno de los dispositivos conectados.
- **Transporte:** Facilita la comunicación de los datos entre los diferentes niveles y brinda seguridad.
- **Físico:** Red de comunicación física entre dispositivos.
- **Vínculo de datos:** Transporta los datos en el sistema, detecta y corrige errores.

Los protocolos de comunicación deben permitir la comunicación entre varios dispositivos de forma simultánea con la finalidad de transportar la información de los sensores y/o actuadores entre sí o el sistema de monitoreo. Estos también permiten garantizar la seguridad ante ciberataques ya que los dispositivos IoT podrían ser vulnerables a ataques cibernéticos (Barbaraiot, n.d.). El tipo de protocolo a emplear depende mucho de la aplicación del dispositivo IoT ya que se debe tener en cuenta la función y la distancia a la que se debe enviar la información. Los protocolos más habituales para la comunicación de dispositivos IoT son:

- **MQTT**
- **HTTP**

### 2.8.2. Tecnologías Inalámbricas de Comunicación

Las tecnologías inalámbricas nos permiten transferir información de un punto a otro sin utilizar ningún medio físico (cable). Los sistemas de red inalámbrica son fáciles de configurar y más económico de mantener. Permiten el acceso de forma remota a los dispositivos y además son más adaptables a nuevos entornos que las redes cableadas. Los inconvenientes que se pueden encontrar en las tecnologías inalámbricas es que son propensas a la interferencia de señales, radiación, etc. y la velocidad de la transmisión de datos varía en función de la ubicación del usuario final (MOKO LORA, 2021).



- **Redes inalámbricas de área amplia (WWAN)**

Utilizan ondas de radio y permiten el acceso inalámbrico de largo alcance a una distancia máxima de 100 km a varios usuarios a la red principal (la cual es cableada). Encontramos en esta categoría a la red celular 2G, 3G, 4G y 5G, así como también SIGFOX Y LoRa.

- **Redes inalámbricas de vecindario (WNAN)**

Son redes de alcance medio teniendo distancias máximas de 5 – 10 km. Entre este tipo de red encontramos tecnologías como Wi-SUN y Zigbee-NAN.

- **Red de área local inalámbrica (WLAN)**

Son redes de corto alcance con distancias máximas aproximadas de 100 metros. Entre este tipo de redes encontramos 802.11/a/b/g/n/ac (WiFi).

- **Red de área personal inalámbrica (WPAN)**

Son redes de un alcance bajo que está entre los 10 – 100 metros aproximadamente. En este tipo de red encontramos tecnologías como ZigBee, Z-Wave, Bluetooth BLE, etc.

#### 2.8.2.1. WiFi

Esta tecnología permite conectar dispositivos de forma inalámbrica, dispositivos como: computadoras, dispositivos móviles, impresoras, etc. Además, permite que los dispositivos conectados a la red compartan información entre sí.

Es el estándar IEEE 802.11 el que define los protocolos que establecen como debería darse la comunicación entre dispositivos que admiten WiFi, incluidos routers y puntos de acceso inalámbrico. El proyecto empleará este modo de comunicación inalámbrico para conectar el prototipo de medidor inteligente y enviar la información a internet a través de una plataforma IoT (CISCO, n.d.).

## 2.9. Plataformas IoT

En internet encontramos múltiples plataformas IoT en las cuales se pueden desarrollar proyectos, muchas de estas plataformas tienen un servicio gratuito, pero limitado. Si se desean adquirir más funciones, más tráfico de datos, mayor cantidad de dispositivos, etc. será necesario contar con una licencia y cuyo pago se realiza de forma mensual. La ventaja de las plataformas IoT que se mencionan en este apartado no requieren conocer acerca de protocolos de comunicación para gestionar la información que envían los dispositivos a la nube ya que este tipo de plataformas están apuntado generalmente a entusiastas y consumidores en general. A continuación, se presentan algunas de estas plataformas:

### 2.9.1. Ubidots

Ubidots es una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) que permite a las empresas crear aplicaciones IoT que convierten los datos de los sensores en conocimiento práctico y aplicable. Posee además herramientas para en análisis de datos.

Esta plataforma IoT ofrece suficientes recursos para poder integrar diferentes sensores y visualizar la información en tiempo real ya sea para un negocio o proyecto de investigación. Permite además emplear protocolos como HTTP, MQTT, TCP, UDP, etc. Asimismo, también la plataforma cuenta con una aplicación móvil para visualizar la data y muchas de las cosas que se visualizan se pueden personalizar empleando HTML/JS (ubidots, n.d.).

### 2.9.2. Blynk IoT

Esta plataforma IoT permite conectar dispositivos a la nube para visualizar datos, controlar dispositivos de forma remota con una aplicación móvil y/o web, actualización de firmware por aire (OTA), nube segura, análisis de datos, administración de acceso y usuarios, alertas, etc.



La plataforma Blynk impulsa a los fabricantes de productos para el hogar inteligente (domótica), sistemas de acondicionamiento de aire para calefacción o ventilación (HVAC), equipos agrícolas, etc. Las empresas crean aplicaciones IoT de marca sin código y obtienen la infraestructura de IoT empleando esta plataforma ya que se encargan de gestionar la información que es enviada a la nube y así poder acceder de forma remota a nuestro dispositivo.

El servidor Blynk server es de código abierto por lo que también es posible descargarlo e instalarlo en una infraestructura propia, cuando se hace una aplicación de este tipo el servidor de blynk suele ser instalado en una Raspberry Pi. Blynk ofrece distintas formas para conectarse con los dispositivos (hardware) tales como Ethernet, WiFi, red celular, USB, vía serial y Bluetooth (Blynk, n.d.).

### **2.9.3. Arduino IoT Cloud**

Arduino IoT Cloud es una plataforma de Internet de las Cosas (IoT) que permite desarrollar de forma sencilla aplicaciones para visualizar datos en tiempo real. Esta plataforma hace posible conectar dispositivos a internet empleando para esto WiFi, Lora y red celular (GSM). Para empezar a trabajar con esta plataforma se puede emplear una placa Arduino que soporte las formas de comunicación previamente mencionadas o placas basadas en los microcontroladores ESP32 o ESP8266.

Entre los dispositivos de Arduino que son compatibles para conexión WiFi se tiene: MKR 1000 WiFi, MKR WiFi 1010, Nano RP2040 Connect, Nano 33 IoT, Portenta H7, Portenta H7 Lite Connected y Nicla Vision (Arduino IoT, n.d.).

#### 2.9.4. Thingier.io

Thingier.io es una plataforma IoT que proporciona herramientas para crear prototipos, escalar y administrar dispositivos. La cuenta gratuita que brinda esta plataforma permite agregar máximo dos dispositivos, 4 dashboards (tableros para mostrar la información), 4 data buckets (para almacenar la información en la nube) y 4 endpoints (permiten la conexión con otros servicios que ofrece thingier como: enviar mensajes de texto, correos, conexión con IFTTT (If This Then Than) o llamar un endpoint HTTP).

El código que se emplea para el uso de la plataforma es sencillo ya que se requieren pocas líneas de código para realizar la conexión a esta plataforma IoT. Al agregar las líneas de código la consola basada en la web de Thingier es capaz de detectar y administrar miles de dispositivos. Otra de las ventajas que ofrece Thingier es la posibilidad de conectar cualquier dispositivo de cualquier fabricante a su plataforma. Su infraestructura le permite administrar miles de dispositivos con poca carga computacional, ancho de banda y latencias (Thingier.io, n.d.).

#### 2.9.5. IFTTT

IFTTT (If This Then Than o Si Esto Luego Aquello) es una plataforma de software que permite conectar diferentes apps, dispositivos y servicios de diferentes desarrolladores con la finalidad de automatizar ciertas tareas o servicios. Esta plataforma no ofrece una conexión directa de los dispositivos a internet a diferencia de las plataformas IoT previamente mencionadas, sin embargo, muchas de las plataformas IoT que se encuentran en el mercado ofrecen la posibilidad de conectarse a IFTTT, incluso muchos dispositivos IoT ofrecen este servicio también. La automatización de tareas se realiza mediante applets en las cuales se crean condiciones y se detalla que hacer si se cumplen dichas condiciones. Esta es una plataforma de paga, pero de forma gratuita se pueden crear 2 applets (IFTTT, n.d.).

## 2.10. Programación Over the Air (OTA)

OTA (Over The Air o Sobre el Aire) es una forma de actualizar el firmware de los dispositivos IoT. Este concepto se refiere a un método de distribución de nuevo software y la ventaja es que no requiere conectar el dispositivo físicamente a un computador para cargar el nuevo código. Esta es una tecnología que lleva siendo ampliamente empleada por los Smartphones (Teléfonos Inteligentes) ya que cuando queremos actualizar el software de nuestro teléfono Android este recibe las actualizaciones de software y firmware necesarias a través de internet aprovechando para ellos la conexión de datos móviles o WiFi.

Para que esta tecnología funcione se requiere que sean compatibles tanto el software como el hardware. Los dispositivos no solo reciben la actualización, sino que también deben de instalarla en el sistema. En el caso de los Smartphones la actualización que se recibe no se suele instalar de forma automática y se espera que sea el usuario quien destine un tiempo para que lo haga de forma voluntaria. De esta forma se asegura que el dispositivo no entre en un estado de pausa y deje de funcionar de forma involuntaria.

Las placas ESP32 admiten actualización de su firmware mediante OTA y lo realizan empleando WiFi. Al trabajar con dispositivos IoT y tenerlos instalados en puntos remotos a veces resulta complicado acceder a estos dispositivos por lo que esto supone una gran ventaja. Además, también es posible desplegar una actualización a varios dispositivos que compartan un mismo firmware. Hay varias formas de actualizar el firmware de un ESP32 empleando OTA, puede ser mediante librerías como AsyncEleganOTA o empleando alguna plataforma IoT que lo admita. Al emplear OTA se deben agregar en el código las líneas necesarias que permitan habilitar en el dispositivo las actualizaciones OTA cada vez que agregue actualice el dispositivo, si por alguna razón se obvia esta parte el dispositivo ya no podrá seguir recibiendo actualizaciones OTA (Random Nerd Tutorials, n.d.).



Al asegurar el dispositivo IoT para que admita programación OTA se está pensando a futuro ya que se pueden corregir líneas de código que generan errores, implementar nuevas funciones, mejorar la seguridad del dispositivo, etc.

La plataforma IoT Thinger.io emplea una extensión que puede ser instalada en Visual Studio Code que permite cargar el nuevo firmware al dispositivo que se elija, esto facilita la integración de OTA en los dispositivos IoT, lo único que resta sería compilar y cargar el código. En el caso de Thinger.io el hardware que soporta OTA de acuerdo a su documentación se lista a continuación:

- Espressif ESP8266
- Espressif ESP32
- Arduino Nano 33 IOT
- Arduino MKR WiFi 1010
- Arduino RPI2040 Connect
- Arduino MKR NB 1500

## **2.11. Softwares empleados para el Proyecto**

Para el desarrollo de este proyecto es necesario contar con software que facilite el diseño del prototipo de medidor inteligente y su programación. A continuación, se detalla información de los softwares requeridos para el desarrollo del proyecto:

### **2.11.1. Visual Studio IDE**

Visual Studio es un editor de código que permite depurar y compilar código. Este entorno puede trabajar con diversos lenguajes de programación. Este software está disponible para Windows y para Mac (Microsoft, n.d.).

### 2.11.2. PlatformIO

Esta es una herramienta multiplataforma y multiarquitectura para ingenieros de sistemas integrados y para desarrolladores de software para productos integrados. Esta es una extensión de software que se instala en el entorno de Visual Studio. Los usuarios de PlatformIO pueden ser aficionados o profesionales. La estructura del sistema de compilación etiqueta automáticamente las dependencias del software y las aplica mediante una jerarquía modular eliminando así la complejidad al programar. Este entorno de programación para C/C++ está orientado al hardware. Empleando esta extensión de Visual Studio será posible programar la placa de desarrollo Lilygo TTGO T-Display el cual controlará todas las funciones del prototipo de medidor inteligente planteado en este proyecto (PlatformIO, n.d.).

### 2.11.3. Arduino IDE

Arduino IDE es un conjunto de herramientas de software que permiten a los programadores desarrollar código para las placas de Arduino. El entorno de programación permite escribir, depurar, editar y grabar el programa de manera sencilla.

El área de trabajo de Arduino se divide en 5 partes: la barra de menús, la barra de botones, el editor de código, la barra de consola de mensajes y la barra de estado. Los programas escritos en Arduino tienen una extensión .ino y el archivo se guarda en una carpeta con el mismo nombre que tenga el programa. El código se escribe en el editor de código. Encontramos por defecto las placas de Arduino cuando queremos seleccionar una tarjeta, pero también es posible instalar otras tarjetas que no sean de Arduino como ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico, etc (Arduino, n.d.).

### 2.11.4. Proteus

Proteus es un software que permite el desarrollo de proyectos electrónicos, para esto Proteus posee dos espacios de trabajo fundamentales: uno de ellos permite crear el esquemático del



circuito y el segundo permite diseñar la PCB. Asimismo, también posee un entorno de programación en el cual se puede agregar código directamente a los microcontroladores que se agreguen en el esquemático para simular circuitos.

Este software también permite crear componentes que no existen en las librerías ya sea en la parte del esquemático o el footprint para la PCB. El visor 3D que posee permite también ir verificando el diseño de la PCB conforme se va trabajando en el desarrollo de proyectos (LabCenter, n.d.).

#### **2.11.5. Solidworks**

Este software está enfocado en el diseño asistido por computadora (CAD) 3D con la finalidad de que ayude en el modelo de piezas y ensambles 3D y planos en 2D. Ofrece la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. Cuenta con las herramientas necesarias para que el diseño de piezas 3D sea eficaz y más productivo. Este software es de gran utilidad para el proyecto ya que permitirá diseñar la carcasa del prototipo de medidor inteligente (SolidBi, n.d.).

#### **2.12. Placa de circuito impreso (PCB)**

Una PCB o placa de circuito impreso es una placa que permite colocar componentes electrónicos y la forma en la que se enlazan los componentes es mediante conductores contenidos en su propia estructura mecánica llamados “pistas” (traces). Las funciones conductoras incluyen trazas de cobre, terminales, disipadores de calor o conductores planos. Estas placas se construyen en base a un material laminado aislante entre capas de material conductivo, el material más empleando para la fabricación de PCBs es FR4.

Una vez fabricada la PCB puede estar lista para montaje SMT o THT, para esto un robot puede colocar los componentes con precisión y proceder a soldar en un horno con temperatura controlada (Altium, n.d.).

### 2.13. Señales analógicas y Acondicionamiento

Una señal analógica es una señal que no puede medir la computadora o cualquier otro sistema digital sin emplear un conversor analógico digital (ADC). Esta es una señal que varía el tiempo y la mayoría de sensores brindan señales tanto en voltaje como en corriente.

Las señales de salida de los sensores en un sistema por lo general se deben de procesar para obtener una medida adecuada. En el caso que la señal sea pequeña esta requiere amplificarse, si contiene ruido hay que emplear filtros para tratar de mitigarlo, si los datos de salida no son lineales entonces requerirían linealización, en el caso de que la señal se analógica se requerirá discretizar y digitalizar la señal, etc. Por ejemplo, un sensor de temperatura PT100 indica una temperatura de 0° C a 100 ohms, al ser este comportamiento lineal no requiere de un circuito de acondicionamiento para linealizar los datos del sensor, pero si es necesario insertar esta resistencia en un circuito para obtener un valor de tensión que pueda ser leído por el ADC. Esta resistencia podría por ejemplo insertarse en un puente de Wheatstone (William Bolton, 2017).

El proceso de acondicionamiento de señal implica:

- **Protección:** Evitar dañar al resto de componentes por emplear un voltaje o corriente elevada y fuera de rango aceptable por los microcontroladores. Se emplean fusibles, resistencias limitadoras de corriente, etc.
- **Cambiar la señal a un tipo de señal adecuado:** Hace referencia a convertir un voltaje en corriente o viceversa según se requiera en el proceso. Verificar también si la señal debe ser analógica o digital.
- **Obtención del nivel adecuado de señal:** Amplificar la señal cuando esta es muy pequeña antes de que entre al microprocesador o microcontrolador.

- **Eliminación de ruido:** Eliminar el ruido de las señales analógicas empleando para esto filtros a nivel de hardware o filtros digitales.
- **Manipulación de la señal:** Manipular la señal para linealizarla en caso sea necesario.





# **CAPÍTULO III**

## **DESARROLLO DEL PROYECTO**



### **3. DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1. Selección de Componentes**

El desarrollo del presente proyecto tiene que contar con los componentes adecuados para el funcionamiento general del sistema de medición, para ello se han escogido los componentes que se muestran a continuación:

##### **3.1.1. LilyGo TTGO T-Display ESP32**

El sistema de medición requiere conectarse a internet para el envío de información, esto se puede lograr de varias formas, sin embargo, entre las soluciones que no requieren tanta complejidad se tiene: emplear un Arduino y un módulo ESP-01 para la conexión a internet o emplear un ESP32 el cual ya incluye WiFi. En base a lo descrito anteriormente podría optarse por una solución u otra, sin embargo, el sistema también requiere que el firmware del medidor se ejecute de forma rápida y cuente con la memoria suficiente para implementar el firmware del sistema. La memoria del firmware incrementa por el envío de datos a la plataforma IoT, manejo de la pantalla a color, manejo de los sensores, escalamiento de los parámetros de los sensores, convertidores ADC (convertidos analógicos-digitales).

Además, uno de los requerimientos importantes para el desarrollo del firmware es la posibilidad de dividir el programa en partes más pequeñas que trabajen de forma independiente y que si falla una no afecte el funcionamiento del resto del firmware del medidor. Las placas de desarrollo Arduino tales como: Uno, Nano o Mega las cuales son las más empleadas cuentan con un solo núcleo para el procesamiento del programa lo cual quiere decir que todo el código que se pueda cargar a esta placa se ejecuta línea a línea, pero en un solo núcleo, no pudiendo trabajar dos códigos distintos de forma paralela. En cambio, en los ESP32 al contar con doble núcleo brinda esta posibilidad y expande más el desarrollo del proyecto permitiendo así correr por ejemplo la lectura de sensores en un núcleo y los

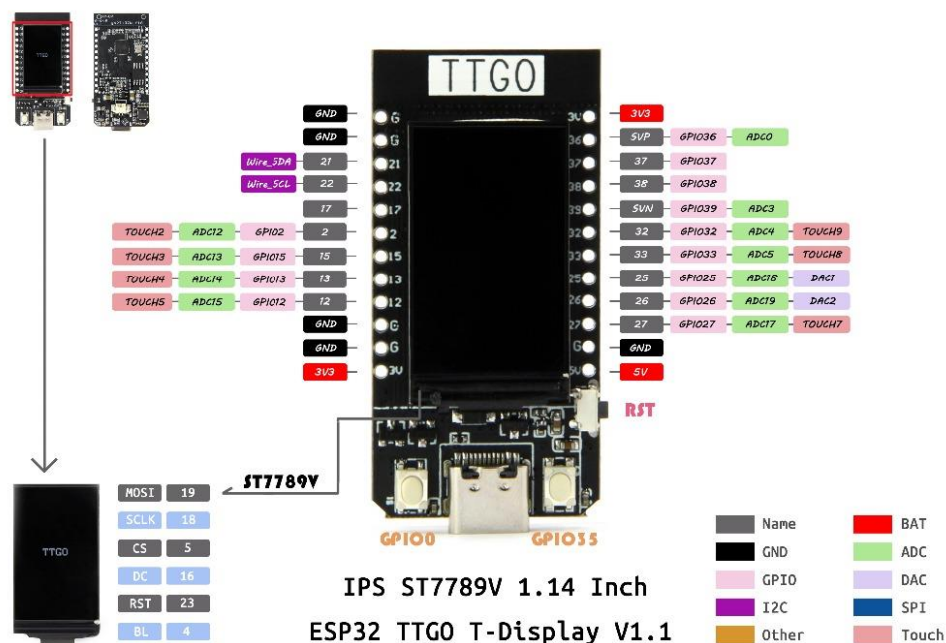
gráficos de la pantalla en otro núcleo mejorando así también a su vez la velocidad de procesamiento de cada uno de estos códigos al ejecutarse de forma paralela. Otra de las ventajas que posee el uso del ESP32 es la memoria RAM en comparación con las placas de Arduino.

De acuerdo a lo especificado se opta por emplear una placa de desarrollo ESP32 y entre todas las que ofrece el mercado se ha escogido una que ya incluye una pantalla a color para presentar la información del medidor. LilyGo TTGO T-Display ESP32 es una placa de desarrollo basada en el ESP32. Entre las ventajas que posee esta placa se tiene:

- USB Tipo-C (Alimentación y conexión de datos reversible)
- Dos botones programables en la misma placa
- Pantalla a color de 1.14 pulgadas IPS ST7789V.
- 16 MB de memoria Flash.
- Doble núcleo.
- Microprocesador LX6 de 32 bits.
- 520 KB SRAM.
- Conexión WiFi (2.4 GHz) y Bluetooth
- Interfaz de carga para baterías de litio.
- Permite actualizaciones por OTA.
- Sistema operativo para sistemas embebidos FreeRTOS.
- Programación vía Arduino y Micropython.

**Figura 3.1**

*Pines del ESP32 LilyGo TTGO T-Display*



### 3.1.2. Sensor de voltaje

Para realizar la medición de la tensión en el medidor se emplea el módulo ZMPT101B. Este módulo también es conocido como un transformador de voltaje y puede medir hasta 250 VAC. El módulo cuenta con el circuito necesario para el acondicionamiento de señal convirtiendo la señal AC de entrada en una señal AC que fluctúa entre 0 y 5 voltios cuando es alimentado con 5 VDC. Una de las ventajas de emplear este módulo es que no se requiere hacer un acondicionamiento de señal, sin embargo, el proceso de acondicionamiento de este módulo se explica más adelante en otro apartado.

Las especificaciones técnicas más importante de este módulo se presentan a continuación:

- Voltaje de alimentación: 3.3 a 5 VDC.
- Máximo voltaje de entrada: 250 VAC.
- Voltaje de salida: Senoidal 5 VAC máximo.
- Precisión: 0,2%.



**Figura 3.2***Sensor de voltaje ZMPT101B*

### 3.1.3. Sensor de Corriente (SCT-013)

Para determinar la potencia y posteriormente la energía consumida no basta con tener el parámetro de tensión, por lo que la medición de corriente resulta de gran importancia. Con la finalidad de implementar el prototipo de medidor y facilitar el montaje de este se opta por emplear transformadores de corriente tipo pinza amperimétrica como el que se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.3***Sensor de corriente SCT-013*



El sensor de corriente de la figura es un método de medición no invasivo que permite medir la corriente por inducción electromagnética, estos disponen de un núcleo ferromagnético partido que permite abrirlo para colocar un conductor eléctrico. Estos transformadores de corriente son ampliamente utilizados en distribución eléctrica permitiendo monitorear parámetros eléctricos de la red.

Se seleccionan en función del tipo de salida ya que esta puede ser en corriente o tensión. El modelo más popular que se encuentra en las tiendas es el SCT-013-000 el cual puede medir hasta máximo 100 A de corriente alterna entregando proporcionalmente una salida de 50mA de corriente alterna. Se escoge esta salida en corriente y para poder leer esta señal es necesario acondicionarla y hacer que fluctúe entre 0 y 5 voltios para que pueda ser leído por el módulo ADS 1115.

Algunas especificaciones técnicas del sensor de corriente escogido se presentan a continuación:

- Corriente de entrada: 0 a 100 A AC.
- Corriente de salida: 0 a 50 mA AC.
- No linealidad:  $\pm 1\%$ .
- Temperatura de operación:  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$ .
- Longitud del cable: 1 m.

#### **3.1.4. Conector de Audio 3.5mm PJ307**

Como se puede ver en la figura de los transformadores de corriente SCT013, estos cuentan con un conector Jack macho de 3.5mm, para evitar cortar el conector y hacer más fácil el montaje de estos, se opta por emplear un conector Jack de 3.5mm hembra. Cabe destacar que en el mercado existen varios tipos de conectores Jack hembra de 3.5mm para PCB y el mostrado en la siguiente figura no es el único modelo disponible.

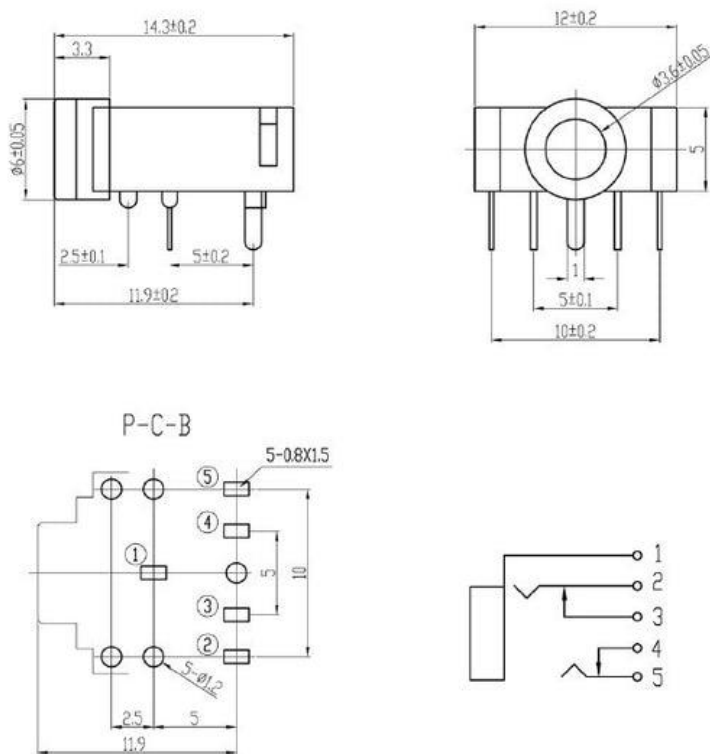
**Figura 3.4**

*Jack de 3.5mm hembra PJ307 para PCB*



**Figura 3.5** Dimensiones y footprint del Jack de 3.5mm F

*Dimensiones y footprint del Jack de 3.5mm PJ307*



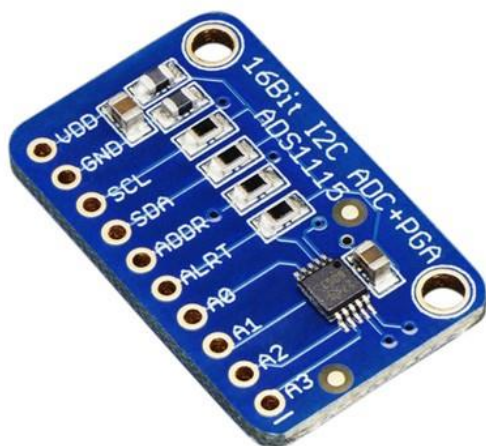
### 3.1.5. Conversor Analógico-Digital (ADS 1115)

La placa de desarrollo ESP32 escogida posee convertidores analógicos digitales (ADC) con una resolución de 12 bits, teniendo así una variación entre 0 y 4096 que corresponden a una entrada analógica entre 0 y 3.3 voltios. Empleando el ADC interno del ESP32 permitiría incrementos de 0.805 mV y además se requeriría un acondicionamiento de señal de los sensores para trabajar a 3.3V.

El uso del módulo ADS1115 permite trabajar hasta con 4 señales analógicas con una resolución de 16 bits de los cuales 1 bit es para el signo teniendo disponible 15 bits, es decir, una variación entre 0 y 32768 y un rango de trabajo en voltaje de 0 a 5 voltios. La forma de comunicación de este módulo ADS 1115 es mediante I2C. Al emplear este módulo se tienen incrementos de 0.15 mV, obteniendo así mayor precisión en la lectura y calidad de conversión.

**Figura 3.6** Módulo ADS 1115

*Módulo ADS 1115*



El módulo ADS 1115 permite la lectura de 4 señales individuales (solo parte positiva de señal) o 2 señales diferenciales (parte positiva y negativa). Dentro de las características de este módulo se tiene:



- Tensión de operación: 5V.
- Interfaz de comunicación: I2C.
- Chip principal: ADS 1115.
- Velocidad de muestreo: 860 muestras/segundo.
- 4 canales en modo individual, 2 canales en modo diferencial
- Ganancia programable.

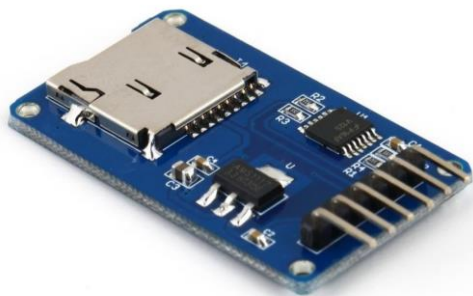
Respecto al módulo mostrado anteriormente se utilizarán las conexiones presentadas en el módulo, así como el integrado ADS 1115 y resistencias para que puedan ser montadas sobre la PCB del medidor.

### 3.1.6. Módulo Micro SD

Uno de los alcances de este proyecto es poder guardar los datos del medidor en una memoria micro SD con la finalidad de registrar las lecturas de los últimos 5 meses, energía consumida con fecha y hora y también almacenar el dato de energía. Almacenar estos valores son de vital importancia para el medidor para evitar el reinicio del consumo de energía en caso exista un corte de energía. En la figura que se muestra a continuación se puede observar el módulo micro SD, el cual necesita un socket para la tarjeta SD, resistencias, regulador de tensión de 3.3V y el integrado 74LVC125APW118, componentes que se utilizarán para soldar en la misma PCB del medidor.

**Figura 3.7**

*Módulo micro SD*





Entre las especificaciones técnicas más importantes del módulo micro SD se tiene:

- Voltaje de operación: 3.3 a 5 Voltios.
- Interfaz de comunicación: SPI (MOSI, MISO, SCK, CS).
- Chip conversor lógico: 74LVC125APW118 o MC74VHCT125A.

La ventaja que supone emplear solo los componentes del módulo micro SD así como del módulo ADS 1115 es el ahorro de espacio ya que la PCB que traen los módulos ocupa mucho espacio en la PCB del medidor. Una evaluación de estos módulos fue necesaria, así como la aplicación de ingeniería inversa para comprender las conexiones que existen entre los componentes que ya vienen soldados por defecto en los módulos.

### 3.1.7. Fuente de Alimentación Mean Well DR-15-5

El prototipo de medidor de este proyecto debe estar diseñado para ser colocado en un riel DIN, pero no se ha contemplado una alimentación directa en el medidor por lo que se requiere una fuente de alimentación externa de 5V DC como la mostrada en la siguiente figura:

**Figura 3.8**

*Fuente de alimentación Mean Well DR-15-5*



La selección de esta fuente se debe realizar en base al consumo esperado del circuito analizando para esto el consumo de cada componente principal del medidor:

**Tabla 2**

*Corriente consumida por cada componente*

| N     | Componente                  | Cantidad | Corriente Un. | Corriente Total |
|-------|-----------------------------|----------|---------------|-----------------|
| 1     | ESP32 LilyGo TTGO T-Display | 1        | 0.17          | 0.17            |
| 2     | ADS 1115                    | 2        | 0.0003        | 0.0006          |
| 3     | Módulo Micro SD             | 1        | 0.05          | 0.05            |
| 4     | Led RG 5mm                  | 1        | 0.35          | 0.35            |
| 5     | ZMPT101B                    | 4        | 0.05          | 0.2             |
| TOTAL |                             |          |               | 0.7706          |

La corriente necesaria para energizar el medidor es de **0.7706 Amperios** tal y como se muestra en la Tabla 2, si aplicamos un factor de seguridad de 1.2 obtenemos una corriente de **0.92472 Amperios**. Teniendo en cuenta que la corriente mínima que entregan las fuentes para riel DIN a 5 voltios en la marca Mean Well es de 2.4 Amperios.

La fuente escogida es Mean Well DR-15-5 y entre sus especificaciones técnicas más importantes se tiene:

- Voltaje de salida: 5 VDC.
- Voltaje de entrada: 85 – 265 VAC.
- Frecuencia de red: 47 – 63 Hz.
- Corriente máxima que puede suministrar: 2.4 Amperios.
- Potencia: 12 Watts.
- Eficiencia: 77%.
- Montaje: Riel DIN.

### 3.2. Acondicionamiento de Señal de Sensores

La señal eléctrica dada por la empresa distribuidora es una señal de tipo alterna y posee un valor no apto para los convertidores analógicos digitales, por esta razón un acondicionamiento de esta señal es requerido.

#### 3.2.1. Medición de Corriente

El transformador de corriente empleado en este proyecto es un SCT-013 de 100 A no invasivo. El hecho de que sea un transformador de corriente no invasivo permite una fácil instalación a cualquier cable que se desee medir la corriente.

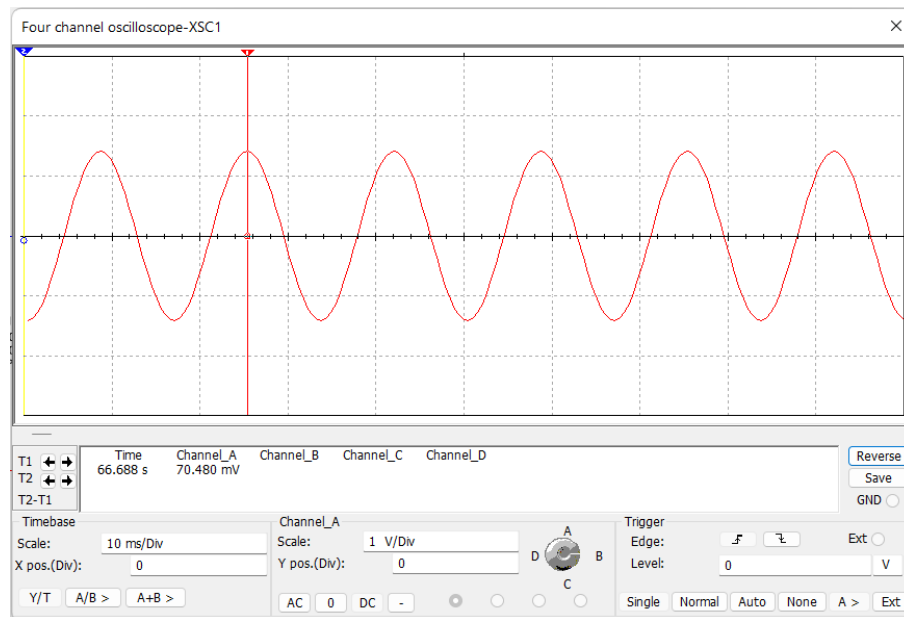
La corriente que atraviesa un conductor será alterna y como máximo se podrá medir un valor de 100 A con el transformador de corriente escogido. Cuando la corriente principal del sistema atraviesa el devanado primario se genera una intensidad de corriente en el devanado secundario proporcional a la que pasa por el devanado primario. En el caso del CT escogido esta relación es de 100A:50mA, lo cual quiere decir que para 100 Amperios de corriente se tendrán 50mA. Es importante mencionar que los valores de corriente mencionados anteriormente dados por el CT son valores eficaces.

Pese a tener un valor bajo de corriente aún existen dos problemas para realizar la medición de corriente con nuestro medidor: se requiere un valor en tensión y además estos valores en tensión deben ser positivos.



**Figura 3.9**

*Corriente en el devanado secundario*



En la Figura 3.9 observamos la corriente alterna que existe en el devanado secundario. Esta corriente tiene un valor pico de aproximadamente 70.71mA los cuales se han calculado a partir de los 50mA RMS tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$v_p = v_{RMS} * \sqrt{2} = 50mA * \sqrt{2} \rightarrow 70.71mA$$

Este valor en corriente debe ser convertido a un valor en tensión y para ello es necesario agregar una resistencia de carga que permita tener una tensión entre 0 y 5 voltios. Como la corriente fluctúa entre -70.71 y 70.71mA vamos a considerar que en total tenemos 141.42mA y que para este valor de corriente debemos de tener 5 voltios. El cálculo de esta resistencia de carga se realiza aplicando la ley de ohm:

$$V = R * I$$

$$5 V = R_c * (0.14142 A)$$

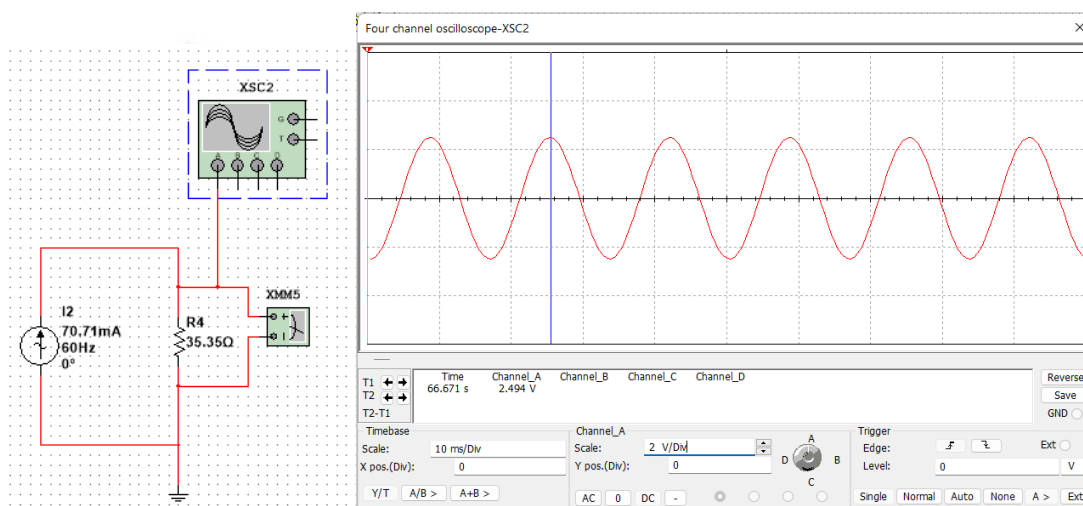
$$R_c = 35.355 \text{ ohms}$$



Si conectamos esta resistencia de carga en serie con la salida del CT podremos medir una tensión alterna en la resistencia de carga que fluctúa entre -2.5 y 2.5 voltios tal y como muestra la siguiente figura:

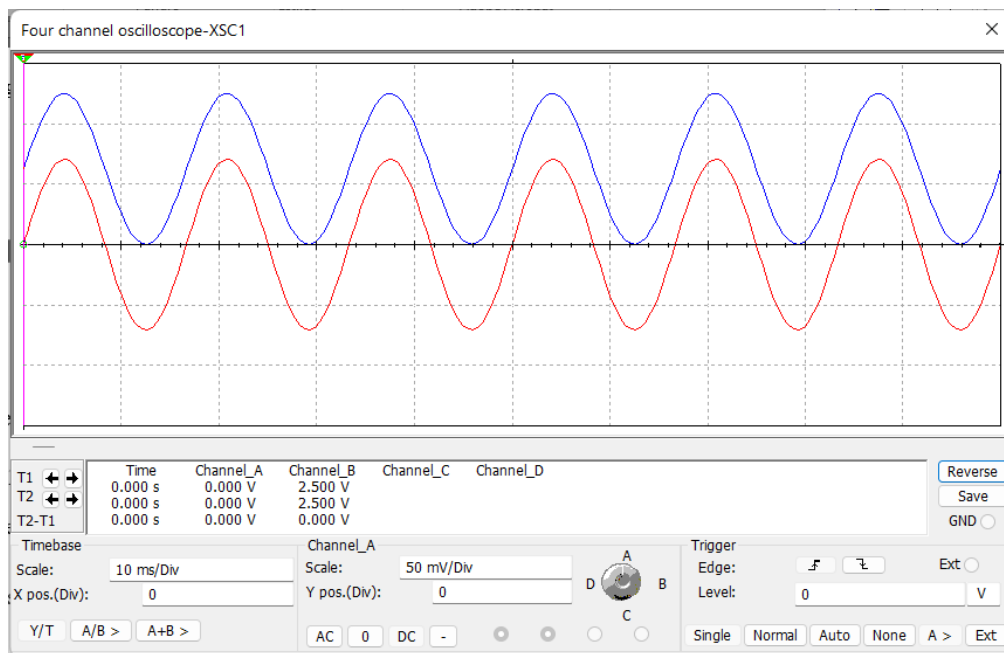
**Figura 3.10**

*Circuito de prueba con resistencia de carga*



Al convertir la señal de corriente en una señal de tensión hemos resuelto uno de los problemas que teníamos para poder medir la corriente con nuestro medidor inteligente, sin embargo, estos valores de tensión aún fluctúan y tienen una parte negativa.

Es necesario desplazar esta señal alterna en el eje Y de forma que solo se tengan valores positivos. Para desplazar esta señal alterna se debe agregar un valor de tensión en DC, pero no cualquier valor arbitrario sino un valor que en este caso nos garantice una variación de tensión entre 0 y 5 voltios. La tensión en DC que logra esto para nuestra aplicación es 2.5 voltios.

**Figura 3.11**
*Señal alterna desplazada al agregar tensión DC*


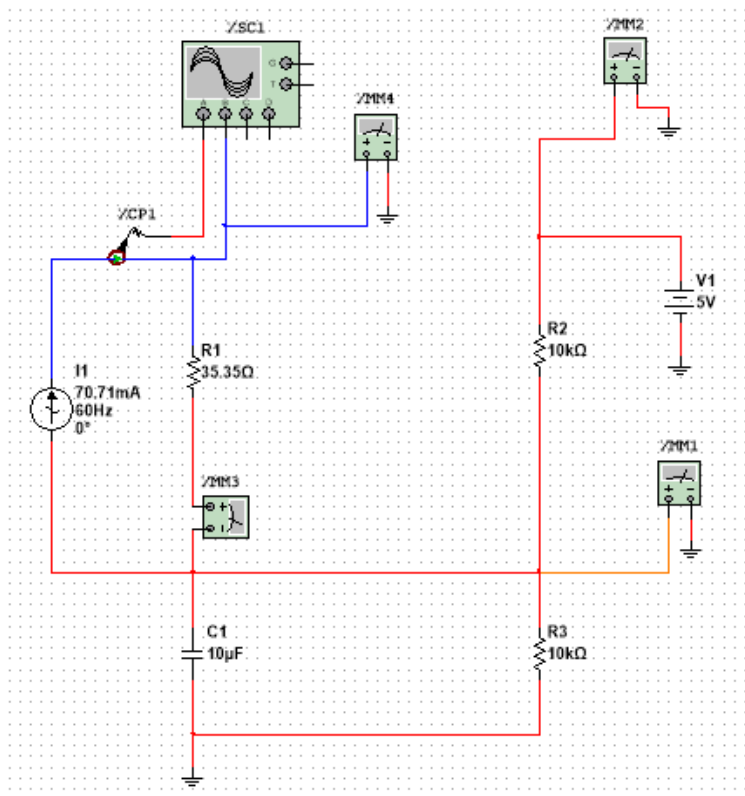
En la Figura 3.11 observamos de color rojo la tensión alterna que fluctúa entre -2.5 y 2.5 voltios. Por otro lado, de color azul tenemos la señal desplazada 2.5 voltios positivos en el eje Y. La señal de color azul que fluctúa entre 0 y 5 voltios ya es medible por el ADS 1115 y será representada por valores entre 0 y 32767 cuando planteamos un caso ideal.

Con el acondicionamiento de señal realizado tendríamos una corriente instantánea de 0 Amperios cuando la tensión es de 2.5 voltios o 16384 en el ADC. Estos valores en la práctica dependerán mucho del desplazamiento de la señal de tensión y del valor de la resistencia de carga. Cuando se realice la calibración de los sensores de corriente vía software se determinará cual es valor real de la resistencia de carga, así como la tensión de desplazamiento y su equivalente en el ADC.

El circuito que permite el acondicionamiento detallado se muestra en a la siguiente figura:

**Figura 3.12**

*Acondicionamiento de señal para transformadores de corriente*

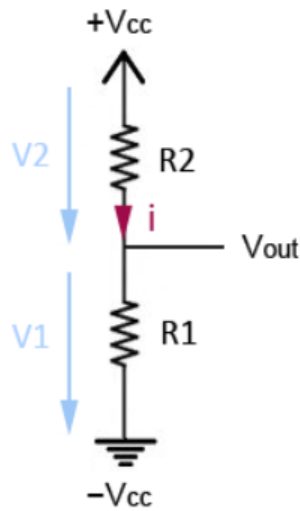


En la Figura 3.12 observamos que se ha agregado la resistencia de carga en paralelo para convertir la señal de corriente en tensión y a su vez un capacitor de 10 microfaradios para eliminar ruido presente en la señal. La tensión DC que se agrega para realizar el desplazamiento es conseguido empleando una tensión de 5 voltios y un divisor de tensión.

Las resistencias escogidas para el divisor de tensión podrían tener múltiples valores siempre y cuando estas sean de igual valor. La razón de que las resistencias del divisor de tensión tengan el mismo valor se explica a continuación:

**Figura 3.13**

*Divisor de tensión*



$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * V_{cc}$$

En la aplicación lo que se desea obtener es una salida que sea igual a la mitad de la tensión de entrada, por lo tanto:

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} \rightarrow V_{cc} = 2 * V_{out}$$

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * 2 * V_{out}$$

$$R_1 + R_2 = 2 * R_1$$

$$R_2 = R_1$$

### 3.2.2. Medición de Tensión

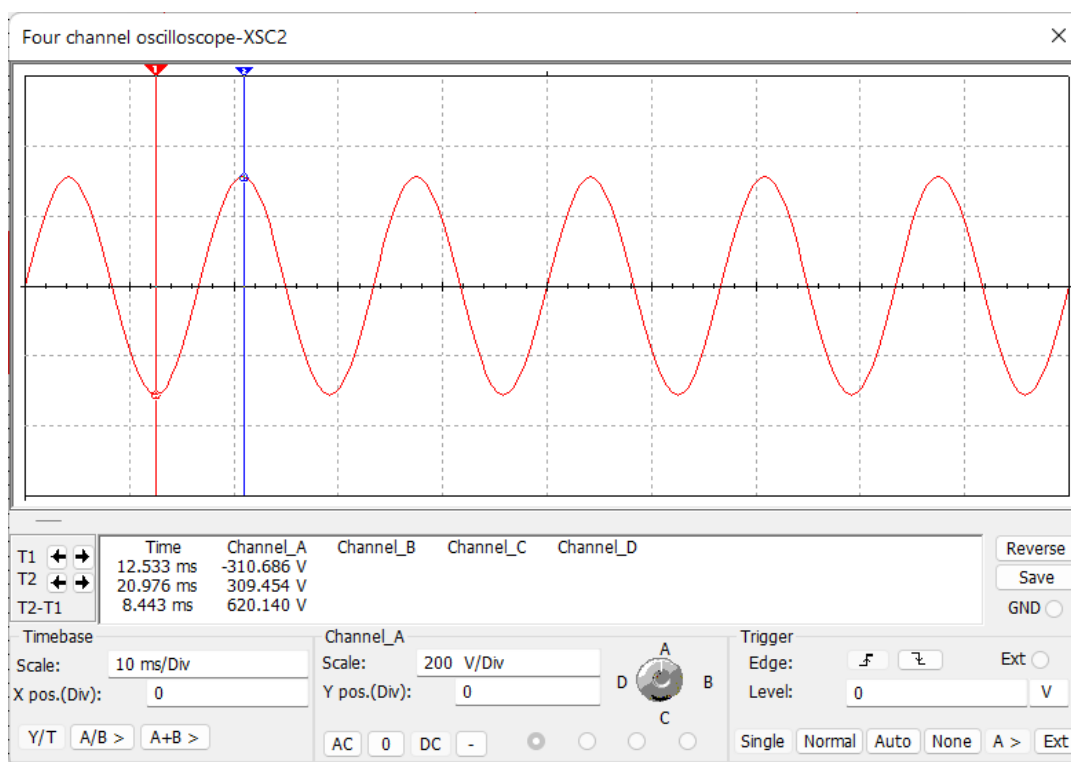
La medición de la tensión en el medidor inteligente se realiza empleando el módulo ZMPT101B y cuyo principio de funcionamiento es similar al descrito para la medición de corriente. La única diferencia que existe entre el acondicionamiento realizado en la medición de corriente con respecto a la que emplea el sensor de tensión es el uso de amplificadores operacionales también denominados OPAMPS.



La tensión en la los hogares en el Perú es de 220 Voltios, aunque al realizar mediciones notamos que esta tensión en realidad es variable, con tendencia a quedarse estable en 220 voltios. En la siguiente figura observamos la tensión de red:

**Figura 3.14**

*Tensión de red 220v RMS*



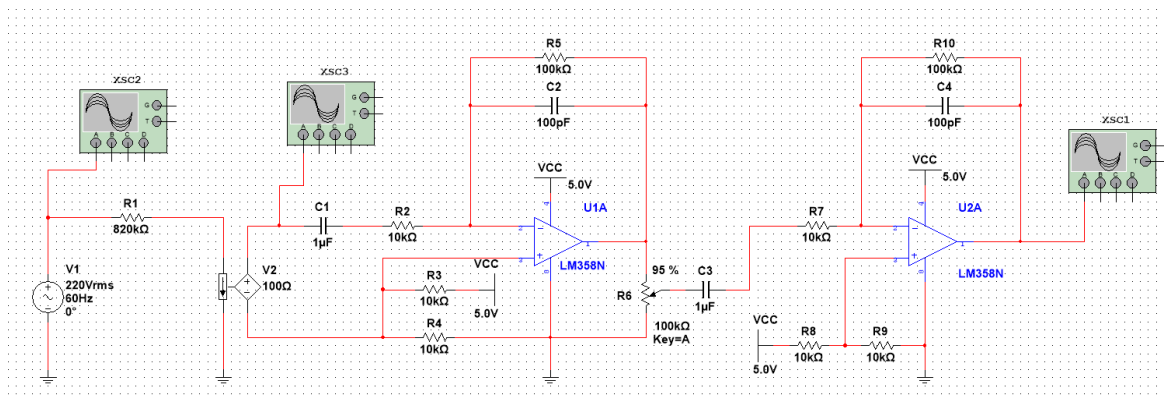
En la Figura 3.14 notamos en las medidas del canal A que la tensión fluctúa aproximadamente entre -310.686 y 309.454 voltios. Esta tensión es el valor pico de la onda alterna y puede ser calculada a partir del valor eficaz de la tensión tal y como se muestra a continuación:

$$V_p = V_{RMS} * \sqrt{2} = 220 V * \sqrt{2} \rightarrow V_p = 311.1269 V$$

Con la finalidad de entender el circuito de acondicionamiento de señal para realizar la medida de tensión se ha simulado el circuito electrónico del módulo ZMPT101B en Multisim:

**Figura 3.15**

*Circuito Electrónico del sensor ZMPT101B*

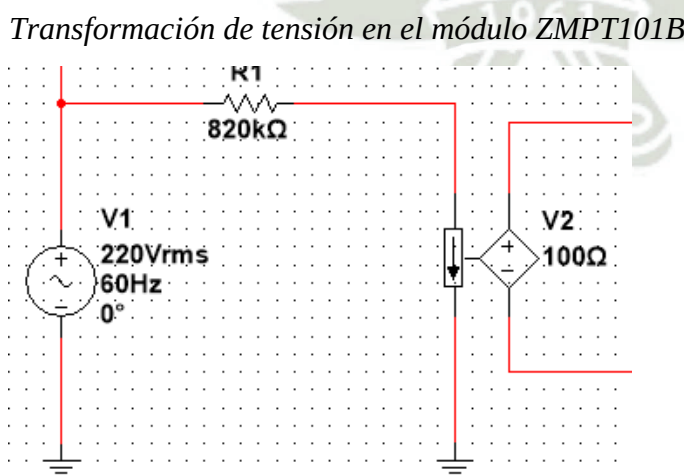


En la primera parte del circuito se tiene una resistencia con un valor de 820 KOhms conectado en serie con la tensión de red con la finalidad de generar una pequeña corriente alterna. Esta corriente alterna que se genera ingresa al transformador ZMPT101B y genera en el secundario una corriente del mismo valor. Una vez que se ha creado un aislamiento galvánico entre la entrada y la salida, se procede a convertir la corriente generada en tensión y para esto se coloca en paralelo una resistencia de 100 ohmios.

La forma en la que se ha simulado lo descrito anteriormente se muestra en la Figura 3.16:

**Figura 3.16**

*Transformación de tensión en el módulo ZMPT101B*

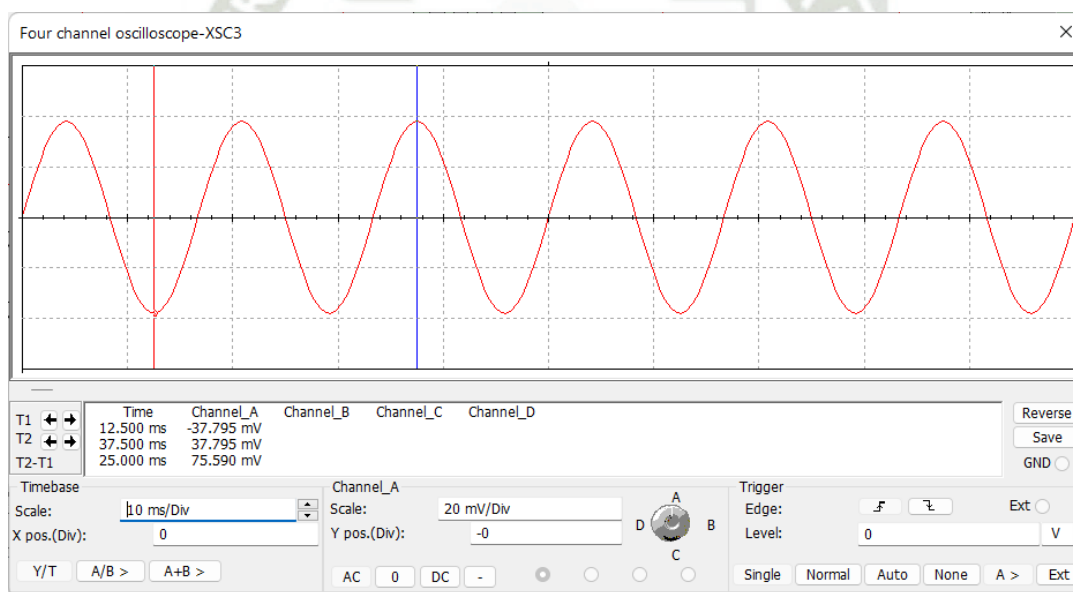


En Multisim no se dispone de transformadores de corriente por lo tanto se ha empleado una fuente de tensión controlada por corriente, es decir, que en un lado se tiene un valor de corriente y en el otro aparece una tensión. La forma en la que cambia de corriente a tensión es mediante una resistencia que se puede configurar dentro de los parámetros del dispositivo.

Con lo realizado se logra obtener una tensión alterna que fluctúa entre -37.795 y 37.795 mV tal y como se observa en la Figura 3.17. Es importante mencionar que los valores mencionados anteriormente son dependientes de la tensión alterna de entrada y en este caso todo ha sido simulado para una entrada ideal de 220 voltios (valor eficaz).

**Figura 3.17** Salida en tensión del transformador en el módulo ZMPT101B

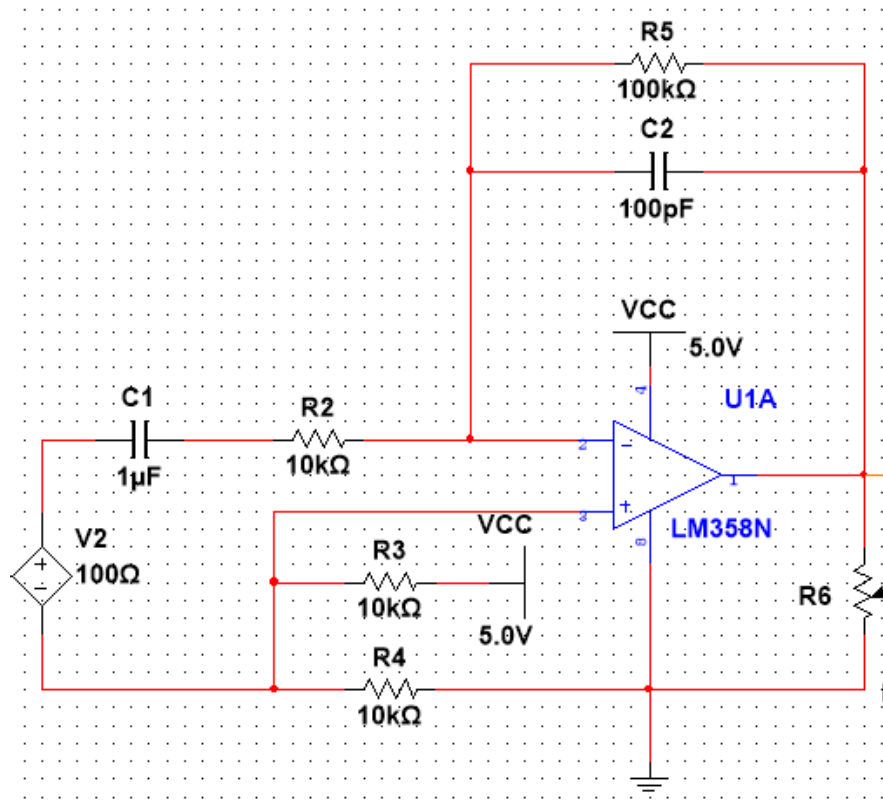
*Salida en tensión del transformador en el módulo ZMPT101B*



La siguiente parte del circuito implica incrementar la tensión obtenida y para esto el módulo ZMPT101B hace uso de un amplificador operacional LM358. La configuración empleada es similar a la de un restador sin embargo hay una variación con respecto a la referencia de la tensión de la entrada no inversora ya que en lugar de ir a tierra esta está conectada a la salida del divisor de tensión (entrada no inversora) tal y como muestra la Figura 3.18.

**Figura 3.18**

*Primer amplificador operacional para elevar la tensión*



Al tener una referencia para la tensión diferente a 0 las ecuaciones para un amplificador operacional con configuración restador no aplican por lo que es necesario calcular nuevas ecuaciones para este caso. La tensión en la entrada no inversora y entrada inversora del amplificador operacional es la misma respecto a tierra debido al corto circuito virtual entre estas terminales. Para el cálculo a esta tensión la vamos a denominar  $V_x$ .

La corriente que pasa por la resistencia R3 está definida como:

$$I_3 = \frac{V_{cc} - V_x}{R_3} \dots (3.2.1)$$

La corriente que pasa por la resistencia R4 está definida como:

$$I_4 = \frac{0 - V_x}{R_4} \dots (3.2.2)$$



Por lo tanto, la corriente que pasa por la resistencia R2 está dada como la suma de las corrientes I3 e I4:

$$I_2 = I_3 + I_4 \dots (3.2.3)$$

$$\frac{V_{cc} - V_x}{R_3} + \frac{0 - V_x}{R_4} = I_2 \dots (3.2.4)$$

Las resistencias R3 y R4 son del mismo valor por lo que se tiene:

$$I_2 * R_3 = V_{cc} - 2V_x$$

$$V_{cc} - I_2 * R_3 = 2V_x \dots (3.2.5)$$

Observando la parte superior del amplificador operacional podemos decir que existe una corriente I2 que atraviesa R2 y que esta corriente a su vez también atraviesa R5 por lo tanto la corriente I2 también puede ser expresada como:

$$I_2 = \frac{(V_x + V_2) - V_x}{R_2} = \frac{V_x - V_{out}}{R_5} \dots (3.2.6)$$

Reemplazando una de estas ecuaciones de I2 en las ecuaciones previamente obtenidas tenemos:

$$V_{cc} - \left( \frac{V_x - V_{out}}{R_5} \right) * R_3 = 2V_x$$

Despejando se obtiene:

$$-\frac{R_5}{R_3} V_{cc} + \frac{R_5}{R_3} V_x \left( 2 + \frac{R_3}{R_5} \right) = V_{out} \dots (3.2.7)$$

Por otro lado, comparando las dos ecuaciones (3.2.6) de I2 podemos obtener la siguiente expresión:

$$\frac{V_2}{R_2} = \frac{V_x}{R_5} - \frac{V_{out}}{R_5}$$

$$V_{out} = V_x - \frac{R_5}{R_2} * V_2 \dots (3.2.8)$$

Reemplazando la ecuación 3.2.8 en (3.2.7) obtenemos:

$$-\frac{R_5}{R_3} V_{cc} + \frac{R_5}{R_3} V_x \left( 2 + \frac{R_3}{R_5} \right) = V_x - \frac{R_5}{R_2} * V_2$$

$$V_x = \frac{1}{2} V_{cc} - \frac{1}{2} V_2 \dots (3.2.9)$$

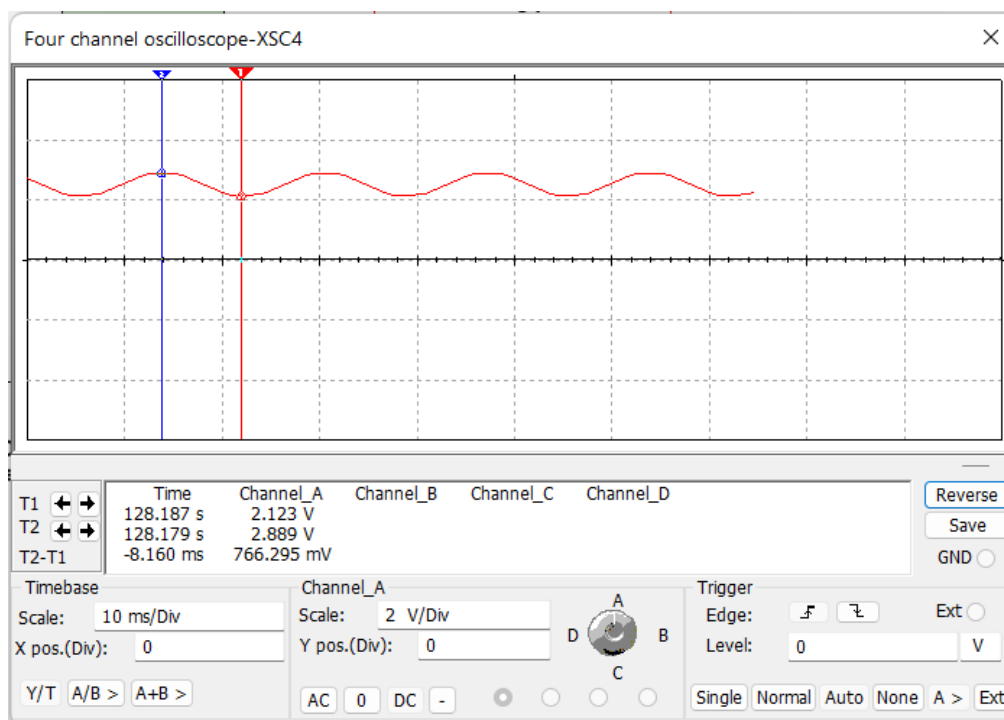
Reemplazando la ecuación 3.2.9 en 3.2.8 obtenemos la tensión de salida respecto a la entrada V2:

$$V_{out} = \frac{1}{2} V_{cc} - \frac{1}{2} V_2 - \frac{R_5}{R_2} V_2$$

$$V_{out} = 2.5 - V_2 \left( \frac{1}{2} + \frac{R_5}{R_2} \right)$$

$$V_{out} = -10.5 * V_2 + 2.5 \dots (3.2.10)$$

La ecuación 3.2.10 sugiere que la tensión V2 a la entrada del amplificador operacional es invertida debido a la presencia del signo negativo. Además, esta ecuación tiene una parte constante de 2.5 voltios que representa el desfase de la señal y el aumento de tensión DC debido a la presencia del divisor de tensión en el circuito. La tensión de salida del primer amplificador operacional fluctúa entre 2.123 voltios y 2.889 voltios para una entrada de 220 voltios RMS. La señal de salida se muestra en la Figura 3.19:

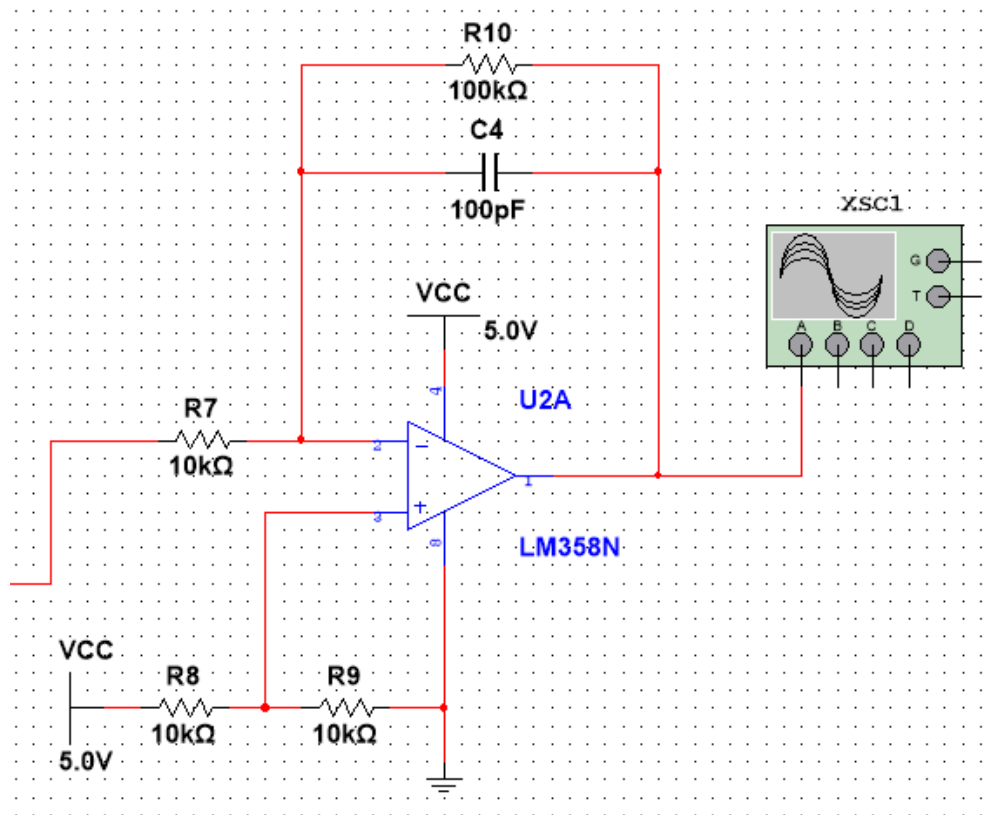
**Figura 3.19**
*Salida en tensión del primer amplificador operacional*


Siguiendo con el circuito del sensor ZMPT101B notamos que a la salida del primer amplificador operacional se ha conectado un potenciómetro de 100 Kohms, Este potenciómetro permite modificar la amplitud de la señal, así como también el desplazamiento de la señal debido a la presencia de tensión DC. Cuando la resistencia en el potenciómetro asume su máximo valor (100Kohms) la tensión de salida es máxima y corresponde a la ecuación 3.2.10 en el caso opuesto cuando el valor de la resistencia es mínimo esta salida se reduce a 0 voltios.

Finalmente, el circuito utiliza la señal de salida del potenciómetro en un amplificador operacional con configuración restador con el propósito de invertir la señal de tensión y además amplificar dicho valor en un rango de 0 y 5 voltios aproximadamente. También el propósito de este amplificador es tener la señal desfasada 2.5 voltios en el eje positivo sin importar el valor del potenciómetro y que este solo modifique la amplitud de la onda.

**Figura 3.20**

*Segundo amplificador operacional (salida de ZMPT101B)*



Al tratarse de una configuración ya conocida podemos utilizar de forma directa la ecuación de un amplificador operacional restador:

$$V_{out} = \frac{R_9(R_7 + R_{10})}{R_7(R_8 + R_9)} * V_{cc} - \frac{R_{10}}{R_7} * V_{in1}$$

Algunos valores de resistencias son iguales por lo que podemos reducir la ecuación anterior de la siguiente manera:

$$R_9 = R_8 = R_7$$

$$V_{out} = \frac{R_7 + R_{10}}{2 * R_8} * V_{cc} - \frac{R_{10}}{R_7} * V_{in1}$$

$$V_{out} = \frac{10k + 100k}{2 * 10k} * (5V) - \frac{100}{10} * V_{in1}$$



$$V_{out} = 27.5 - 10 * V_{in1}$$

Reemplazamos la ecuación 3.2.10 en la ecuación previamente obtenida teniendo como resultado:

$$V_{out} = 27.5 - 10 * (-10.5 * V_2 + 2.5)$$

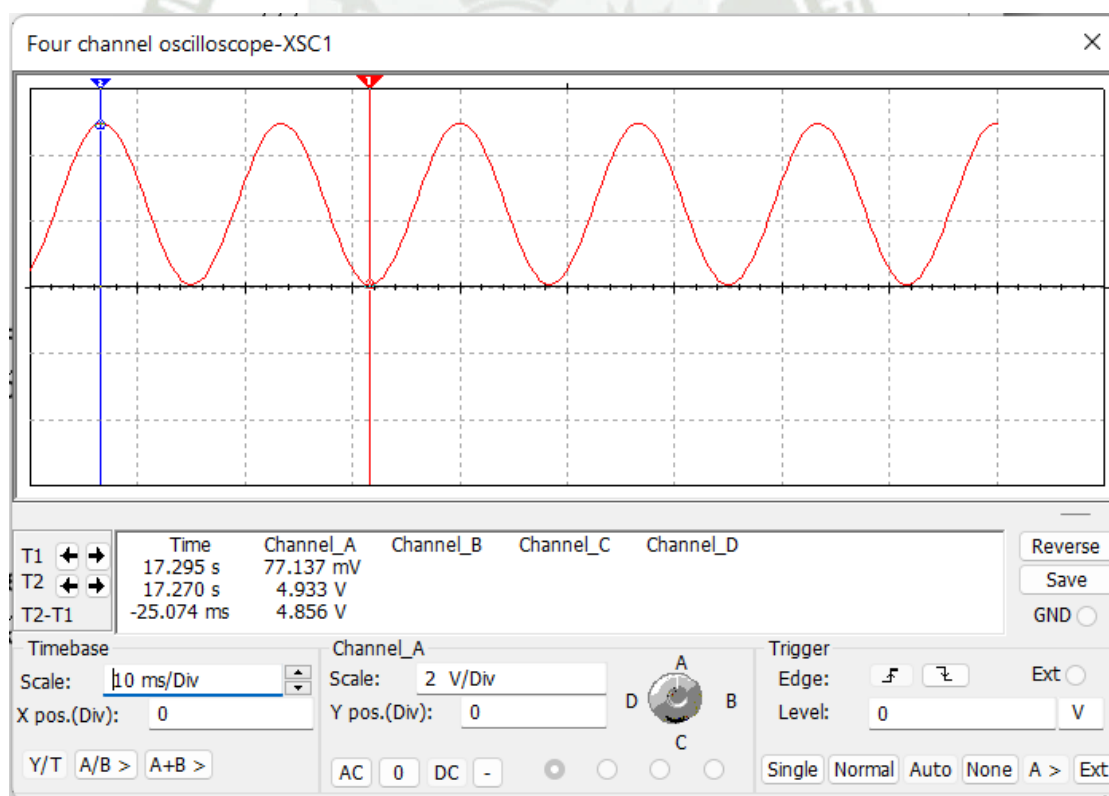
$$V_{out} = 27.5 - 25 + 105 * V_2$$

$$V_{out} = 2.5 + 105 * V_2$$

Con la ecuación anterior y ajustando el potenciómetro a un 95% de su resistencia nominal se obtiene valores que fluctúan entre 0 y 5 voltios tal y como se muestra en la Figura 3.21.

**Figura 3.21** Tensión de salida del sensor ZMPT101B

*Tensión de salida del sensor ZMPT101B*



Todas las ecuaciones descritas permiten obtener una ecuación final entre la entrada de tensión de red y la salida acondicionada para trabajar con los ADS 1115.

$$V_{out} = 105 * \left[ 100 * \left( \frac{V}{820000} \right) \right] + 2.5$$

$$V_{out} = 0.0128048 * V * \%P + 2.5$$

$$V_{out} = 0.0128048 * V * \%P + \frac{V_{cc}}{2}$$

Donde V es la tensión de red, Vout la salida del sensor ZMPT101B, Vcc la tensión de alimentación y %P es el porcentaje del potenciómetro. Es importante mencionar que en todos los casos no se han tomado en cuenta el valor de los capacitores con la finalidad de simplificar los cálculos.

### 3.3. Esquemático Electrónico

En base a toda la teoría obtenida y con la finalidad de cumplir los objetivos y alcances del proyecto se desarrolla en esta parte el circuito del prototipo de medidor inteligente. La implementación del circuito se ha realizado en el software Proteus y se lo ha dividido por módulos con la finalidad de hacer el circuito más entendible.

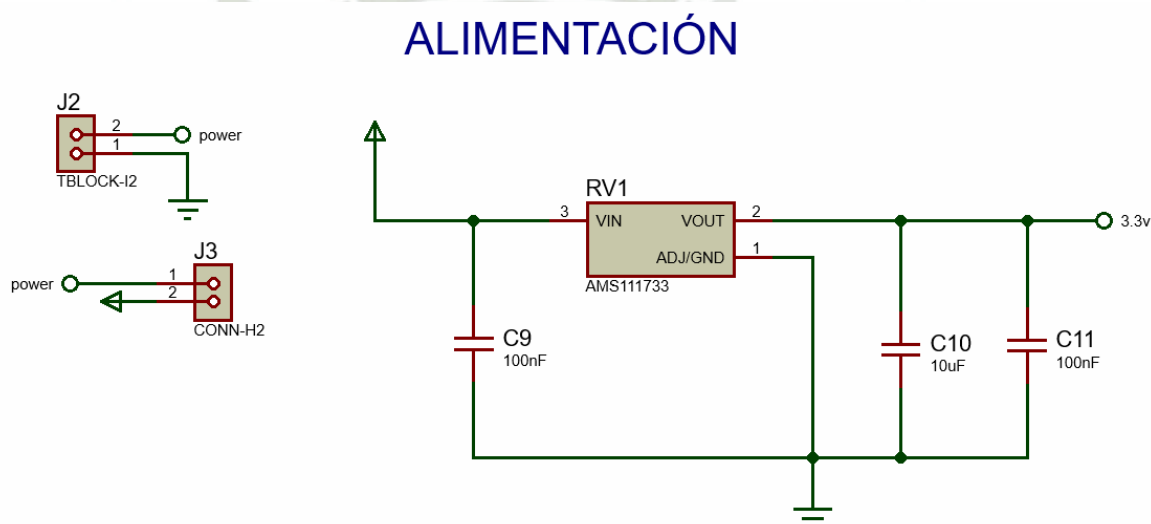
#### 3.3.1. Alimentación del medidor inteligente

El medidor inteligente ha sido diseñado para operar a un voltaje de 5 voltios ya que los diferentes sensores operan a una tensión de 5 voltios y además se requiere crear un desfase de 2.5 voltios mediante un divisor de tensión para desplazar la señal alterna en el eje Y positivo.

Los ESP32 son microcontroladores que trabajan con una tensión de 3.3 voltios por lo que entregarle 5 voltios solo haría que el chip se queme. La placa de desarrollo ya ha previsto esto y por lo tanto ha agregado un regulador de tensión para entregar el voltaje de operación necesario.

Se aprecia en la Figura 3.22 que se ha agregado una bornera J2 de 2 pines de 2.54 mm para la alimentación de 5 voltios del sistema, sin embargo, algunos chips como los empleados por el módulo micro SD requieren una tensión de 3.3 voltios por lo que es necesario agregar un regulador de tensión en la placa. El regulador de tensión escogido es un AMS1117-3.3 el cual es de tipo SMD (Surface mount device o dispositivo de montaje superficial) y es capaz de entregar como máximo 0.8 A.

**Figura 3.22** Circuito de Alimentación



Ya que el prototipo de medidor debe ir en el tablero de distribución, lo más ideal es suministrar la tensión DC necesaria a partir de una tensión alterna ya existente en la instalación eléctrica. Por esta razón es que se ha adquirido una fuente de tensión de 5 voltios. La fuente tiene como entrada tensión alterna de 220 V AC aproximadamente y entrega 5 V DC a una corriente máxima de 2.4 A.

### 3.3.2. Convertidor analógico/digital ADS1115

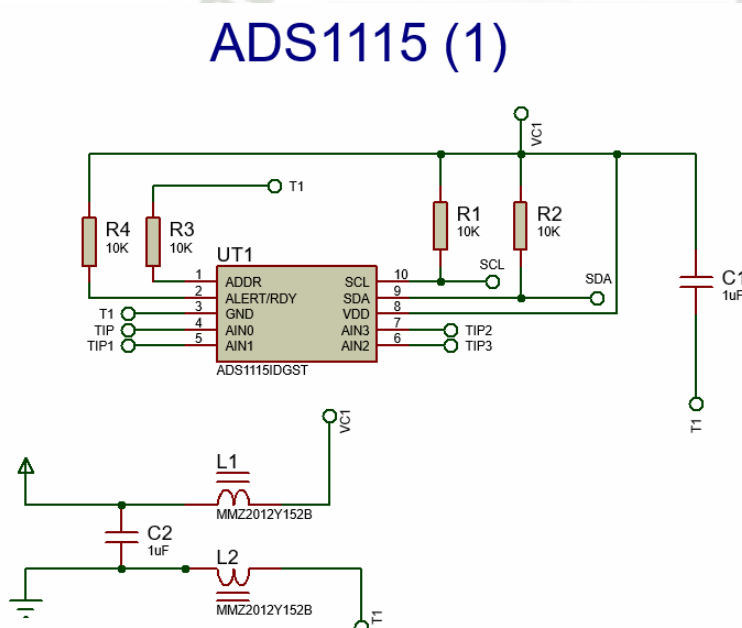
La comunicación que se establece con los ADS1115 se realiza mediante el protocolo I2C, el cual está diseñado para comunicar un maestro con diferentes esclavos. Este modo de comunicación solo requiere de dos cables denominados SDA (System Data) y SCL (System

Clock), además la comunicación es bidireccional en una configuración half-duplex (en el cual solo uno de los dispositivos puede comunicarse a la vez). La línea SCL es responsable de sincronizar el sistema mediante pulsos de reloj mientras que la línea SDA es por la que viajan los datos entre los dispositivos.

El circuito de los convertidores analógicos digitales se muestra en la Figura 3.23. El circuito presentado en la figura está basado en el chip ADS1115IDGST el cual es un convertidor analógico digital de 16 bits. Para su funcionamiento correcto se agregan las resistencias, capacitores e inductancias mostradas en el esquemático.

**Figura 3.23** Circuito de ADS1115

Circuito de ADS1115



Se utilizan 2 ADS1115 en este proyecto, pero la conexión de estos y los componentes electrónicos que requieren son los mismos. Las únicas dos variaciones que tienen son: dirección de dispositivo I2C y sensores a los que se conecta.

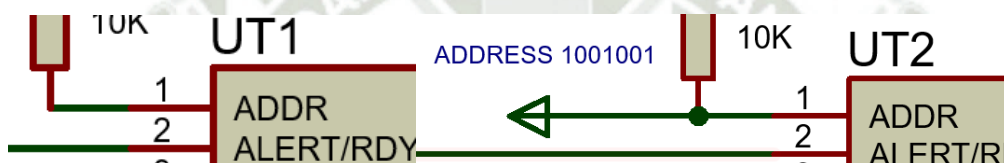
La dirección de este dispositivo I2C está dado por la forma en la que se conecta el pin 1 del chip (pin de dirección o Address). Existen 4 formas para conectar este pin y se presentan en la Tabla 3.



**Tabla 3**
*Dirección del ADS1115*

| Conectado a | Dirección (Hexadecimal) | Dirección (Binario) |
|-------------|-------------------------|---------------------|
| GND o Libre | 0x48                    | 1001000             |
| 5V          | 0x49                    | 1001001             |
| SDA         | 0x4A                    | 1001010             |
| SCL         | 0x4B                    | 1001011             |

Se ha utilizado para este proyecto las direcciones 0x48 y 0x49 para los sensores de corriente y voltaje respectivamente.

**Figura 3.24**
*a) Dirección 0x48 (Corriente) b) Dirección 0x49 (Voltaje)*


### 3.3.3. Circuito de Micro SD

Para trabajar con una micro SD es necesario contar con 2 componentes tipo SMD: uno de ellos es el responsable de conectar los pines de la tarjeta SD al circuito (memory card socket) y el otro de establecer la comunicación entre la tarjeta SD y el microcontrolador. Para la parte de comunicación se emplea el chip 74LVC125APW118 el cual es un búfer y controlador de línea. El circuito con estos dos componentes se muestra en la Figura 3.25.

## Circuito de Micro SD



Es importante mencionar que la tarjeta micro SD trabaja con una tensión de 3.3 voltios. Voltaje que es obtenido del regulador AMS1117 detallado en el circuito de alimentación del medidor. Al insertar la tarjeta en el sistema y con la respectiva librería SPI se logra una comunicación con la micro SD para lectura o escritura de datos en archivos tipo texto.

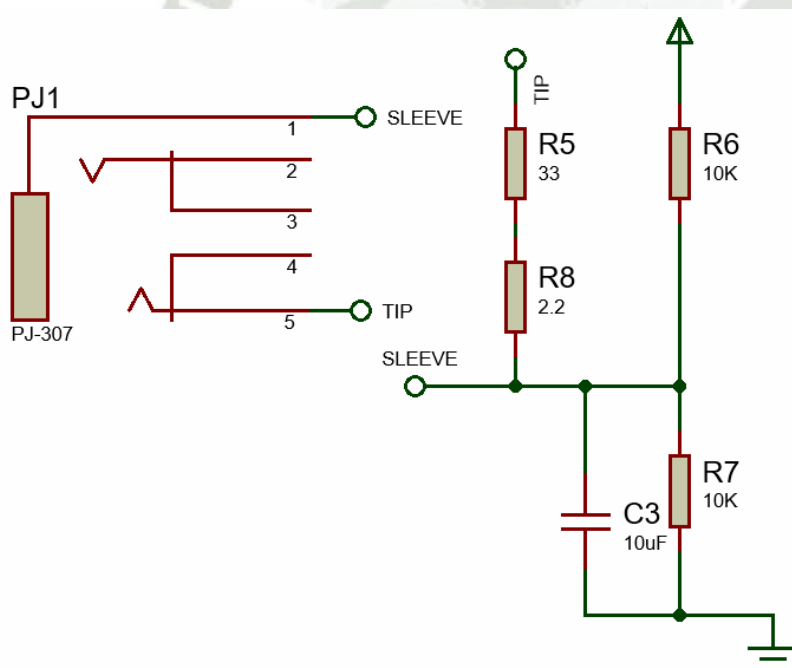
Los sensores de corriente tienen un conector como los Jack de audio de 3.5mm el cual se conecta a conector Jack hembra PJ-307.

La salida del sensor como ya se vio en la parte de acondicionamiento de señal es una señal alterna de corriente y se requiere implementar un circuito para obtener una salida de 0 a 5 voltios para poder medirla con los ADS. Este circuito de acondicionamiento se muestra en la Figura 3.26.

La resistencia de carga escogida y más cerca al valor teórico calculada en un apartado anterior es de 35.2 ohms. Este valor se alcanza empleando dos resistencias: una de 33 ohms y una de 2.2 ohms (valores comerciales). Para generar el desfase e inyección de tensión DC a la señal se emplea un divisor de tensión basado en dos resistencias iguales con un valor de 10k ohms.

**Figura 3.26** Circuito de acondicionamiento de señal de sensores de corriente

*Circuito de acondicionamiento de señal de sensores de corriente*

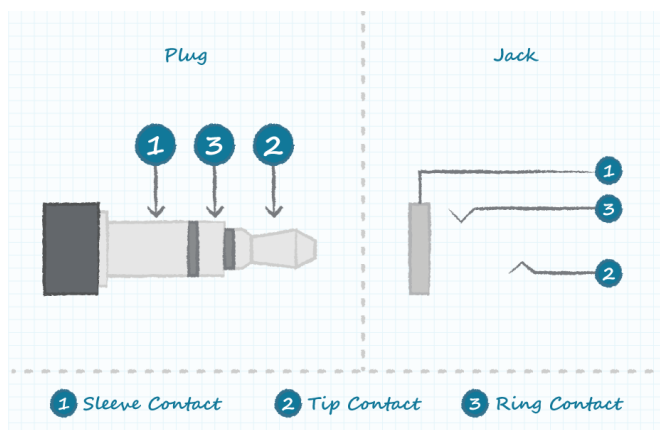


El circuito presentado para el acondicionamiento de señal de sensores de corriente se repite 3 veces más, ya que es el mismo circuito para cada uno de los sensores de corriente. De este circuito la salida que se conecta a los ADS es TIP.

La forma de interpretar el esquemático del Jack hembra PJ-307 se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.27**

*Jack de 3.5mm y esquemático*



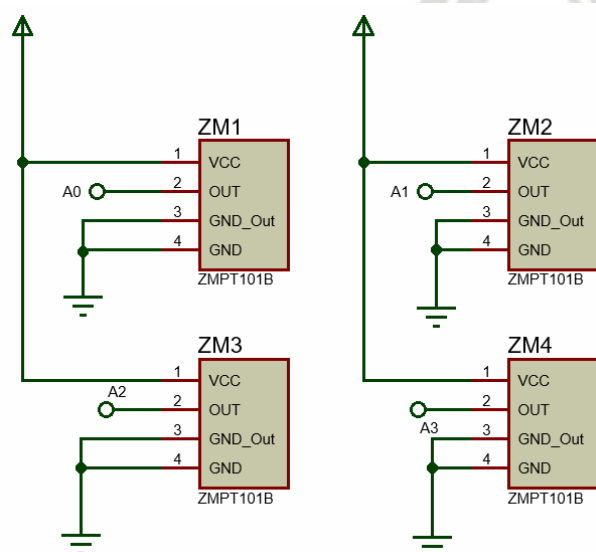
**Nota de:** cuidevices

### 3.3.5. Conexión de Módulo ZMPT101B

El sensor de voltaje empleado es el ZMPT101B, este sensor se ha adquirido en forma de módulo por lo que tiene una propia PCB. Sus conexiones se realizan a la placa principal del medidor tal y como muestra la Figura 3.28.

**Figura 3.28**

*Circuito de conexión de sensores ZMPT101B (Voltaje)*





Este sensor tiene 3 pines diferentes: uno para alimentación de 5 voltios positivo, otra para ground (tierra) y una para la salida analógica. Como vemos en el circuito, todos los módulos ZMPT101B son alimentados con 5 voltios. Cada una de las salidas analógicas está directamente conectada con su respectivo ADS1115.

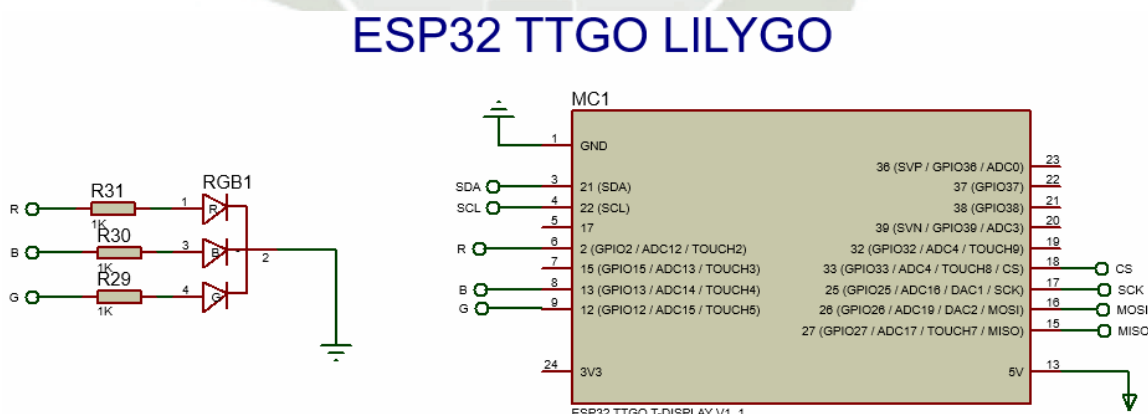
### 3.3.6. Conexión de Placa de Desarrollo

Finalmente, la placa de desarrollo ESP32 Lilygo TTGO TFT-Display se conecta al medidor tal y como se muestra en la Figura 3.29. A esta placa se conectan los pines SDA y SCL para la comunicación I2C de los ADS1115, los pines de SPI para la comunicación con la tarjeta SD y también se conecta el led RGB a cada uno de sus canales. Se emplean 3 pines para el control del led RGB: GPIO2 (rojo), GPIO 13 (azul) y GPIO12 (verde).

La alimentación de la placa de desarrollo se realiza mediante su pin tolerable a 5 voltios de manera que se emplea el regulador de 3.3 voltios que ya incluye la placa de desarrollo.

**Figura 3.29** Circuito de conexión de placa de desarrollo ESP32

*Circuito de conexión de placa de desarrollo ESP32*



### 3.4. Diseño de Footprints

En Proteus se ha creado el circuito del prototipo de medidor inteligente, este ha sido dividido por módulos para facilitar su entendimiento y se ha detallado en el apartado anterior.

Una de las herramientas que posee Proteus también es la posibilidad de crear placas de circuito impreso (PCB). Para poder hacer la PCB necesitamos tener los planos de los componentes que se van a utilizar, estos planos dentro del entorno de PCBs se denominan footprints. Los footprints no son más que una representación 2D del componente electrónico detallando la disposición de los orificios pasantes o pads (en el caso de componentes SMD) de forma que en el ensamble permitan unir físicamente los componentes a la PCB.

Proteus de por sí cuenta con una amplia librería de componentes y sus footprints respectivos, pero algunos de ellos no existen en sus librerías y son necesarios para el desarrollo de este proyecto. Por esa razón, en este apartado se muestran los footprints personalizados que se han creado para el desarrollo del prototipo de medidor inteligente.

#### 3.4.1. Footprint: ZMPT101B

Se ha dibujado en proteus el módulo ZMPT101B con sus 4 agujeros pasantes, la separación de estos agujeros es de 0.1 pulgadas. Una vez que se dibuja el footprint se asocia con el componente esquemático en el circuito para vincular cada uno de los pines. También se puede agregar un modelo 3D y vincularlo con este footprint con la finalidad de obtener una vista previa de la placa conforme se diseña y agrega los distintos componentes.

**Figura 3.30**

*Footprint de sensor ZMPT101B*

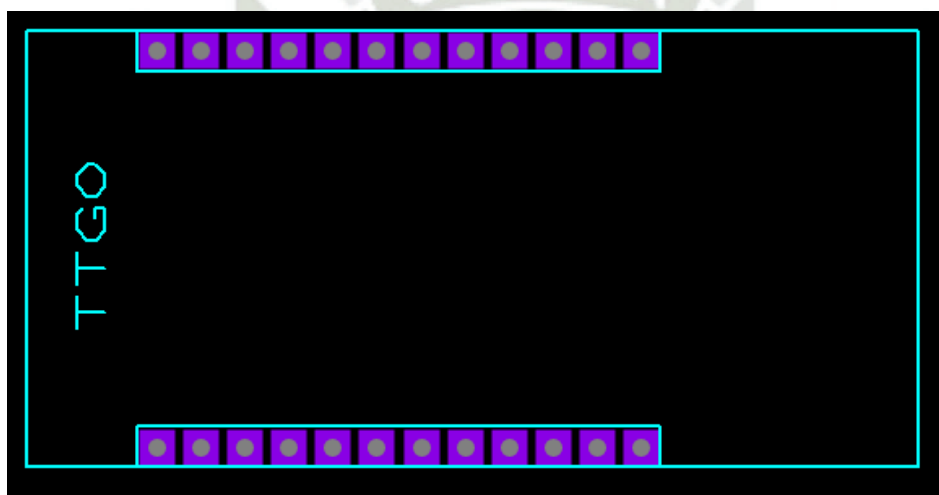


### 3.4.2. Footprint: Lilygo TTGO T-Display ESP32

Es necesario diseñar el footprint de la placa de desarrollo ya que es el cerebro detrás de todo el prototipo de medidor inteligente. La separación de cada uno de los agujeros pasantes es de 0.1 pulgadas y la distancia entre las filas de agujeros es de 0.9 pulgadas. Las dimensiones del módulo se encontraron en internet y en base a eso se diseñó el footprint mostrado en la Figura 3.31.

**Figura 3.31** Footprint de placa de desarrollo ESP32 Lilygo TTGO

*Footprint de placa de desarrollo ESP32 Lilygo TTGO*



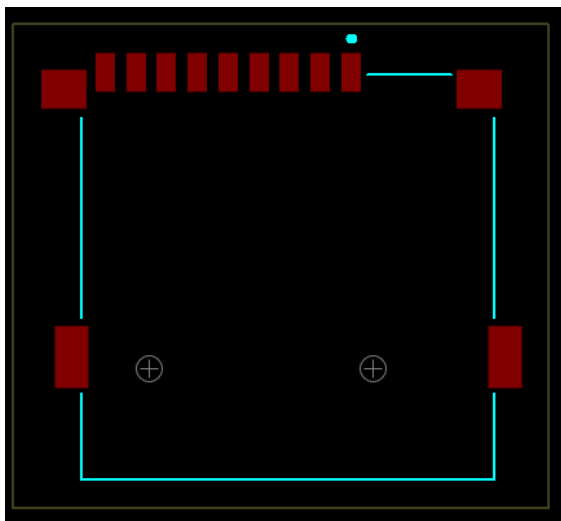
Al igual que en el caso del footprint del sensor ZMPT101B este también tiene que vincularse con el circuito electrónico para que el software pueda saber dónde se ubica cada uno de los pines de la placa de desarrollo y donde están conectados.

### 3.4.3. Footprint: Socket de Tarjeta SD

El diseño de este footprint se hace en base a la data sheet de este componente que se conoce como TF 15X15. Al ser un componente en SMD en vez de agujeros pasantes se tienen pads. Las medidas de los pads y separación entre estos están dadas por la hoja de especificaciones del componente. El footprint diseñado se muestra en la Figura 3.32.

**Figura 3.32**

*Footprint de TF 15x15 (Socket SD)*

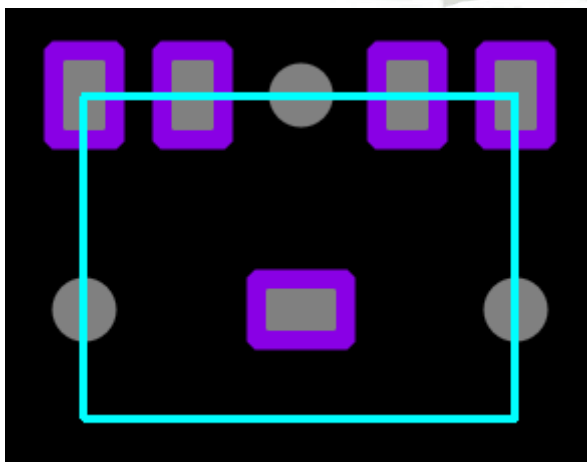


#### 3.4.4. Footprint: PJ-307

Este componente es importante ya que es en este componente donde se conectan los sensores de corriente. Está conformado por 8 agujeros pasantes de los cuales en 5 es donde se suelda el componente a la PCB. El diseño del footprint se realiza en base a la hoja de especificaciones del componente PJ-307 en la que se incluye las medidas. El footprint diseñado se muestra en la **Figura 3.33**.

**Figura 3.33**

*Footprint del componente PJ-307*





### 3.5. Diseño de PCB

Una vez que se ha diseñado el circuito y se han creado los footprints para los componentes faltantes se procede a diseñar la PCB para el prototipo de medidor. Dentro de las herramientas de Proteus se tiene el PCB Layout en el cual se muestran todos los componentes agregados en el circuito.

El software asiste con la conexión de los pines de cada componente ya que al agregar el componente muestra la conexión con el resto de componentes por lo que solo se debe tener en cuenta la disposición de estos para crear las mejores rutas.

La placa que se diseña es una placa de dos caras, es decir, da la posibilidad de tener pistas y componentes en ambos lados de la placa. La conexión entre una cara y otra se hace mediante Vias.

El grosor de las pistas a utilizar varía en función de la cantidad de corriente que atraviesan las pistas. En el caso de los circuitos de alimentación tanto de la placa como la que llega a cada uno de los componentes es de 20 mil (0.508 mm). Para el caso de señales de control o manejo de datos el grosor de la pista es de 15th (0.381 mm), 12th (0.3048 mm) o 10th (0.254 mm) en algunos casos. Las recomendaciones dadas por norma indican que no es conveniente emplear ángulos rectos (90°) para las pistas en una PCB, se ha tenido cuidado especial con esto evitando crear ángulos rectos en el diseño de este proyecto.

En Proteus se muestra por defecto de color azul la capa inferior y de color rojo la capa superior. Adicionalmente a los componentes también se puede agregar texto y agujeros para el montaje de la placa.

La solución de la distribución de los componentes para el prototipo de medidor inteligente no es única y pueden existir muchas variantes, sin embargo, hay ciertas consideraciones que se deben de tener en cuenta que limitan la existencia de variaciones:

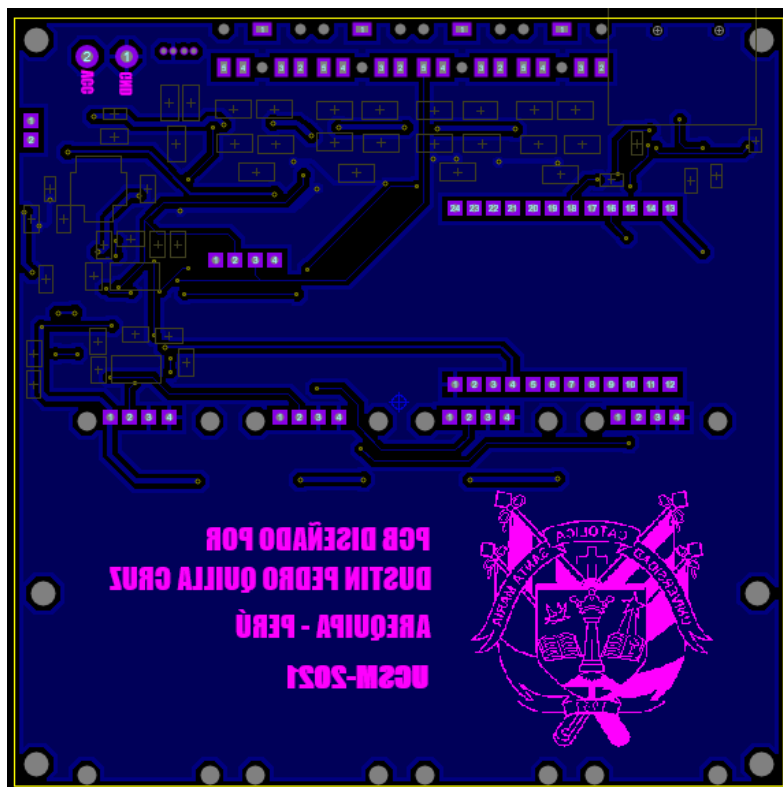
- Tamaño del ZMPT101B y orientación única de forma que la bornera esté ubicada hacia un borde de la placa.
- El Puerto USB C de la placa de desarrollo debe estar hacia un borde (orientación).
- Los conectores PJ-307 deben estar en un borde de la placa para conectar los sensores de corriente con facilidad.
- Socket de tarjeta SD debe estar en un borde de la placa para insertar la tarjeta con facilidad.
- Bornera de alimentación en un borde para conectar la alimentación de 5V al sistema.
- Agujeros de 3.2mm para montaje en los bordes de la placa.
- Tamaño del medidor aproximadamente de 100 x 100 mm.
- PCB de máximo 2 capas.
- El tamaño de resistencias o capacitores SMD escogidas debe ser 1206 o 0603 para facilitar el ensamble a mano.

Una vez que se ha finalizado el diseño se debe exportar el archivo Gerber para la fabricación de la placa electrónica. Proteus también asiste en la generación de este archivo tras pasar una serie de pruebas para comprobar posibles errores en el diseño de la PCB. El archivo Gerber generado ha sido cargado a la página web JLCPCB para su respectiva fabricación.

En la siguiente figura se muestra la PCB diseñada en proteus tanto para la vista frontal y posterior:

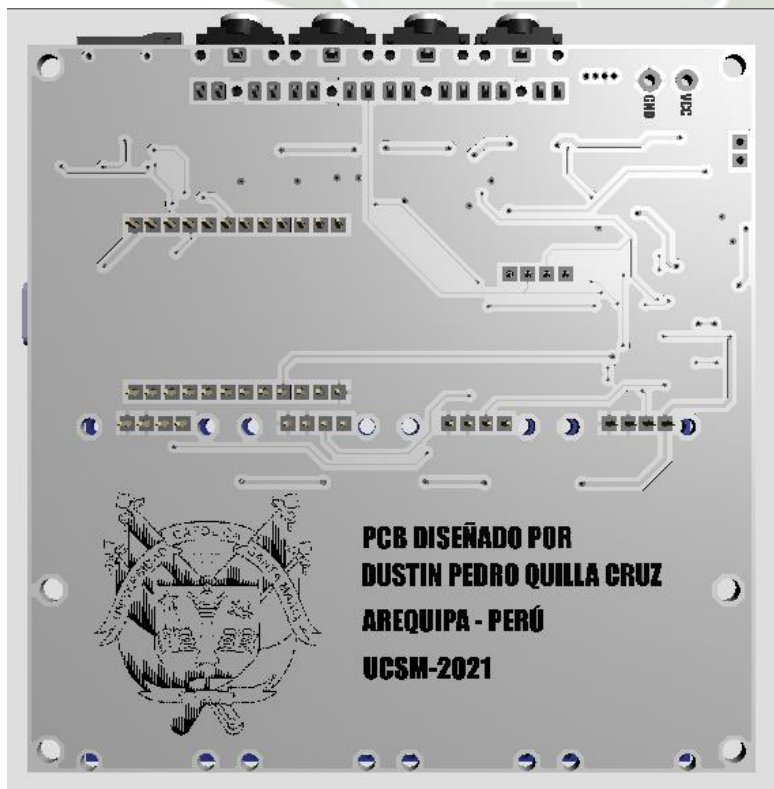
**Figura 3.34**

*Vista posterior de Layout del PCB*



**Figura 3.35** Vista posterior del PCB

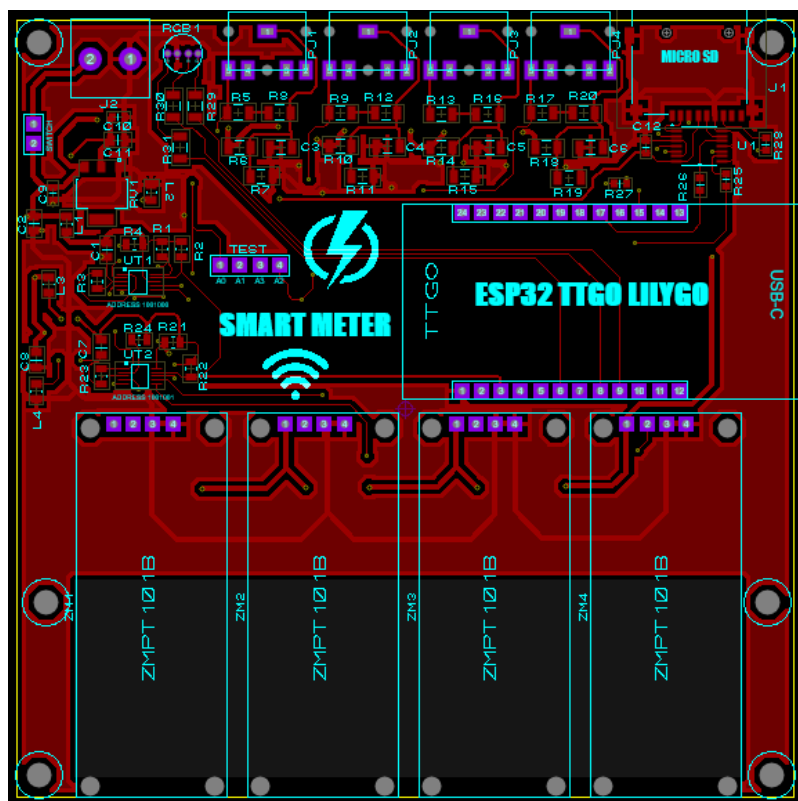
*Vista posterior del PCB*





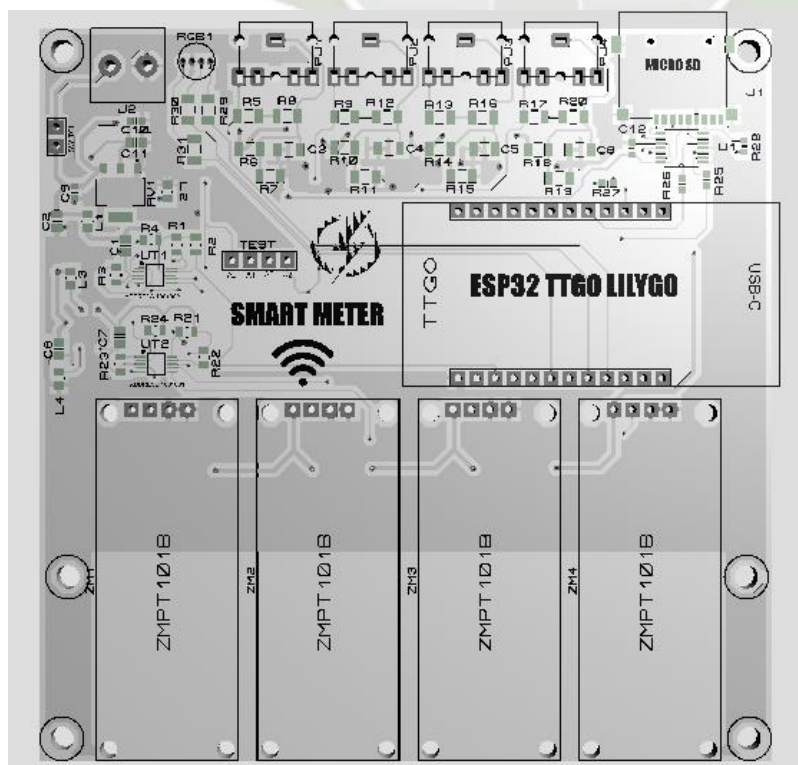
**Figura 3.36**

*Vista frontal de layout del PCB*



**Figura 3.37** Vista frontal del PCB

*Vista frontal del PCB*





### 3.6. Ensamble de la placa

El ensamble de los componentes se realizó con equipos particulares para soldarlos a la PCB, como una estación de soldar a una temperatura de 350°C. Se emplea la pistola de calor especialmente para los componentes que son de montaje superficial (SMD) por otro lado los componentes que son montados con agujeros pasantes (THD) fueron soldados con cautín. En la siguiente figura se muestra el montaje de los componentes en la PCB.

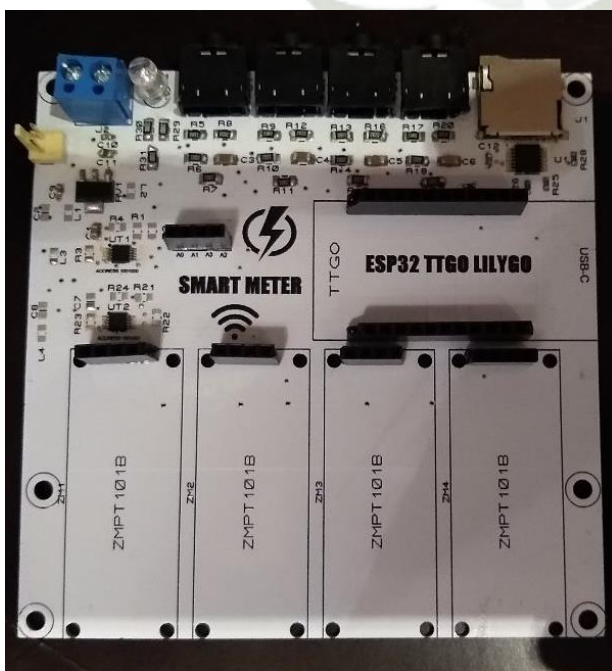
**Figura 3.38** Ensamblado

*Ensamble de los componentes en PCB*



**Figura 3.39** Componentes montados en PCB

*Componentes montados en PCB*



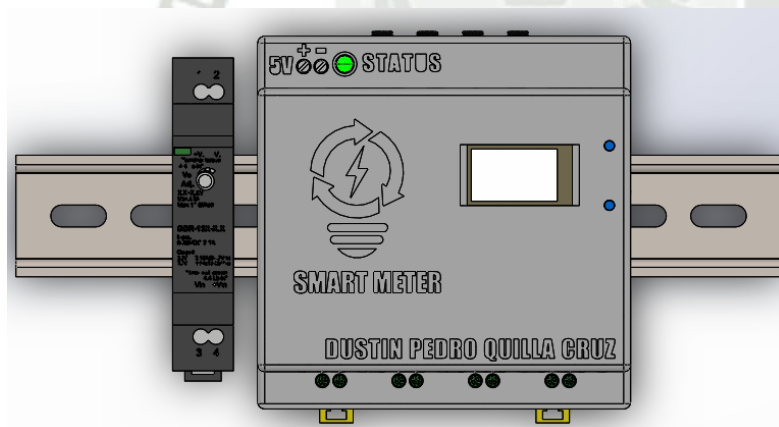
### 3.7. Diseño de la Carcasa del Medidor

Es necesario una carcasa que proteja la PCB del medidor y que además cumpla con los siguientes requerimientos:

- El medidor debe poder ser instalado en un riel DIN
- Se consideró seguros para el montaje en el riel DIN similares a los empleados en equipos comerciales.
- Se consideró los slots para los cables de dimensión 14AWG como máximo.
- Se consideró dos pulsadores en la parte externa de la carcasa para que el usuario pueda navegar en los distintos menús del medidor.

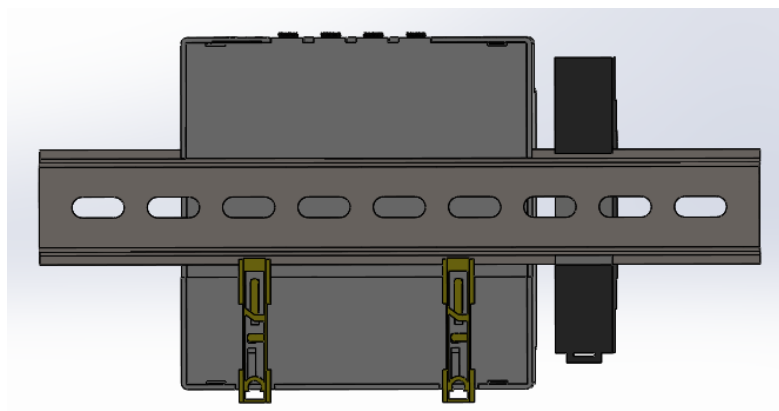
**Figura 3.40** Vista frontal de la carcasa diseñada

*Vista frontal de la carcasa diseñada*



**Figura 3.41** Vista posterior de la carcasa del medidor

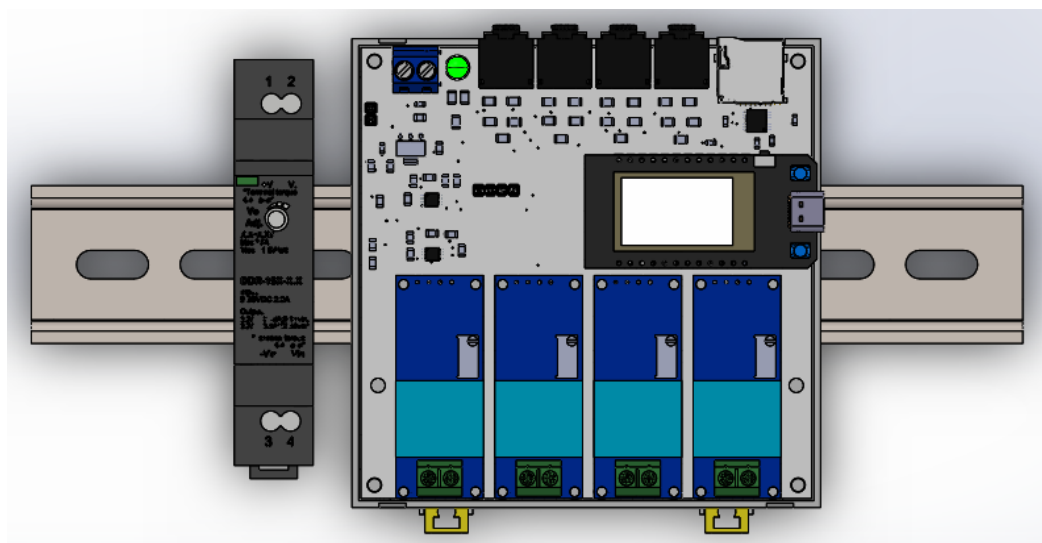
*Vista posterior de la carcasa del medidor*





**Figura 3.42**

*PCB Montada en carcasa*

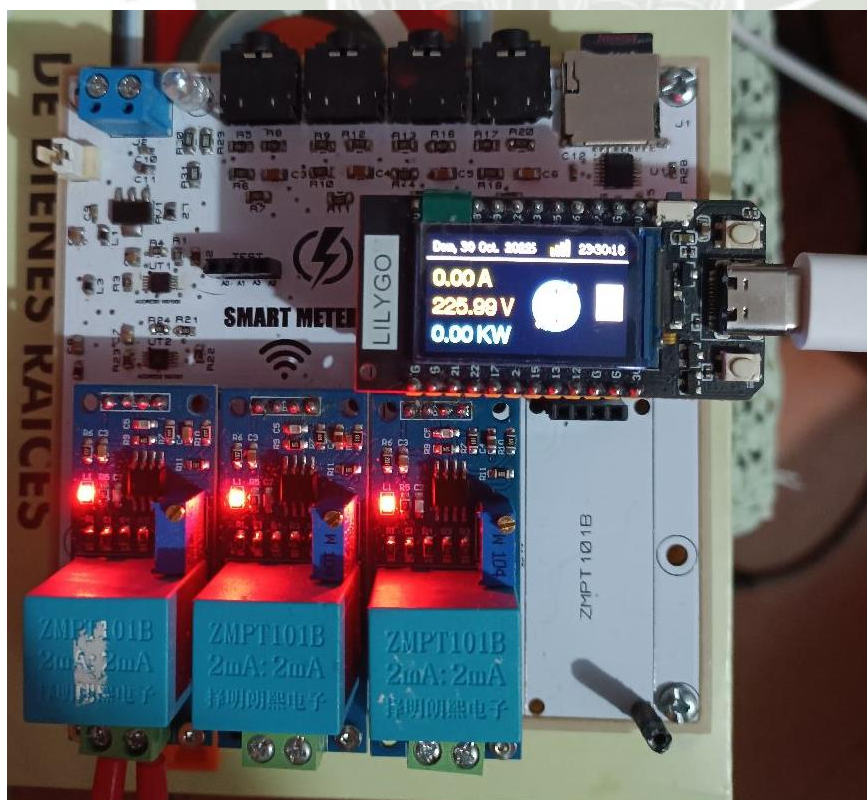


### 3.8. Medidor Implementado

La carcasa diseñada fue impresa en 3D con material PLA, el cual es liviano y económico.

**Figura 3.43** Vista interior del prototipo del medidor

*Vista interior del prototipo del medidor*



**Figura 3.44**

*Vista exterior del prototipo del medidor*



**Figura 3.45** Prototipo de medidor en funcionamiento

*Prototipo de medidor en funcionamiento*





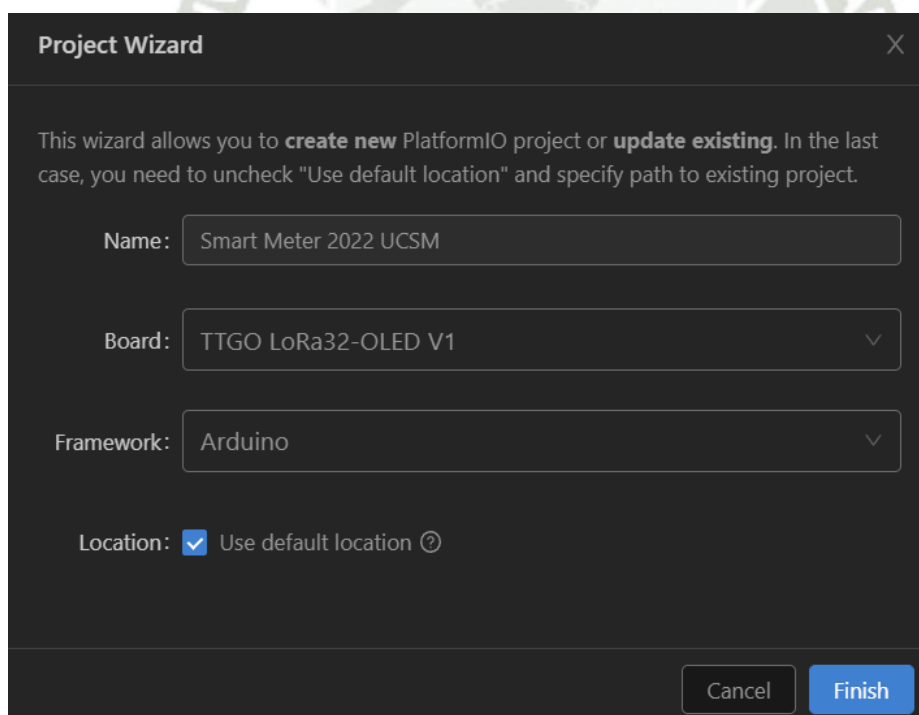
### 3.9. Desarrollo de Firmware

El firmware del medidor inteligente se realiza en Visual Studio empleando para ello PlatformIO. El lenguaje de programación utilizado es C++, sin embargo, se incluirá la librería de Arduino para facilitar la programación.

Un nuevo proyecto en PlatformIO puede ser creado usando el asistente de proyectos tal y como se muestra en la Figura 3.46, aquí solo se necesita detallar el nombre de proyecto, la placa de desarrollo a utilizar y el framework. Ya que la placa de desarrollo está basada en un ESP32 se puede utilizar tanto el framework de Arduino como Espressif IoT development framework.

**Figura 3.46** Nuevo Proyecto en PlatformIO

*Nuevo Proyecto en PlatformIO*



Los proyectos creados en PlatformIO se componen de varias carpetas, pero principalmente se trabaja con la carpeta src y lib. La carpeta src es donde se agrega el código del hardware y en la carpeta lib se agregan todas las librerías a utilizar en un proyecto.

Toda ejecución típica en microcontroladores existentes en las placas Arduino son de forma secuencial, es decir, que una instrucción o línea de código se ejecuta a la vez y continua con esta lógica hasta llegar al final del programa y reiniciar la ejecución otra vez. Esta forma de ejecución de código es típica en los microcontroladores que poseen un solo núcleo.

Sin embargo, en los microcontroladores ESP32 se tienen dos núcleos que pueden ser empleados para trabajar de manera paralela. El código en cada uno de los núcleos sigue ejecutándose de forma secuencial, pero un núcleo es independiente de otro.

Los núcleos en la placa de desarrollo ESP32 se nombran como core 0 y core 1 o núcleo 0 y núcleo 1 respectivamente. Por defecto al crear un código se ejecuta en el núcleo 1, por lo tanto, la ejecución del setup y el loop se ejecutan en dicho núcleo.

Además, las placas ESP32 traen por defecto un sistema operativo en tiempo real (RTOS o Real Time Operating System) el cual facilita la multitarea en sistemas integrados. El sistema operativo que viene incluido es FreeRTOS el cual es un sistema operativo de tiempo real kernel para dispositivos embebidos y no es exclusivo de los ESP32.

### **3.9.1. FreeRTOS**

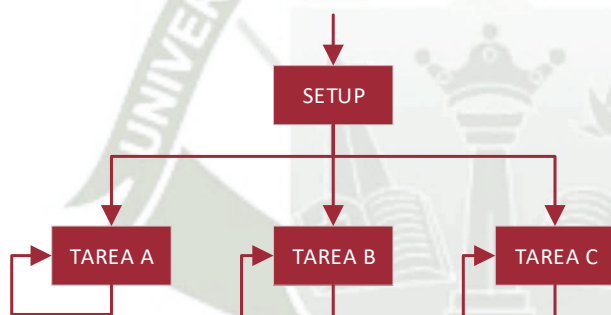
FreeRTOS como ya se mencionó antes es un sistema operativo para sistemas embebidos y es muy útil cuando se quieren ejecutar tareas en paralelo y gestionar mejor la CPU del ESP32.

La forma en la que trabaja este sistema operativo es en base a tareas ya que estas constituyen la parte fundamental de FreeRTOS. Estas tareas son independientes entre sí, pero juntas hacen la aplicación de un sistema. Cada tarea se ejecuta en su propio contexto (stack) y se le debe asignar una cantidad de memoria para que su ejecución no tenga problemas. El responsable de iniciar la ejecución, parada o termino de tareas es el Scheduler.

En la Figura 3.47 observamos como es la ejecución de tareas en FreeRTOS, las tareas parecen ejecutarse en paralelo dentro de su propio bucle, sin embargo, cada una de estas tareas es ejecutada a la vez en intervalos de tiempo llamados TICKS teniendo así el scheduler libertad de planificar como deben de ejecutarse las tareas. Algunas se ejecutan por pocos periodos de tiempo y saltan a otra tarea de mayor prioridad y luego vuelven y terminan la ejecución de la anterior tarea, etc. Esta gestión del scheduler simula la ejecución de tareas en paralelo dentro de un determinado núcleo. Al emplear dos núcleos si pueden existir dos tareas que se ejecuten en paralelo.

**Figura 3.47** Ejecución de tareas en FreeRTOS

*Ejecución de tareas en FreeRTOS*



Entre las mejoras que ofrece el uso de FreeRTOS se tiene:

- Las tareas que se crean se mantienen separadas y protegidas
- Ofrece comunicación entre tareas
- Se pueden compartir recursos comunes a las tareas (datos, bluetooth, wifi, etc)
- La ejecución de las tareas está basada en prioridades
- Aumenta la confiabilidad del sistema
- Permite suspender tareas en ejecución para ejecutar otras tareas sin que la tarea original pierda su funcionamiento
- Modularidad en las tareas

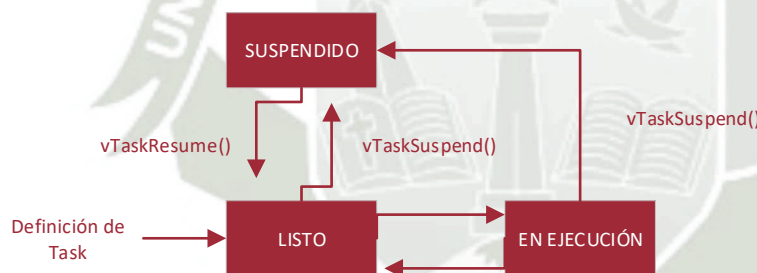


- Reutilización de código
- Mejora el mantenimiento y escalabilidad del sistema

Para el firmware del medidor inteligente se empleará un sistema Soft Real Time, lo cual quiere decir que se intenta asegurar un tiempo de respuesta, pero no es crítico para el sistema ya que, aunque esos tiempos no se cumplan no impide que el sistema siga siendo utilizable.

De todas las herramientas que ofrece FreeRTOS solo se emplean: la creación de tareas vinculadas a un núcleo, eliminación de tareas, pausar tareas, suspender tareas, reanudar tareas y compartir recursos entre tareas. El estado de las tareas empleados en el medidor inteligente y como estos estados interactúan entre sí se muestra en la Figura 3.48.

**Figura 3.48** Estados de Tareas en Medidor Inteligente



Las tareas dentro de FreeRTOS se declaran como funciones y es requisito indispensable que estas funciones tengan un bucle que no termine nunca o en su defecto una instrucción para eliminar la tarea (`vTaskDelete`) cuando esta solo requiera ejecutarse una vez. La forma en la que se crea una tarea se muestra en la Figura 3.49, este código no se agrega dentro de ninguna otra función y debe estar fuera de loop y setup. En la primera línea se especifica el nombre de la tarea o variable con el cual se manejan datos y estados de la tarea. La función void detalla básicamente el bucle infinito que se ejecutará una y otra vez a menos que alguna función modifique su estado.



**Figura 3.49**

*Código para crear una tarea en FreeRTOS*

```
TaskHandle_t handler_de_tarea;  
  
void nombre_de_funcion_de_tarea(void *parameters)  
{  
    for (;;) {  
        //BUCLE INIFINITO  
    }  
}
```

Estas tareas por si solas no funcionan ya que requieren que se agregue una cantidad de memoria, parámetros de la tarea (en caso existan), prioridad, variable de tarea y núcleo en el cual se ejecuta. Todo lo detallado anteriormente se debe colocar dentro de setup y el código a emplear se muestra en la Figura 3.50. En este código se usa la función `xTaskCreatePinnedToCore` para vincular la tarea a un núcleo, cada uno de los parámetros de esta función se han comentado en la figura con el propósito de facilitar su entendimiento. La asignación de stack (memoria) para cada una de las tareas se ha realizado mediante prueba y error, ya que cuando la memoria asignada es insuficiente el sistema tiende a forzar un reinicio y especifica un error, sin embargo, se recomienda agregar memoria en múltiplos de 1024, es decir, 1024, 2048, 3096, etc.

**Figura 3.50**

*Vincular una tarea a un núcleo*

```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    codeForTask1, //NOMBRE DE FUNCIÓN DE TAREA  
    "led1Task", //NOMBRE DE TAREA  
    1024, //TAMAÑO DE STACK  
    NULL, //PARÁMETROS DE STACK  
    1, //PRIORIDAD  
    &Task1, //NOMBRE DE TAREA  
    1); //NÚCLEO EN EL CUAL SE EJECUTA
```

Finalmente, se detallan las funciones que se emplean para el desarrollo del firmware:

- **xTaskCreatePinnedToCore:** Asignar una tarea a un núcleo (0 o 1)
- **vTaskDelete(NULL):** Eliminar tarea actual
- **vTaskDelete(“handler de tarea”):** Eliminar la tarea en mención
- **vTaskDelay(“Ticks”):** Pausar una tarea una cantidad determinada de ticks. Los ticks no corresponden a un tiempo en milisegundos, sino a una cantidad de divisiones de tiempo realizadas por FreeRTOS. Generalmente 1 tick equivale a 10 milisegundos para el ESP32, pero existen funciones que nos permiten convertir de milisegundos a ticks.
- **portTICK\_PERIOD\_MS:** Permite dividir el tiempo en milisegundos entre esta función para obtener la cantidad de Ticks.
- **pdMS\_TO\_TICKS(“ms”):** Permite convertir el tiempo en milisegundos en una cantidad de Ticks.
- **vTaskSuspend(NULL):** Suspender tarea actual.
- **vTaskSuspend(“handler de tarea”):** Suspende la tarea en mención
- **vTaskResume(“handler de tarea”):** Reanuda la ejecución de la tarea en mención

La forma en la que se comparte datos con el resto de tareas es mediante variables globales previamente declaradas en el código al cual todas las tareas tienen acceso. La implementación de código en el núcleo 0 del ESP32 puede hacer que el sistema se reinicie si surge un error en el código al momento de su ejecución por lo cual se tiene que tener mucho cuidado con lo que se implementa.

### 3.9.2. Funcionamiento General

El medidor inteligente tiene que cumplir con las siguientes funciones básicas:

- Determinar el voltaje y corriente RMS.
- Determinar la potencia activa, energía consumida y costo.
- Almacenar la información en una tarjeta micro SD.
- Mostrar la información acerca del consumo de energía en una pantalla.
- Enviar los datos del consumo a la plataforma IoT Thinger.

Cada una de estas funciones básicas del medidor se dividen en tareas cuyo código se ejecuta de forma independiente, pero que en su conjunto algunas tareas interactúan entre sí para tener un sistema completo. Esta descomposición del sistema en módulos más pequeños brinda una estructura modular en la implementación del código facilitando su entendimiento y escalabilidad en caso sea necesario.

Las funciones básicas han sido divididas en 10 tareas de las cuales 2 se ejecutan en el núcleo 0 y 8 tareas se ejecutan en el núcleo 1. En el núcleo 0 solo están las tareas relacionadas con la obtención de parámetros eléctricos y sus tiempos no se ven retrasados por el resto de tareas. Las 10 tareas se describen a continuación:

- **Lectura de Sensores:** Esta tarea se encarga de establecer la comunicación con los ADS 1115 y poder obtener los datos de los sensores de voltaje y corriente instantáneos. El núcleo 0 se encarga de ejecutar esta tarea.
- **Parámetros eléctricos:** Con las lecturas de los sensores obtenidas se procede a calcular de forma discreta el voltaje y corriente RMS, potencia activa, energía y costo. El núcleo 0 se encarga de ejecutar esta tarea.
- **Conexión Wifi:** Esta tarea se encarga de verificar la conexión Wifi.

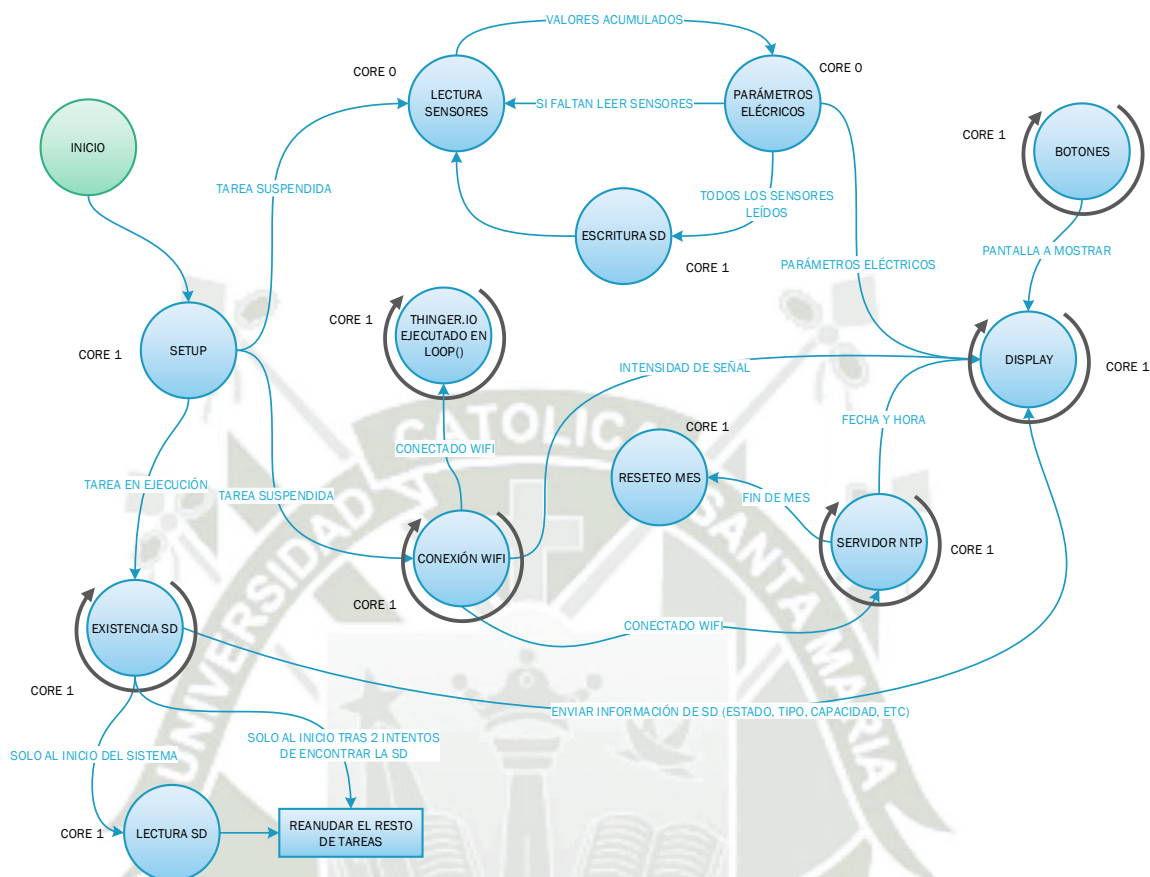


- **Botones (Pulsadores):** Tarea que se encarga de determinar si los pulsadores presentes en el medidor inteligente han sido presionados.
- **Pantalla (Display):** Tarea que se encarga de mostrar los gráficos en la pantalla con los parámetros eléctricos.
- **Existencia de SD:** Tarea que se encarga de verificar la existencia de la tarjeta micro SD en el medidor inteligente.
- **Lectura de SD:** Tarea que permite leer los datos presentes en la tarjeta SD.
- **Escritura de SD:** Tarea que permite escribir datos con los parámetros eléctricos en la tarjeta SD.
- **Servidor NTP:** Tarea que gestiona el protocolo de internet para sincronizar relojes. De esta forma se puede obtener la fecha y la hora. Para poder acceder a estas funciones es necesario contar con conexión a internet.
- **Reset Fin de Mes:** Tarea que se encarga de verificar si el mes ha finalizado para terminar la facturación y enviar al cliente el consumo y costo total de energía consumida durante ese mes.

Junto con las tareas antes mencionadas también se tiene dos piezas importantes del código: Setup y Loop. En el setup se cargarán todos los parámetros necesarios para iniciar las tareas y en el loop se gestionará una sola tarea la cual es la conexión a la plataforma IoT (Thinger).



### Interacción de las diferentes tareas del medidor inteligente



92

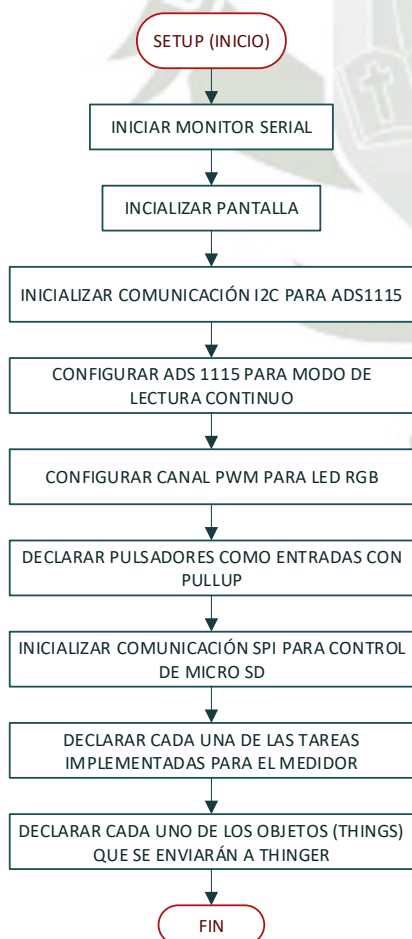
El sistema cuenta con 4 sensores de corriente y 4 sensores de tensión, el funcionamiento de estos sensores es por pares teniendo así 4 medidores dentro de 1 solo. Para cada sensor de tensión con su respectivo sensor de corriente se determina la potencia y la energía consumida.

### 3.9.3. Setup del firmware

Al encender el medidor inteligente lo primero que se ejecuta es el setup. Es en el setup donde se tiene la configuración de cada una de las tareas, así como también la configuración de cada uno de los pines a ser empleados por la micro SD, ADS 1115, Display, Led RGB, etc. El código en el setup está diseñado para solo ser ejecutado una vez al iniciar el sistema. La secuencia del código a ejecutar en el setup se muestra en la Figura 3.52.

**Figura 3.52** Ejecución de código en Setup

*Ejecución de código en Setup*



El monitor serial en el programa del medidor inteligente se agrega con propósitos de depuración, una vez que se termina de implementar el programa ya no se requiere emplear el monitor serial para el funcionamiento del medidor.

Para trabajar con la pantalla que viene por defecto en la placa de desarrollo es necesario emplear los pines de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface) y la librería TFT\_eSPI.

**Figura 3.53** Inicializar pantalla

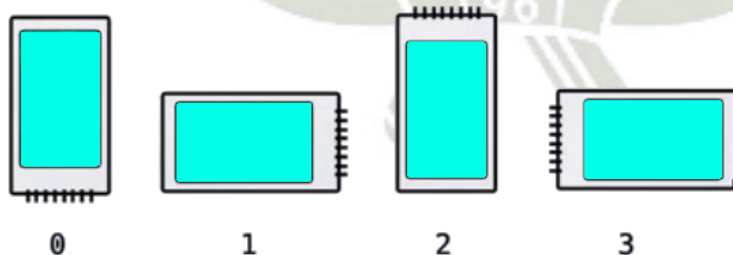
*Inicializar pantalla*

```
// INICIALIZAR PANTALLA
disp.init();                // INICIALIZAR PANTALLA TFT
disp.fillScreen(color_fondo_display); // COLOR DE TODO EL DISPLAY
disp.setRotation(1);        // ROTACIÓN LANDSCAPE
disp.setSwapBytes(true);    // PARA COLOCAR IMAGENES
```

La Figura 3.53 muestra el código necesario para inicializar la pantalla TFT presente en la placa de desarrollo Lilygo TTGO ESP32. La rotación de la pantalla está dada por un parámetro entero tal y como se muestra en la Figura 3.54.

**Figura 3.54** Rotación de display

*Parámetro de rotación de display*



La configuración de los ADS1115 implica conocer cada una de sus direcciones I2C las cuales han sido definidas mediante hardware (conexión del pin de dirección del ADS1115).

Para el ADS1115 de los sensores de corriente la dirección está dada por 0x48 y para el caso de los sensores de voltaje la dirección es 0x49. En la Figura 3.55 se observa la configuración de los ADS1115. En la primera parte tenemos las direcciones de cada uno de los dispositivos previamente descritos.

### Figura 3.55

*Configuración de los ADS1115 de corriente y voltaje*

```
// INICIALIZAR ADS1115
corriente_sensor.begin(0x48);
voltaje_sensor.begin(0x49);

// ELEGIR GANANCIAS DE ADS1115 (PGA INCORPORADO)
// MODO SINGLE END
corriente_sensor.setGain(GAIN_ONE);
voltaje_sensor.setGain(GAIN_ONE);

// ADC VELOCIDAD DE SAMPLING
corriente_sensor.setDataRate(RATE_ADS1115_860SPS);
voltaje_sensor.setDataRate(RATE_ADS1115_860SPS);

// MODO CONTINUO
voltaje_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_0, true);
corriente_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_0, true);
```

El ADS1115 también cuenta con un amplificador de ganancia programable (PGA) el cual permite establecer el valor de referencia para hacer la conversión analógica digital. Una ganancia de valor 1 como la escogida para el proyecto establece una referencia de 4.096 voltios. Cabe destacar que este es un valor que hace referencia al factor de escala para la conversión analógica digital más no limita el rango de medición ya que los ADS1115 de acuerdo a la data sheet pueden medir hasta 0.3 voltios por encima del valor de alimentación.

La velocidad máxima de muestreo en este ADC (Convertidor analógico digital) es de 860 muestras por segundo o 1 muestra cada 1.16 milisegundos, este parámetro es también agregado en la configuración de los ADS1115 tal y como se observa en la Figura 3.55.



Con la finalidad de aprovechar la máxima velocidad de muestreo configuramos los ADS en modo continuo.

El medidor inteligente implementado cuenta también con un led RGB el cual es empleado para notificaciones al usuario. El manejo de un led RGB implica trabajar con una salida analógica PWM (modulación por ancho de banda). En el caso de los ESP32 se tiene 16 canales PWM (0 a 15) de los cuales se debe escoger uno para trabajar con el LED. Adicional al canal que se escoge se requiere también definir la frecuencia de la señal PWM, este valor se establece en 5000 Hz ya que es un valor típico cuando se trabaja con LEDs. Se debe también configurar el ciclo de trabajo de la señal (duty cycle) entre un rango de 1 a 16 bits. Se escoge una resolución de 8 bits lo cual nos da una salida analógica entre 0 y 255. Todo lo mencionado anteriormente para la configuración de PWM se muestra en la Figura 3.56. En la última parte del código se debe asignar los pines R, G y B del led a cada uno de los canales PWM escogidos.

**Figura 3.56** Configuración PWM para control de led RGB

*Configuración PWM para control de led RGB*

```
// INICIALIZAR PWM Y LED RGB
ledcSetup(channel_red, freq, resolution);
ledcSetup(channel_green, freq, resolution);
ledcSetup(channel_blue, freq, resolution);

// VINCULAR CANAL PWM A PIN DE LED
ledcAttachPin(ledPin_red, channel_red);
ledcAttachPin(ledPin_green, channel_green);
ledcAttachPin(ledPin_blue, channel_blue);
```

Para facilitar el manejo del led se ha implementado una función denominada writeColorLed, la cual como argumentos espera los canales PWM y el color para cada uno de los canales. La función implementada se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.57**

*Función implementada para control de led RGB*

```
void writeColorLed(int channel[3], int color[3])
{
    ledcWrite(channel[0], color[0]);
    ledcWrite(channel[1], color[1]);
    ledcWrite(channel[2], color[2]);
}
```

Los pulsadores presentes en la placa de desarrollo son de gran utilidad para navegar por las distintas pantallas a implementar en el proyecto. Estos pulsadores ya están asignados a pines específicos en el ESP32 siendo estos pines: GPIO0 y GPIO35. En la práctica se asignan estos pines empleando solamente los números respectivos de cada PIN. Para leer los valores correctos de estos pulsadores es necesario agregar una resistencia de pullup y configurarlos como entradas, lo cual se hace mediante código tal y como se muestra en la Figura 3.58.

**Figura 3.58** Configuración de pulsadores de la placa de desarrollo

*Configuración de pulsadores de la placa de desarrollo*

```
// BOTONES EN PLACA LILYGO TTGO T-DISPLAY (ESP32)
pinMode(down_button_pin, INPUT_PULLUP);
pinMode(up_button_pin, INPUT_PULLUP);
```

Para la comunicación con la micro SD es necesario configurar el protocolo de comunicación SPI. La placa de desarrollo cuenta con otros pines adicionales SPI aparte de los empleados por la pantalla. Estos pines son: CS (33), SCLK (25), MISO (27) y MOSI (26). Los pines son agregados como variables y posteriormente se inicializa la comunicación para la micro SD como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.59**

*Configuración SPI secundaria en placa de desarrollo*

```
// INICIALIZAR SD EN LILYGO TTGO DISPLAY
SDSPI.begin(MY_SCLK, MY_MISO, MY_MOSI, MY_CS);
```

En el setup también se configura cada una de las tareas del medidor inteligente, pero esto se mostrará cuando se detalle cada una de las tareas.

Finalmente, tenemos que definir en el setup los objetos que serán empleados por la plataforma IoT Thinger. Los datos pueden ser tanto de entrada como de salida y esto tiene que definirse con un nombre de variable. Un ejemplo de cómo enviar los datos del voltaje RMS a la plataforma IoT se muestra en la Figura 3.60.

**Figura 3.60**

*Objeto Voltaje RMS de salida a Thinger*

```
meter["Voltaje"] >> [](pson &out)
{
  out["V1_RMS"] = voltaje_RMS[0];
  out["V2_RMS"] = voltaje_RMS[1];
  out["V3_RMS"] = voltaje_RMS[2];
  out["V4_RMS"] = voltaje_RMS[3];
};
```

En la Figura 3.60 se tiene la variable Voltaje y está declarado como un objeto de salida debido al código &out. Los parámetros que se envían bajo el nombre Voltaje son 4 y representan a cada uno de los voltajes RMS dado por los sensores del medidor inteligente. Así como este objeto se declaran el resto de variables para poder acceder a ellos a través de la plataforma IoT en Thinger.

#### **3.9.4. Task: Lectura de Sensores**

Esta tarea se ejecuta en el núcleo 0 del ESP32 y es responsable de leer los datos dados por los ADS1115 tanto para la lectura de datos de voltaje y corriente. Esta tarea se declara en el setup tal y como se muestra en la Figura 3.61. Se ha asignado una memoria de 4096 bytes a esta tarea, este valor está dado por prueba y error. Además, se ha vinculado esta tarea con una función llamada datos\_sensores.



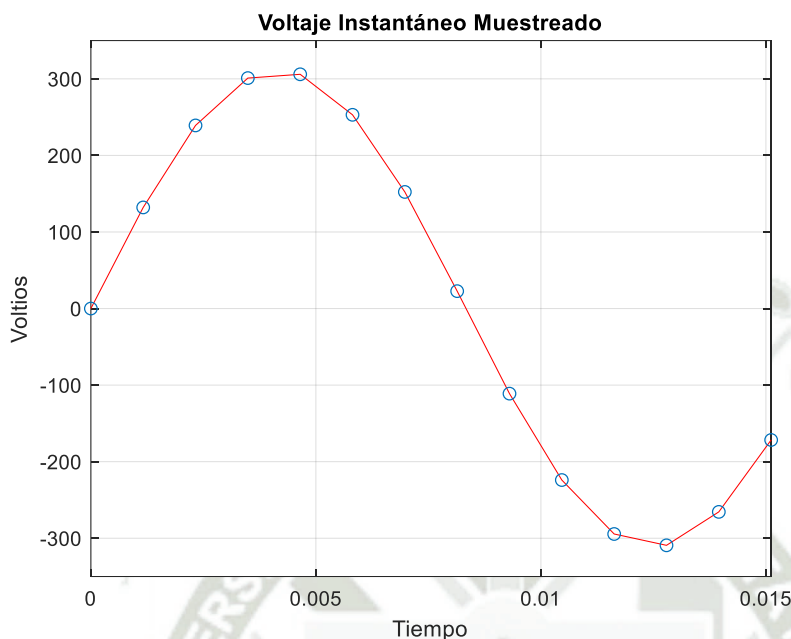
**Figura 3.61***Tarea lectura de sensores*

```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    datos_sensores,  
    "Sensores",  
    4096,  
    NULL,  
    1,  
    &LecturaSensores,  
    0);
```

El ADS1115 no puede leer los 4 canales que tiene disponible a la vez por lo que es necesario multiplexar los canales para poder tener las lecturas de todos los sensores. Las lecturas se realizan por pares, es decir, un sensor de voltaje con un sensor de corriente. El cambio de canal se produce luego de haber tomado 500 muestras.

La frecuencia de la señal de voltaje o corriente es de 60 Hz aproximadamente por lo que de acuerdo al teorema de Nyquist y para evitar el aliasing es necesario realizar un muestreo mayor al doble de la frecuencia de la señal que se desea muestrear teniendo así un valor mínimo de 120 Hz lo cual implicaría 2 muestras por cada periodo de la señal. Esta cantidad de muestras no es suficiente para representar la señal de tensión por lo que se consideran tomar 14 muestras por periodo de la señal tal y como se muestra en la Figura 3.62 lo cual equivale a una frecuencia de muestreo de 860 Hz (máxima frecuencia de muestreo admitida por los ADS1115). En total realizar el muestreo de 500 valores le tomará aproximadamente 581.5 milisegundos teniendo así al final aproximadamente 35 periodos muestreados de la señal.



**Figura 3.62**
*Señal de tensión muestreada*


Los valores obtenidos están en un rango de 0 a 32767, sin embargo, la librería empleada para los ADS1115 permite obtener valores en tensión comprendidos entre 0 y 5 voltios. Los valores obtenidos presentan un desfase aproximado e ideal de 2.5 voltios debido al acondicionamiento de señal realizado. Eliminar este desfase es necesario para los cálculos de voltaje y corriente ya que asegura un valor cercano a 0 cuando no hay voltaje ni corriente y además permite trabajar con los valores negativos presentes en la onda. Por lo tanto, a cada una de las muestras se le resta este desfase. El código necesario para tener las lecturas de los sensores de voltaje y corriente y con el desfase eliminado se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.63**

*Obteniendo lecturas de voltaje y corriente instantáneos*

```
v_sensor = voltaje_sensor.getLastConversionResults();  
i_sensor = corriente_sensor.getLastConversionResults();  
  
// CONVERTIR LOS VALORES DEL ADC EN VOLTAJE ENTRE 0 Y 5V (IDEAL)  
v1_sensor = voltaje_sensor.computeVolts(v_sensor);  
i1_sensor = corriente_sensor.computeVolts(i_sensor);  
  
// OFFSETS DE VOLTAJE Y CORRIENTE  
v1_sensor = v1_sensor - v_offset;  
i1_sensor = i1_sensor - i_offset;
```

Con la finalidad de calcular el voltaje RMS, corriente RMS y potencia activa es necesario acumular los valores instantáneos para luego mediante una ecuación poder calcular estos parámetros. Ya que se tienen muestreos de la señal de corriente y tensión estamos trabajando en un dominio discreto por lo tanto es necesario emplear las ecuaciones de los parámetros eléctricos en el dominio discreto. Esto se detalla mejor en la tarea de parámetros eléctricos.

Para cada una de las muestras se acumula el cuadrado del valor instantáneo en el caso del voltaje y corriente. En el caso de la potencia activa se acumula la multiplicación del voltaje y corriente instantáneos, el factor de 1000 presente en la ecuación se ha colocado con la finalidad de no trabajar con valores pequeños. Lo descrito anteriormente se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.64**

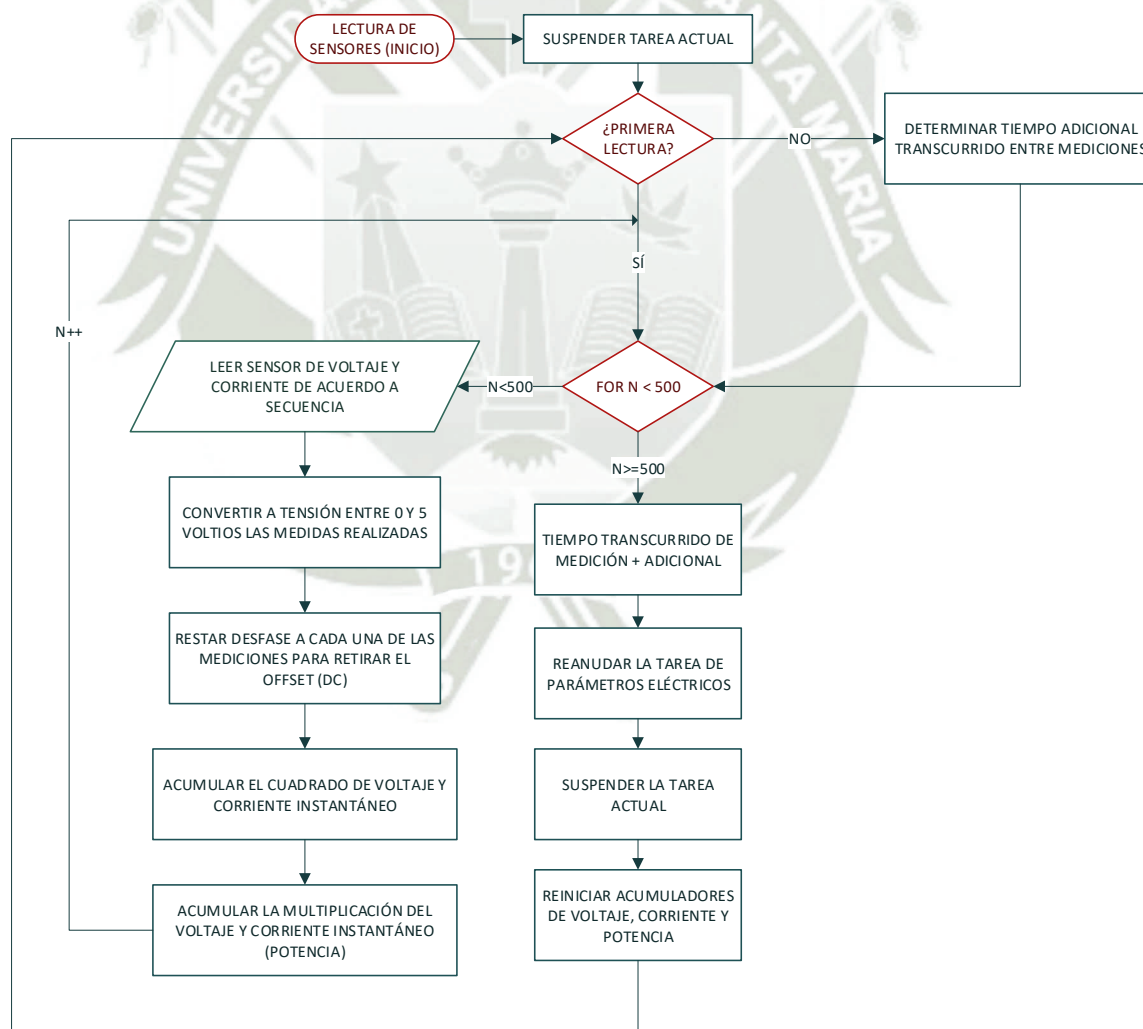
*Valores acumulados de voltaje, corriente y potencia*

```
// ACUMULADO DE VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA  
v_acc = v_acc + sq(v1_sensor);  
i_acc = i_acc + sq(i1_sensor);  
p_acc = p_acc + (v1_sensor * 1000 * i1_sensor);
```

Se ha explicado el funcionamiento general de esta tarea para comprender su importancia dentro del programa general del medidor inteligente, sin embargo, su ejecución es más compleja ya que implica considerar también los tiempos transcurridos entre datos de sensores con la finalidad de poder calcular la energía posteriormente. Un diagrama de flujo que muestra el funcionamiento de esta tarea se presenta en la Figura 3.65. Observamos en el diagrama de flujo que apenas inicia el sistema esta tarea se suspende y solo lo hará al iniciar el sistema mientras arrancan otras tareas y se cargan valores al medidor inteligente.

**Figura 3.65** Diagrama de flujo de la tarea Lectura de sensores

*Diagrama de flujo de tarea Lectura de sensores*





En el diagrama observamos que luego de haber tomado 500 muestras la tarea se suspende y se reanuda la tarea de parámetros eléctricos para que en base a los valores acumulados se pueda calcular la corriente y voltaje RMS, potencia, energía, etc. Es en la tarea de parámetros eléctricos donde se realiza el cambio de canal para que cuando se reanude la tarea de lectura de sensores ya pueda empezar a leer el otro canal. La ejecución de esta tarea es importante y su ejecución no termina nunca a diferencia de otras tareas cuya existencia o ejecución puede ser condicional.

### 3.9.5. Task: Parámetros Eléctricos

Esta tarea se ejecuta en el núcleo 0 del ESP32 y su configuración se declara en el setup del código tal y como se muestra en la Figura 3.66. Se le asigna una memoria de 4096 bytes y además se vincula a una función denominada `calc_elect` y al núcleo 0 del ESP32.

**Figura 3.66** Tarea Parámetros Eléctricos

*Tarea Parámetros Eléctricos*

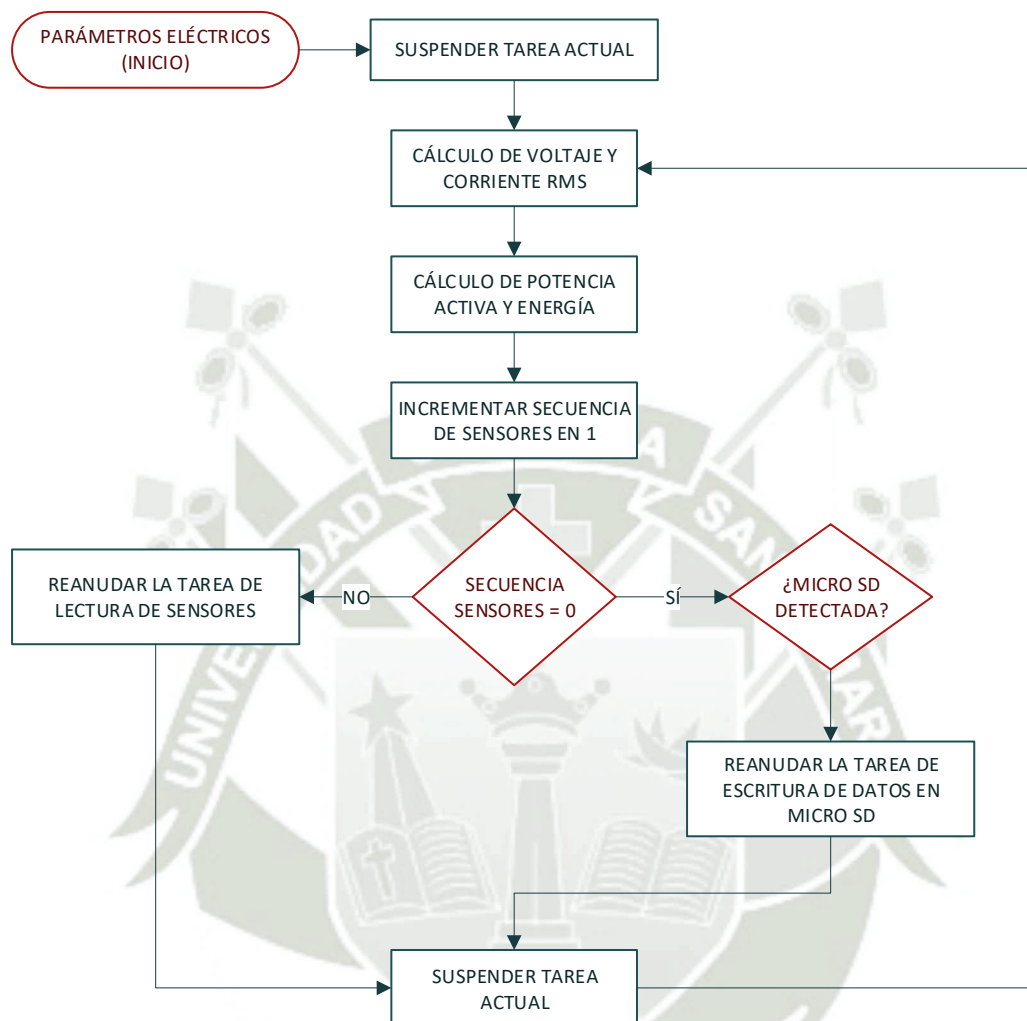
```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    calc_elect,  
    "Parametros",  
    4096,  
    NULL,  
    1,  
    &ParamElectricos,  
    0);
```

Con los valores acumulados obtenidos en la tarea de lectura de sensores se procede a realizar el cálculo de los parámetros eléctricos. Su ejecución está directamente vinculada a la tarea de lectura de sensores ya que siempre se ejecuta cuando se terminan de muestrear 500 datos. Esta tarea se puede representar por el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.67.



**Figura 3.67**

*Diagrama de flujo de tarea cálculo de parámetros eléctricos*



Cuando inicia el sistema la tarea inmediatamente se suspende ya que su ejecución depende de la tarea lectura de sensores. El cálculo de parámetros eléctricos se presenta a continuación:

### 3.9.5.1. Voltaje RMS

El voltaje RMS o voltaje eficaz está definido como:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

La ecuación anterior funciona para un tiempo continuo, pero la señal en el medidor inteligente está siendo muestreada por lo que la ecuación anterior puede ser reescrita como:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{k=0}^{N-1} V_k^2}$$

$V_{rms}$ : Voltaje eficaz [V]

$V_k$ : Voltaje Instantáneo (muestreado) [V]

$N$ : Número de muestras

La ecuación del voltaje eficaz para un tiempo discreto es la que se emplea en los cálculos para determinar el voltaje eficaz. Como vemos es necesario acumular los valores del voltaje instantáneo al cuadrado, lo cual se realiza previamente en la tarea de lectura de sensores.

### 3.9.5.2. Corriente RMS

La corriente RMS o corriente eficaz está definida como:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I(t)^2 dt}$$

La ecuación anterior funciona para un tiempo continuo, pero la señal en el medidor inteligente está siendo muestreada por lo que la ecuación anterior puede ser reescrita como:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{k=0}^{N-1} I_k^2}$$

$I_{RMS}$ : Corriente eficaz [V]

$I_k$ : Corriente Instantánea (muestreada) [V]

$N$ : Número de muestras

La ecuación del corriente eficaz para un tiempo discreto es la que se emplea en los cálculos para determinar la corriente eficaz. Como vemos es necesario acumular los valores de la corriente instantánea al cuadrado, lo cual se realiza previamente en la tarea de lectura de sensores.

En base a los valores acumulados del voltaje y corriente eficaz y en base a las ecuaciones previamente mostradas podemos obtener los valores eficaces tal y como se muestran en la Figura 3.68.

**Figura 3.68** Cálculo de corriente y voltaje eficaz

*Cálculo de corriente y voltaje eficaz*

```
// CÁLCULO RMS EN BASE A VOLTAJE DE SENSORES  
v_rms_raw = sqrt(v_acc / numero_muestras);  
i_rms_raw = sqrt(i_acc / numero_muestras);
```

El valor eficaz que se obtiene no es un valor que indica la medida real de corriente o voltaje puesto que el ADS1115 nos está entregando valores entre -2.5 y 2.5 voltios. Lo que resta hacer es escalar los valores obtenidos a medidas reales y para ello se requiere una calibración de los sensores. Esto puede llevar a simplemente encontrar una constante que multiplicada por los valores obtenidos nos de medidas reales o una ecuación que relacione los valores obtenidos y los valores reales. Esto se detallará en el apartado calibración de sensores.

### 3.9.5.3. Potencia Activa

La potencia activa está definida como la integral de la multiplicación del voltaje y corriente instantáneos en un periodo de tiempo determinado, tal y como muestra la siguiente ecuación:

$$P_{activa} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) * I(t) dt$$

Es necesario reescribir la ecuación anterior a un tiempo discreto para poder calcular la potencia activa con los valores obtenidos por los sensores:

$$P_{activa} = \frac{1}{N} * \sum_{k=1}^{N-1} V_k * I_k$$

$V_k$ : Voltaje Instantáneo (muestreado) [V]

$I_k$ : Corriente Instantánea (muestreada) [V]

$N$ : Número de muestras

La parte de la ecuación que contiene la sumatoria sugiera acumular los valores multiplicados del voltaje y corriente instantáneos hasta alcanzar el número de muestras deseado. La acumulación de estos valores para determinar la potencia activa se hizo en la tarea lectura de sensores. Lo que resta hacer para terminar el cálculo es dividirlo entre la cantidad de muestras deseadas. Con el objetivo de compensar los desfases que existen entre mediciones de voltaje y corriente (ya que una medida se realiza después de la otra) se ha agregado un valor absoluto para el acumulado de la potencia activa obteniendo siempre así valores positivos.

### Figura 3.69

*Cálculo de potencia activa*

```
// CÁLCULO DE POTENCIA ACTIVA
pot_act_calc[sensor_sequence] = ((abs(p_acc) / (numero_muestras)));
```

La ecuación mostrada anteriormente no brinda un valor real de la potencia activa ya que está en función de tensiones y corrientes instantáneos entre -2.5 y 2.5 voltios (lo que brinda el ADS1115). Es necesario realizar un ajuste a este valor en base a la calibración que se realiza para determinar los valores eficaces. Esto se detalla en el apartado calibración de sensores.



#### 3.9.5.4. Potencia Aparente

La potencia aparente está definida como:

$$P_{aparente} = V_{RMS} * I_{RMS}$$

Con los valores de voltaje y corriente RMS previamente obtenidos se puede calcular la potencia aparente realizando la multiplicación de ambos valores.

#### 3.9.5.5. Factor de Potencia

La ecuación del factor de potencia se puede obtener del triángulo de potencias y relaciona la potencia aparente y potencia activa previamente calculadas y estaría definido por:

$$FP = \frac{P_{activa}}{P_{aparente}}$$

Esta medida del factor de potencia para cargas resistivas es bastante cercana a la unidad, sin embargo, para cargas inductivas este valor se va haciendo cada vez más pequeño y se aleja de la unidad. Esta ecuación se implementa con una simple división de las potencias previamente obtenidas.

#### 3.9.5.6. Energía

La energía está definida de la siguiente forma:

$$E = \sum P_{activa} * t$$

*E*: Energía consumida [KWh]

*P<sub>activa</sub>*: Potencia activa [KW]

*t*: Número de muestras [h]

El cálculo de energía puede hacerse de dos maneras en el caso del medidor inteligente implementado: Se puede asumir un factor de potencia ideal de valor 1, suponiendo

solamente puras cargas resistivas haciendo que la potencia activa sea igual que la aparente o trabajar con la potencia activa calculada en base a la lectura de los valores de corriente y voltaje instantáneos.

De los cálculos realizados anteriormente es posible obtener la potencia activa o aparente y el tiempo se obtiene de la tarea de lectura de sensores. El tiempo que se emplea en este cálculo es el tiempo transcurrido desde el momento en que se inicia el muestreo de datos. No basta con realizar una simple multiplicación sino por el contrario se debe acumular el valor de dicha multiplicación por un periodo de un mes. Al finalizar el mes este valor de energía acumulado se reinicia volviendo su cuenta a 0 iniciando así un nuevo ciclo.

Una vez realizado todos los cálculos se cambia de canal para iniciar otro muestreo de datos del siguiente par de sensores. Para esto se ha implementado una variable que crea una secuencia y es capaz de multiplexar los distintos canales tal y como se muestra en la Figura 3.70.

**Figura 3.70**

*Multiplexar canales para las lecturas de los ADS115*

```
// CAMBIO DE PARÁMETROS PARA LECTURA DE ADS1115
switch (sensor_sequence)
{
case 0:
    voltaje_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_0, true);
    corriente_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_0, true);
    break;

case 1:
    voltaje_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_1, true);
    corriente_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_1, true);
    break;

case 2:
    voltaje_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_3, true);
    corriente_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_3, true);
    break;

case 3:
    voltaje_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_2, true);
    corriente_sensor.startADCReading(ADS1X15_REG_CONFIG_MUX_SINGLE_2, true);
    break;
}
```

Observamos en el diagrama también que tras terminar el cálculo de parámetros eléctricos se procede a guardar estos datos siempre y cuando se haya terminado de leer los datos de todos los sensores, lo cual ocurre tras haber cambiado de canal 4 veces.

Además, una condición para que se guarden los datos en la micro SD es que la micro SD exista o haya sido detectada por el sistema de lo contrario no lo realiza hasta que se cumplan las condiciones. Esta condición es colocada para evitar generar un problema por no encontrar donde guardar los archivos y cuelgue al sistema entero provocando un reseteo por falla en el código.

### 3.9.6. Task: Conexión Wifi

Al igual que en las tareas anteriores esta tarea se necesita declarar y configurar en el setup del código asignando una memoria y vinculado la tarea a una función específica y a un núcleo tal y como se muestra en la Figura 3.71.

**Figura 3.71***Tarea Conexión Wifi*

```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    mantener_wifi,  
    "MantenerWiFi",  
    10240,  
    NULL,  
    1,  
    &ComWiFi,  
    1);
```

La idea detrás de un medidor inteligente es que los datos de este puedan ser visualizados a distancia mediante algún protocolo de comunicación. En este proyecto se emplea Wifi para transmitir los datos del medidor hacia la plataforma IoT Thinger. Esta tarea se ejecuta en el núcleo 1 del ESP32 y es responsable de mantener la conexión Wifi, es decir, conectarse a internet en un periodo de tiempo determinado o reintentarlo en caso no sea posible tras esperar un tiempo.

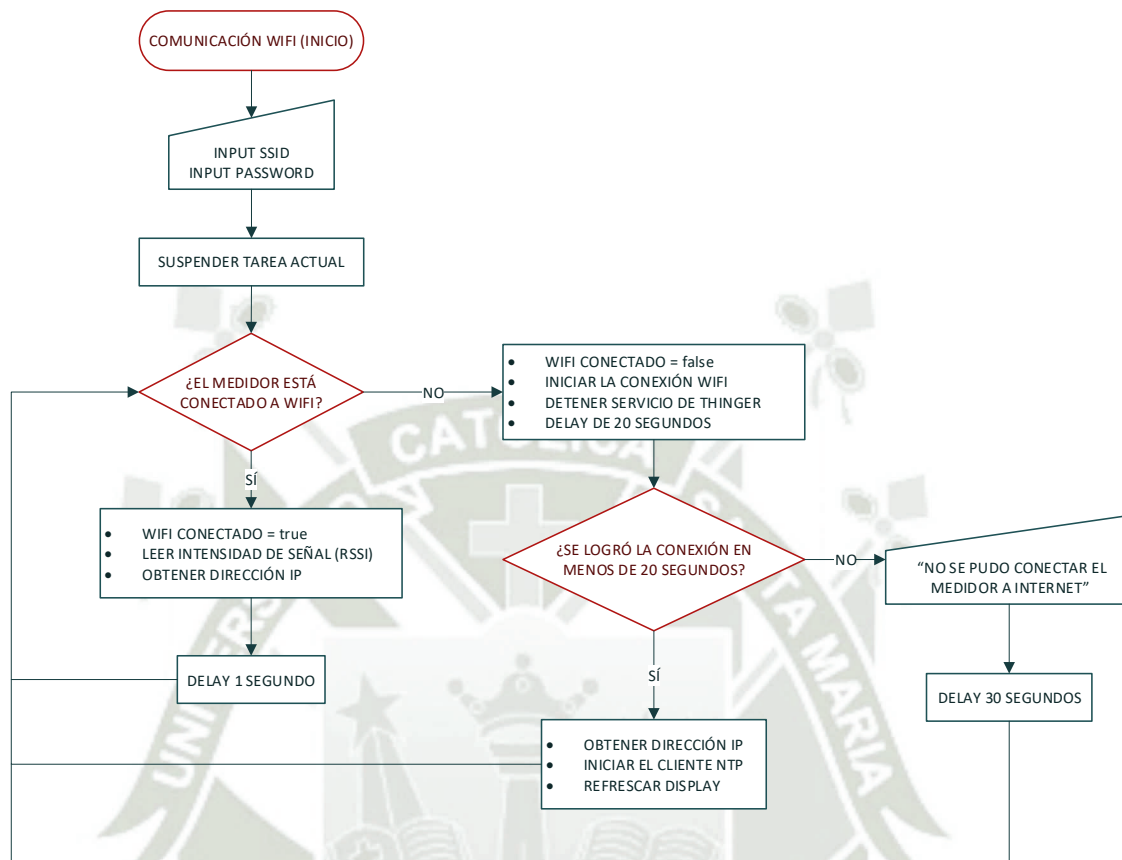
Con esta tarea se garantiza que el medidor siempre cuente con internet y si por alguna razón se pierde la conexión ya sea por problemas de la empresa que brinda el servicio o intensidad de señal este pueda volver a reconectarse cuando la red esté disponible.

La ejecución de esta tarea se muestra en la Figura 3.72. En este diagrama de flujo observamos que la tarea requiere como parámetros importantes conocer el nombre de la red Wifi o SSID (Service set identifier) y la clave de la red para poder realizar la conexión. Al iniciar el sistema obtiene estos parámetros que han sido agregados al código e inmediatamente se suspende la tarea.



**Figura 3.72**

*Diagrama de flujo de Tarea Conexión Wifi*



La conexión Wifi es importante para obtener los datos del medidor de forma remota es por ello que la conexión se verifica cada segundo tal y como se muestra en el diagrama de flujo. Cada vez que se comprueba la conexión y esta existe se obtienen dos parámetros: la IP del medidor y la señal wifi o RSSI (Indicador de fuerza de la señal recibida). En caso de que el medidor no pueda conectarse a internet en un tiempo de 20 segundos se procede a esperar 30 segundos antes de reintentar la conexión.

### 3.9.7. Task: Botones (Pulsadores)

Esta tarea se ejecuta en el núcleo 1 del ESP32 y además se ha vinculado a una función denominada pulsadores. La configuración de esta tarea se realiza en el setup del código como se muestra en la Figura 3.73.

**Figura 3.73***Tarea Pulsadores*

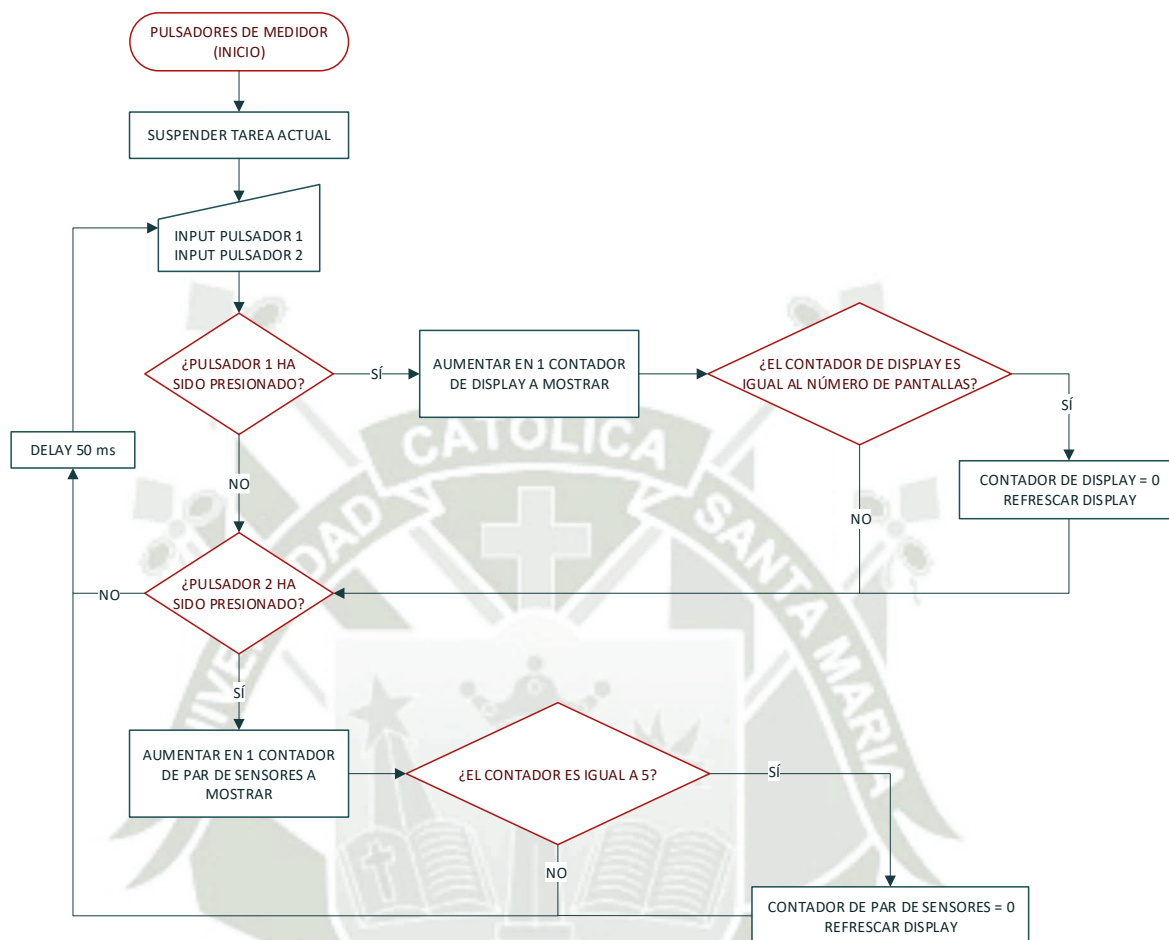
```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    pulsadores,  
    "Pulsadores",  
    2048,  
    NULL,  
    1,  
    &Botones,  
    1);
```

Esta tarea es responsable de determinar cuándo un pulsador ha sido presionado, uno de los pulsadores de la placa de desarrollo permite alternar entre las distintas pantallas del medidor mientras que el otro pulsador permite alternar entre los diferentes pares de sensores para visualizar sus respectivas medidas de corriente, voltaje, potencia, energía y costo.

El diagrama de flujo del funcionamiento de esta tarea se muestra en la Figura 3.74. En el diagrama notamos que esta tarea inicia suspendida y tiene además un pequeño delay de 50 milisegundos con la finalidad de evitar rebotes en los pulsadores y tener una detección de sus estados presionado o soltado de forma adecuada.

**Figura 3.74**

*Diagrama de flujo de tarea pulsadores*



### 3.9.8. Task: Pantalla (Display)

La tarea pantalla (display) tiene por objetivo mostrar en la pantalla del medidor información acerca de los parámetros eléctricos del sistema para cada uno de los medidores. Asimismo, también se presenta información acerca de la intensidad de la señal Wifi, así como la fecha y la hora respectiva. Esta tarea se ejecuta en el núcleo 1 del ESP32 y su configuración se muestra en la Figura 3.75.

**Figura 3.75***Tarea Pantalla*

```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    mostrar_display,  
    "Display",  
    12288,  
    NULL,  
    1,  
    &Pantalla,  
    1);
```

Sin importar la pantalla a visualizar en la parte superior siempre se mostrará la fecha y hora, las cuales son obtenidas mediante un servidor NTP, así como también la intensidad de la señal Wifi obtenida en la tarea de conexión Wifi. La intensidad de la señal (RSSI) está compuesta por un gráfico de 4 barras cuyo color cambia en función de la intensidad. Los rangos definidos en el código para alternar entre colores y determinar si la señal Wifi es buena o mala se implementa en base a la siguiente figura:

**Figura 3.76** Intensidad de señal Wifi (RSSI)*Intensidad de señal Wifi (RSSI)*

Los gráficos e información se presentan a través de distintas pantallas las cuales cumplen un propósito específico:

- **Pantalla 1:** Esta pantalla se muestra por defecto en el medidor cuando inicia el sistema. Muestra información referente al consumo, es decir, energía consumida y costo. Esta información se presenta de forma independiente para cada par de sensores por lo que si se desea visualizar la información del resto de sensores es necesario alternar esto con el pulsador.

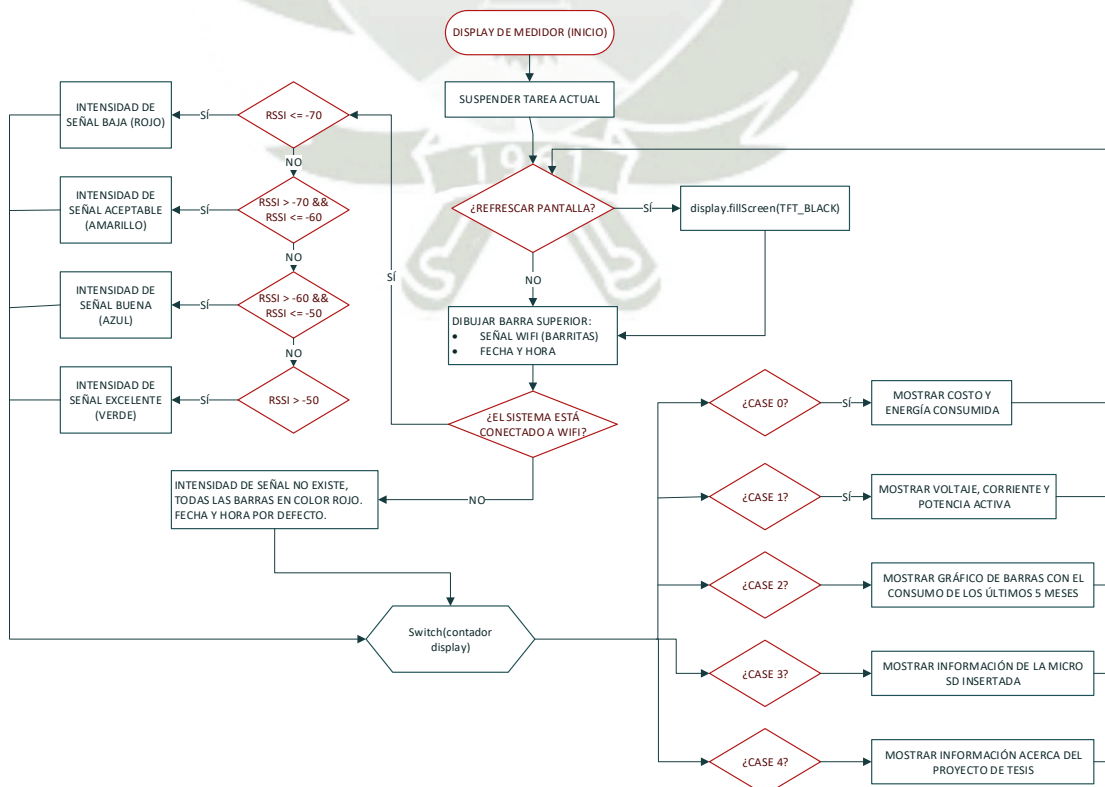


- **Pantalla 2:** Muestra el voltaje y corriente RMS, así como la potencia activa de un par de sensores.
- **Pantalla 3:** Muestra gráfico de barras con la energía consumida en los últimos 5 meses para un medidor (par de sensores).
- **Pantalla 4:** Muestra información de la micro SD que ha encontrado el sistema: tipo, capacidad y estado.
- **Pantalla 5:** Muestra información del proyecto de tesis: nombre de tesista, proyecto y asesor.

Se ha agregado también en el código una variable que permite refrescar la pantalla. Otras tareas pueden alterar este parámetro para limpiar la pantalla cuando se realiza un cambio en las lecturas, se agregan valores, etc. El funcionamiento de esta tarea y lo detallado previamente se observa en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.77.

**Figura 3.77** Diagrama de flujo de tarea pantalla

*Diagrama de flujo de tarea pantalla*



### 3.9.9. Task: Existencia de SD

Esta tarea es responsable de verificar la existencia de la tarjeta SD y por ende activar los procesos de lectura y escritura de datos en la SD. Su ejecución se asigna al núcleo 1 del ESP32 y su configuración dentro de setup se muestra en la Figura 3.78.

**Figura 3.78**

*Tarea existencia SD*

```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    mantener_sd,  
    "MantenerSD",  
    13312,  
    NULL,  
    1,  
    &ComSD,  
    1);
```

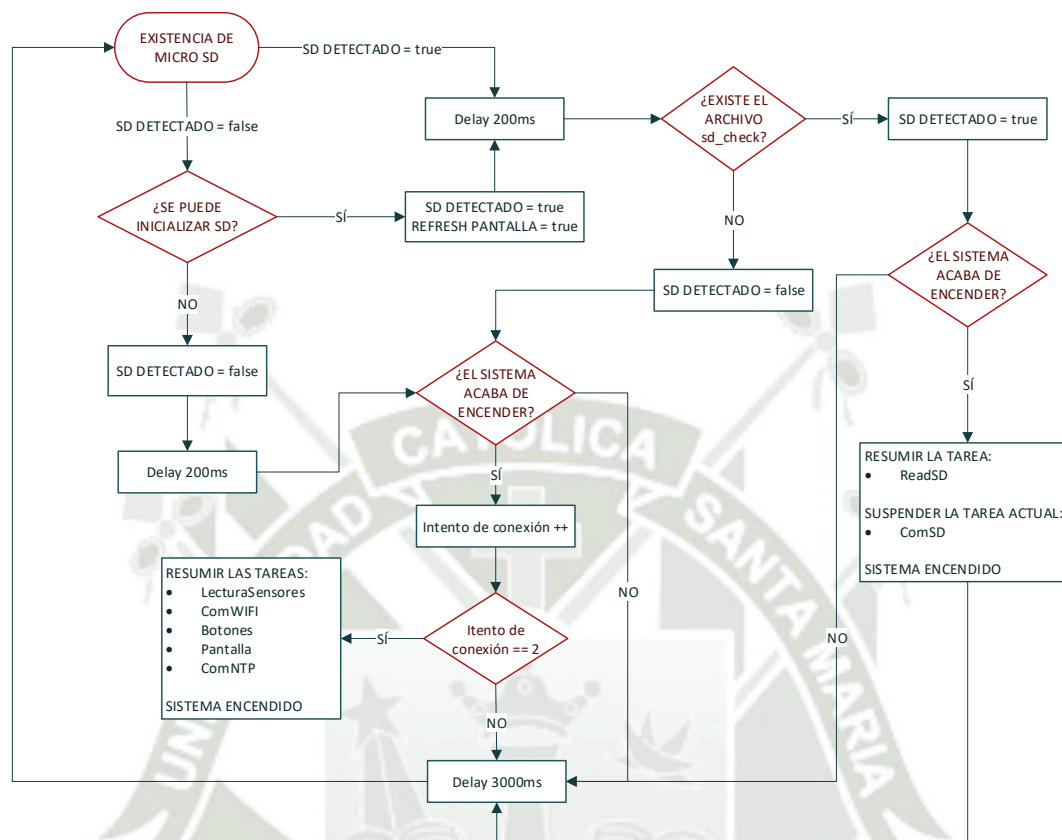
Al iniciar el sistema esta es la tarea que se ejecuta primero y busca la tarjeta SD que se haya insertado en el sistema. Si se encuentra la tarjeta SD se procede a leer los valores de la tarjeta SD, en caso contrario se intenta hasta un máximo de dos veces. Luego se reanuda el resto de tareas para continuar con el funcionamiento del medidor.

Determinar la existencia de la SD es una tarea que se realiza cada 3 segundos y es de vital importancia ya que es en la tarjeta SD donde se almacenan los parámetros del medidor. En la tarjeta SD se guarda el dato de energía hasta un momento determinado iniciar el sistema sin la tarjeta SD implica no tener una lectura anterior de la energía consumida.

Con la finalidad de determinar que realmente la tarjeta SD existe en el sistema se ha creado un archivo de texto en la memoria para que el medidor lo busque en la tarjeta. Si encuentra el archivo se le indica al sistema que ha sido encontrada la tarjeta SD. Incluso es posible colocar algún código de cliente en el archivo para evitar que el usuario modifique o altere los parámetros de la tarjeta SD. Todo lo detallado respecto al funcionamiento e importancia de esta tarea se muestra en el diagrama de flujo en la Figura 3.79.

**Figura 3.79**

*Diagrama de flujo de la tarea existencia SD*



### 3.9.10. Task: Lectura de SD

Esta tarea se ejecuta en el núcleo 1 del ESP32 y se vincula a una función denominada LecturaSD con el objetivo de obtener la energía consumida cada vez que inicia el sistema. En la Figura 3.80 se muestra la configuración que se realiza en el setup del código para el funcionamiento de esta tarea.

**Figura 3.80**

*Tarea Lectura SD*

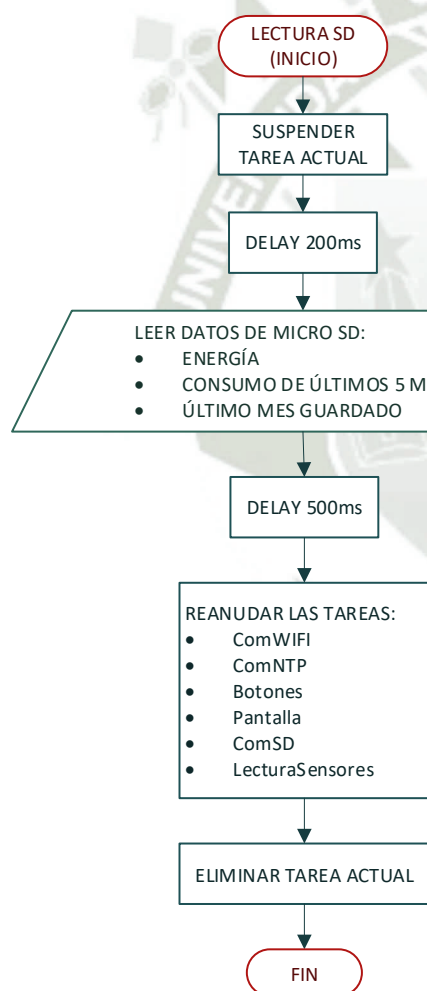
```

xTaskCreatePinnedToCore(
    LecturaSD,
    "LecturaSD",
    9632,
    NULL,
    1,
    &ReadSD,
    1);
  
```

La ejecución de esta tarea es condicional ya que depende de si el sistema ha encontrado o no la tarjeta SD al iniciar el sistema. No tiene mucho sentido ejecutar esta tarea si no existe SD de la cual leer datos, hacerlo así generaría errores en el sistema forzando así un reseteo no deseado del medidor. Ya que la carga de datos al sistema solo debe de ejecutarse una vez esta tarea se destruye luego de su ejecución. El funcionamiento y secuencia de ejecución de esta tarea se muestra el siguiente diagrama de flujo:

**Figura 3.81** Diagrama de flujo de tarea Lectura SD

*Diagrama de flujo de tarea Lectura SD*



En el diagrama de flujo notamos que se reanudan el resto de tareas una vez que se han cargado todos los datos al sistema. Es importante mencionar también que además de los datos de energía también se carga un dato que indica a que mes pertenece las lecturas de energía.



### 3.9.11. Task: Escritura de SD

Esta tarea se ejecuta en el núcleo 1 del ESP32 tal y como se muestra en el código de configuración de la tarea en la Figura 3.82. Se vincula la tarea WriteSD a una función denominada EscrituraSD y se asigna una memoria de 4096 bytes.

**Figura 3.82**

*Tarea Escritura SD*

```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    EscrituraSD,  
    "EscrituraSD",  
    4096,  
    NULL,  
    1,  
    &WriteSD,  
    1);
```

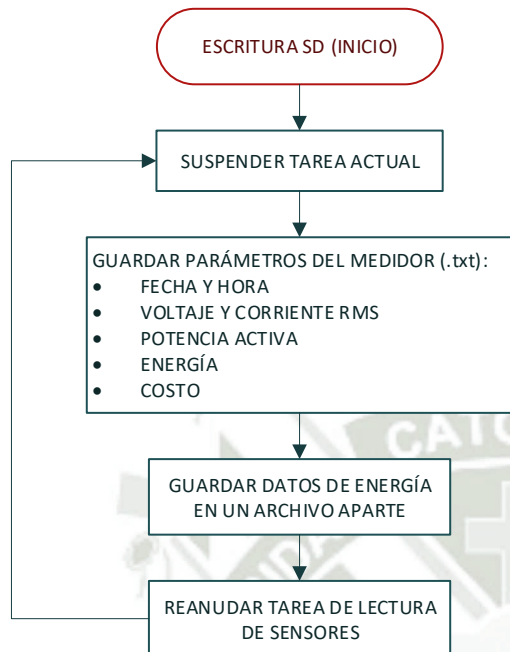
Escribir datos en la SD implica guardar los parámetros eléctricos que se han calculado para revisar la información en caso se requiera. Esta información se almacena en archivos de texto en la tarjeta SD separados por comas con la extensión .txt.

La ejecución de esta tarea es condicional y depende del cálculo de la tarea parámetros eléctricos ya que solo se guardan los datos cuando se ha terminado de calcular todos los parámetros en cada uno de los medidores (par de sensores).

Cada uno de los datos almacenados en la tarjeta SD están acompañados de un time stamp que indica en qué fecha y hora se tenían esas lecturas. El sistema depende de la existencia de una SD ya que se registra en esta el valor de la energía consumida de manera de que cuando se reinicie el sistema pueda continuar con las lecturas de energía que el sistema tenía antes de reiniciarse. El funcionamiento de esta tarea se detalla también en el diagrama de flujo presentado en la Figura 3.83.

**Figura 3.83**

*Diagrama de flujo de la tarea Escritura SD*



### 3.9.12. Task: Servidor NTP

Esta tarea es responsable de obtener la fecha y hora de internet y su correcto funcionamiento depende de la existencia de una conexión Wifi. Se ejecuta en el núcleo 1 del ESP32 y está vinculada a la función `mantener_ntp` tal y como se muestra en la Figura 3.84.

**Figura 3.84**

*Tarea Servidor NTP*

```

xTaskCreatePinnedToCore(
    mantener_ntp,
    "NTP",
    4096,
    NULL,
    1,
    &ComNTP,
    1);
  
```

Un servidor NTP o Network time protocol es un protocolo de internet que permite sincronizar relojes en sistemas informáticos. Este servidor envía información de la fecha y hora en tiempo real al sistema.

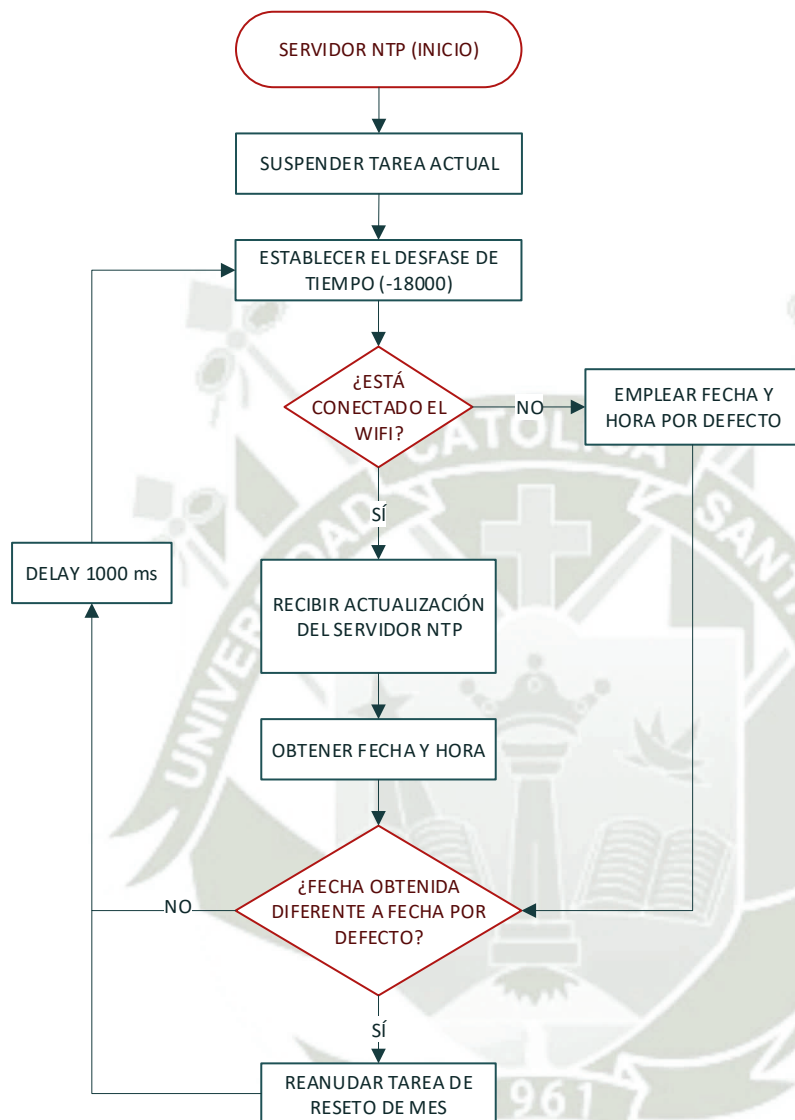
La hora que se obtiene por defecto es la hora sin desfases u hora media de Greenwich (GMT). En el caso del Perú se tiene un desfase GMT -5 lo cual quiere decir que nuestro sistema horario está atrasado 5 horas con respecto a la hora media de Greenwich, por esta razón es que en el código se agrega este desfase. El desfase horario debe ser agregado en segundos por lo que 5 horas equivalen a 18000 segundos.

El funcionamiento de esta tarea se describe en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.85. En el diagrama observamos que el funcionamiento está condicionado a la conexión Wifi, cuando esta es inexistente entonces se asume una hora y fecha por defecto en el sistema. En caso contrario siempre se recibirá una actualización de la fecha y hora cada segundo debido al delay presente en la tarea.

Uno de los parámetros importantes en la tarea Lectura SD es verificar el mes al que corresponden los datos de energía leídos ya que este dato es importante para verificar si el mes o periodo ha concluido. Esta verificación se realiza mediante comparación con el mes guardado en la tarjeta SD y el que se obtiene a cada segundo del servidor NTP, si existe diferencia entonces el sistema asume que el mes ha concluido y reanuda la tarea reseteo fin de mes.

**Figura 3.85**

*Diagrama de flujo de tarea Servidor NTP*



### 3.9.13. Task: Reseteo Fin de Mes

La última tarea implementada en el medidor inteligente es la tarea reseteo fin de mes la cual se ejecuta en el núcleo 1 del ESP32. Esta tarea tiene por objetivo reiniciar los parámetros del sistema cuando ha finalizado un periodo de medición. La configuración de esta tarea dentro del setup se muestra en la Figura 3.86.



**Figura 3.86***Tarea Reseteo Fin de Mes*

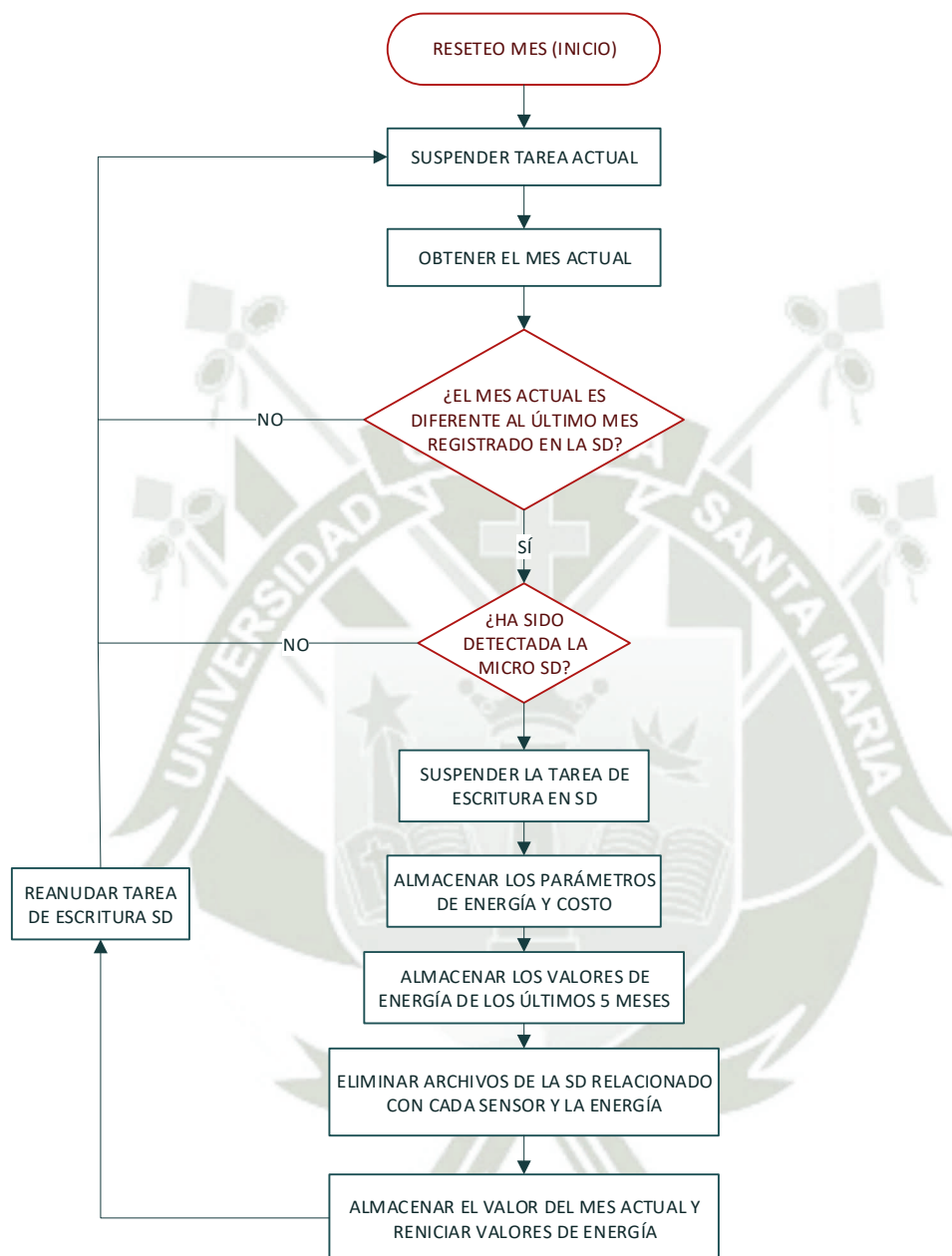
```
xTaskCreatePinnedToCore(  
    ReseteoMes,  
    "ReseteoMes",  
    4096,  
    NULL,  
    1,  
    &ResetMes,  
    1);
```

Las empresas distribuidoras de energía facturan al consumidor cada mes por la energía consumida y es justamente lo que el prototipo de medidor de energía plantea para esta tarea. El costo calculado y la energía consumida para ese mes debe ser enviado al consumidor final cuando acaba el periodo.

Como ya se detalló antes, el sistema determina que se ha acabado el mes cuando el mes almacenado en la tarjeta SD no es igual al mes dado por el servidor NTP. Cuando esto ocurre se procede suspender la tarea escritura SD se almacenan los valores finales de ese periodo en un archivo de texto. La energía consumida en ese mes también se adjunta a los 5 valores de últimos 5 meses eliminando el primer dato y desplazando los demás. El resto de datos se elimina para iniciar un nuevo ciclo y finalmente se guarda el dato del mes actual para realizar una comparación similar el mes siguiente. Lo descrito anteriormente se presente en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.87.

**Figura 3.87**

*Diagrama de flujo de la tarea Reseteo fin de mes*



Finalmente, es en el loop del código donde se ejecuta Thingier. Esta plataforma también depende de la conexión a internet para llevar los parámetros o variables a su plataforma. Lo recomendado por la documentación de Thingier es no emplear delays en el loop con la finalidad de evitar errores en la ejecución de Thingier. Si el sistema se desconecta de la red Wifi se detiene también a su vez el servidor de thingier y este solo se reinicia una vez que se retoma la conexión Wifi.

### 3.10. Calibración de sensores

La placa de desarrollo empleada en este proyecto tiene un convertidor analógico digital de 12 bits en un rango de 0 a 3 voltios. Estos valores de tensión pueden ser representados por valores en un rango de 0 a 4095.

Con la finalidad de tener un rango más amplio y mayor precisión se emplea un convertidor analógico digital externo (independiente de la placa de desarrollo) ADS 1115 cuya resolución es de 16 bits. De estos 16 bits solo se disponen 15 bits ya que un bit se utiliza para el signo, teniendo así un rango total de 0 a 32767. Teóricamente hablando para un valor de 0 de tensión o corriente RMS debería de corresponder 16384, pero se han tomado valores calculados de RMS en base a la entrada de ADC y se han comparado estos valores con un instrumento para hacer la calibración.

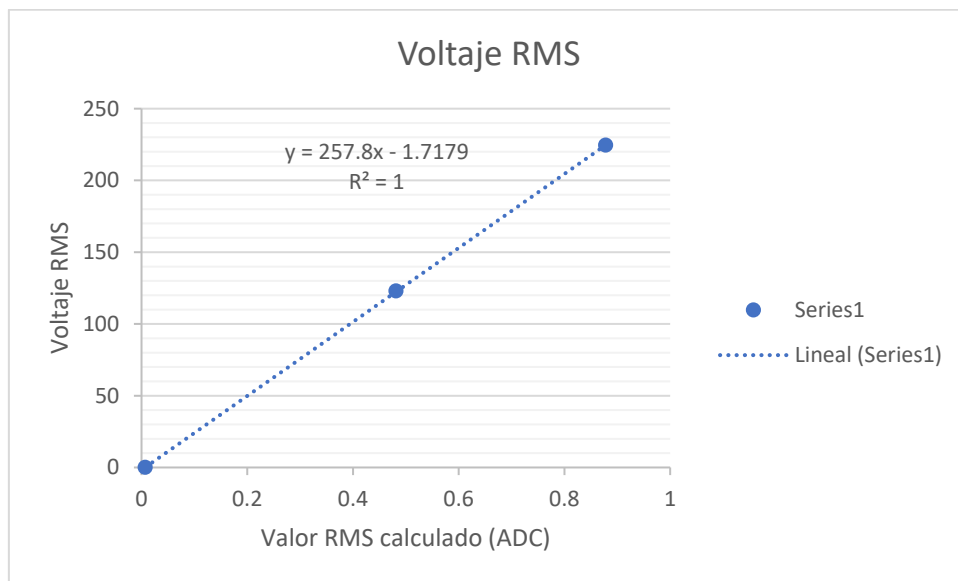
#### 3.10.1. Calibración de Tensión RMS

Se han tomado varios valores RMS calculados (ADC) en función de varias tensiones conocidas para obtener la curva de mejor ajuste que permita determinar la tensión RMS en función del valor calculado. En la Tabla 4 se muestran los valores tomados para cada una de las tensiones de 0, 125.3 y 229.3 voltios.

**Tabla 4**

*Valores de tensión RMS del ADC*

| N        | Valor RMS Calculado (ADC) |            |            |
|----------|---------------------------|------------|------------|
|          | 0V                        | 125.3V     | 229.2V     |
| 1        | 0.00905                   | 0.52784    | 0.93883    |
| 2        | 0.00963                   | 0.5171     | 0.92355    |
| 3        | 0.00938                   | 0.53136    | 0.95979    |
| 4        | 0.00943                   | 0.52691    | 0.94226    |
| 5        | 0.00929                   | 0.51704    | 0.93463    |
| 6        | 0.00958                   | 0.5229     | 0.93847    |
| 7        | 0.00941                   | 0.50917    | 0.92515    |
| 8        | 0.00947                   | 0.53527    | 0.92319    |
| Promedio | 0.00736375                | 0.48186125 | 0.87834475 |

**Figura 3.88**
*Voltaje RMS real vs calculado ADC*


En la Figura 3.88 se observa la curva del voltaje RMS real vs el calculado empleando los valores dados por el ADC. Además, se presenta también en la figura la ecuación que relaciona estas variables y se puede observar que el coeficiente de determinación tiene un valor de 1 indicando que los puntos utilizados para el ajuste lineal se encuentran dentro de la recta. Se observan solo 3 puntos ya que se ha utilizado el promedio de los datos obtenidos para cada valor de tensión probado.

### 3.10.2. Calibración de Corriente RMS

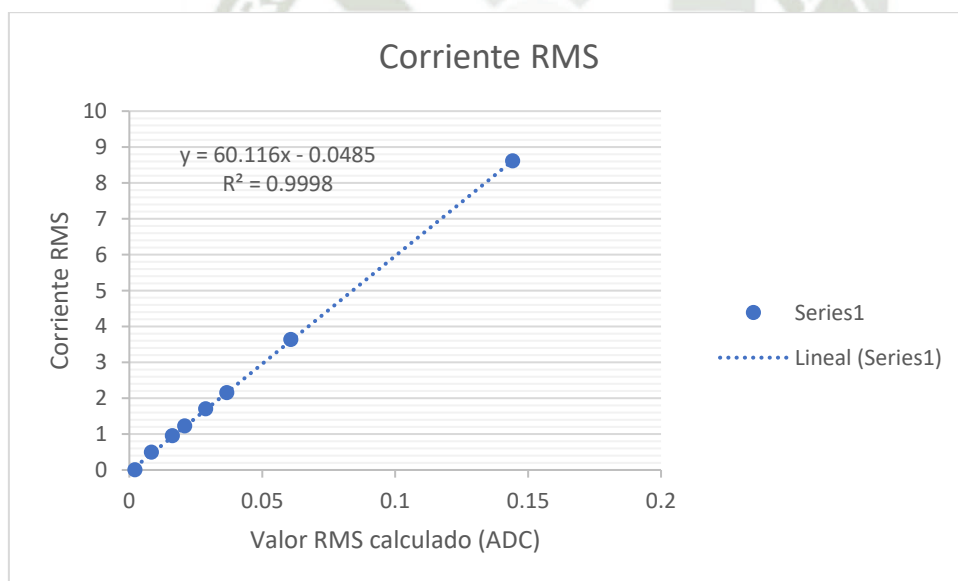
Se han tomado varios valores RMS calculados (ADC) en función de varias corrientes conocidas para obtener la curva de mejor ajuste que permita determinar la corriente RMS en función del valor calculado. En la Tabla 5 se muestran los valores tomados para corrientes de 0, 0.49, 0.95, 1.22, 1.7, 2.15, 3.63 y 8.61 A, estas corrientes se obtuvieron mediante distintas cargas tanto inductivas como activas.



**Tabla 5**
*Valores de corriente RMS del ADC*

| N | Valor RMS Calculado (ADC) |          |          |          |          |          |          |          |
|---|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|   | 0A                        | 0.49A    | 0.95A    | 1.22A    | 1.7A     | 2.15A    | 3.63A    | 8.61A    |
| 1 | 0.002338                  | 0.008439 | 0.016096 | 0.020792 | 0.028693 | 0.036278 | 0.060926 | 0.144541 |
| 2 | 0.00228                   | 0.008254 | 0.016304 | 0.020932 | 0.028858 | 0.036707 | 0.061041 | 0.144958 |
| 3 | 0.001976                  | 0.008388 | 0.016089 | 0.020955 | 0.028459 | 0.036949 | 0.060733 | 0.143589 |
| 4 | 0.001932                  | 0.008391 | 0.016196 | 0.020805 | 0.028887 | 0.036728 | 0.06045  | 0.144165 |
| 5 | 0.002254                  | 0.008322 | 0.01633  | 0.020956 | 0.029072 | 0.036864 | 0.060274 | 0.145275 |
| 6 | 0.002195                  | 0.008344 | 0.016449 | 0.020873 | 0.028877 | 0.036657 | 0.061266 | 0.143004 |
| 7 | 0.002285                  | 0.008372 | 0.016134 | 0.020863 | 0.028743 | 0.036808 | 0.061183 | 0.144081 |
| 8 | 0.002229                  | 0.008319 | 0.016406 | 0.021088 | 0.028824 | 0.037086 | 0.06057  | 0.144641 |

**Figura 3.89** Corriente RMS real vs calculado ADC

*Corriente RMS real vs calculado ADC*


En la Figura 3.89 se observa la curva de corriente RMS real vs el calculado empleando los valores dados por el ADC. Además, se presenta también en la figura la ecuación que relaciona estas variables y se puede observar que el coeficiente de determinación tiene un valor cercano a 1 indicando que los puntos utilizados para el ajuste lineal se encuentran dentro de la recta. Se han utilizado los promedios de cada uno de los valores de corriente par graficar esta recta.

### 3.10.3. Calibración de Potencia Activa

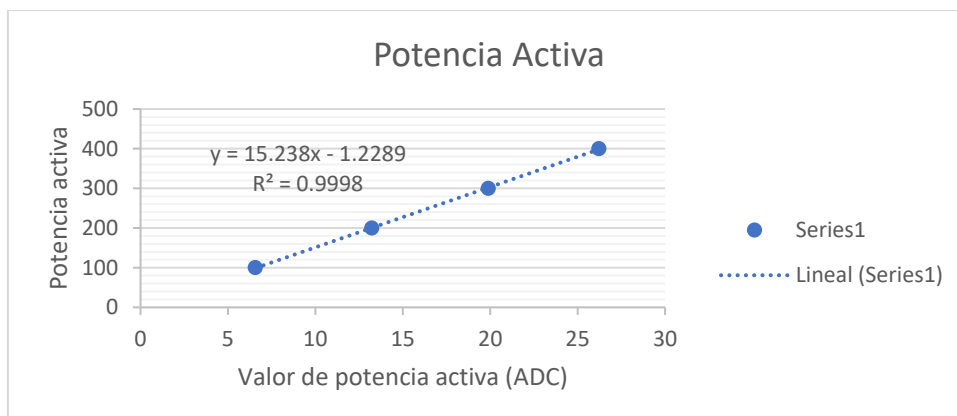
La potencia activa se determina en base a los valores RMS dados por el ADC y se obtiene un valor que no representa ningún valor de potencia activa, sin embargo, se ha probado distintas potencias y se ha comparado los datos obtenidos para determinar la curva de mejor ajuste y poder obtener valores de potencia activa reales. Los datos son registrados y se muestran en la Tabla 6 para potencias activas de 100, 200, 300 y 400 watts.

**Tabla 6**

*Valores de potencia activa del ADC*

| N  | Valor Potencia Activa (ADC) |          |          |          |
|----|-----------------------------|----------|----------|----------|
|    | 100W                        | 200W     | 300W     | 400W     |
| 1  | 6.52145                     | 13.12101 | 19.43467 | 26.18003 |
| 2  | 6.60604                     | 13.2122  | 20.21257 | 26.40748 |
| 3  | 6.55561                     | 12.94026 | 19.81679 | 26.18406 |
| 4  | 6.54344                     | 13.4998  | 19.80808 | 26.79464 |
| 5  | 6.56972                     | 13.21319 | 19.98793 | 26.23514 |
| 6  | 6.57196                     | 13.51955 | 20.26094 | 26.15356 |
| 7  | 6.61649                     | 13.36405 | 19.687   | 25.82198 |
| 8  | 6.57102                     | 13.26098 | 19.83114 | 26.06911 |
| 9  | 6.5751                      | 13.25864 | 20.19616 | 26.4252  |
| 10 | 6.6344                      | 13.01106 | 19.80037 | 25.99395 |

En la Figura 3.90 se observa un ajuste lineal que ha sido aplicado a cada uno de los promedios de las potencias mostradas en la tabla anterior. El coeficiente de determinación es cercano a 1 indicando que existe una buena relación entre los valores presentados. Con la ecuación mostrada en la figura podemos determinar el valor de potencia activa real en el sistema.

**Figura 3.90**
*Potencia activa real vs calculado ADC*


### 3.11. Plataforma Thinger.io

Cumpliendo con los alcances del proyecto es necesario emplear una plataforma IoT para conectar el medidor a internet y visualizar los parámetros del mismo en una computadora, smartphone o Tablet. Thinger nos permite agregar hasta un máximo de 2 dispositivos en la versión gratuita. Para ello es necesario ingresar un nombre representativo al dispositivo y generar una credencial única de forma que pueda establecer comunicación con la plataforma.

**Figura 3.91**
*Medidor agregado en la plataforma IoT*

| + Add Device    ↻ Refresh                                                         |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> Device                                                   | Description            |
| <input checked="" type="checkbox"/> <b>Smart Meter Tesis</b><br>SMART_METER_ESP32 | Proyecto de Tesis UCSM |
| Showing 1 device                                                                  |                        |

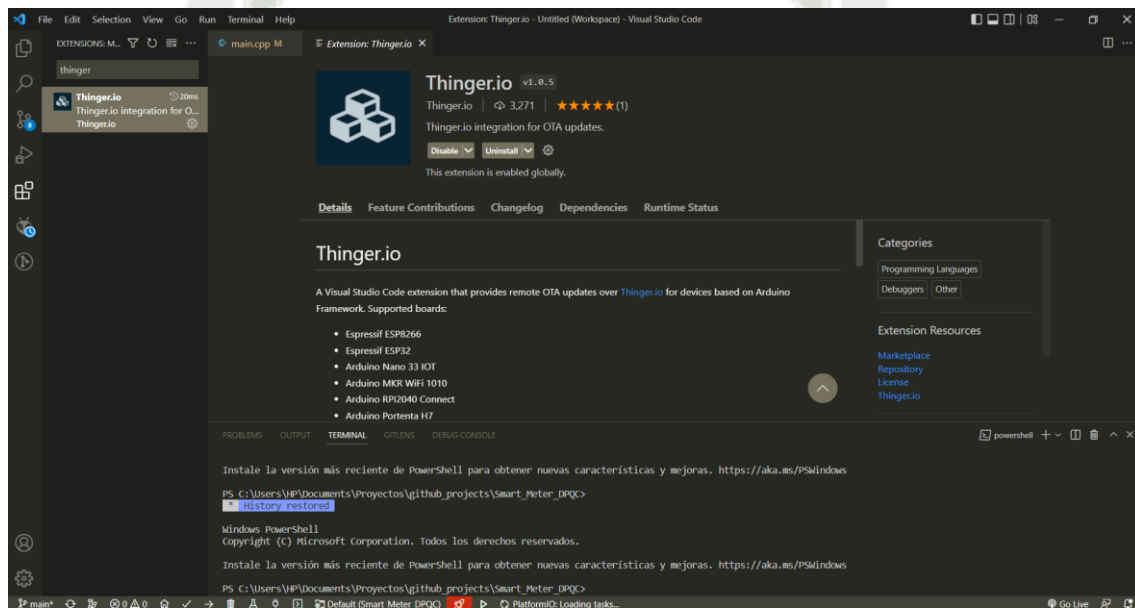
Una vez que se ha agregado el dispositivo en thinger ya se pueden emplear el resto de herramientas que brinda la plataforma. En su versión gratuita ofrece 4 dashboard (interfaz gráfica), 4 data buckets (histórico de datos) y 4 endpoints (punto de acceso a un servicio, proceso u otro destino).

### 3.11.1. Over the air (OTA)

Dentro de las herramientas que permite el uso de thinger es la actualización de firmware a través de internet. Para ello es necesario instalar una extensión de thinger en visual studio y vincular el dispositivo mediante la credencial del mismo.

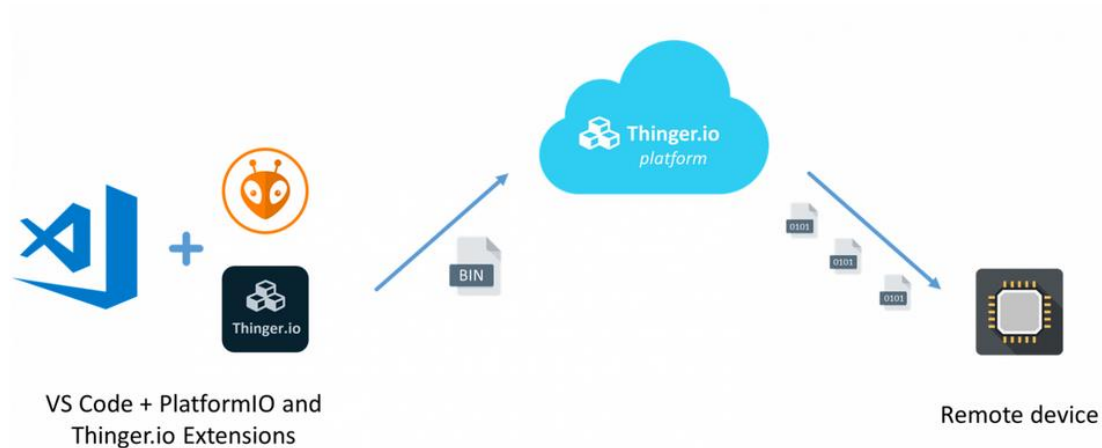
**Figura 3.92**

*Extensión de thinger.io en visual studio*



La ventaja que supone esto es la distribución de distintos productos a los consumidores y la actualización del firmware de los mismos en tiempo real y sin requerir tener el dispositivo físicamente ya que la actualización se hace a través de internet. La ventaja que supone el uso de OTA es también a su vez una desventaja puesto que depende de una comunicación constante con internet, la inexistencia de este podría dejar al dispositivo con un firmware desactualizado.



**Figura 3.93**
*Funcionamiento de OTA*


Se puede observar en la Figura 3.93 el procedimiento que se sigue cuando se desea actualizar el firmware de un dispositivo de forma remota. En visual studio se emplea la extensión de thinger.io y se carga el archivo a la nube de thinger.io en un formato BIN, posteriormente desde la nube de thinger se envía el nuevo firmware al dispositivo remoto y todo esto a través de internet. Cualquier cambio en la conectividad del dispositivo a internet o interrupción repentina del mismo podría ocasionar fallos en el firmware del dispositivo e impedir su actualización remota.

### 3.11.2. Dashboard

El dashboard dentro de la plataforma de thinger es la interfaz gráfica para los usuarios finales (consumidores) del dispositivo. Se pueden agregar distintas opciones de visualización y control de datos que van desde texto, botones, barras, etc.

En este proyecto se ha diseñado una interfaz para el usuario considerando los siguientes aspectos:

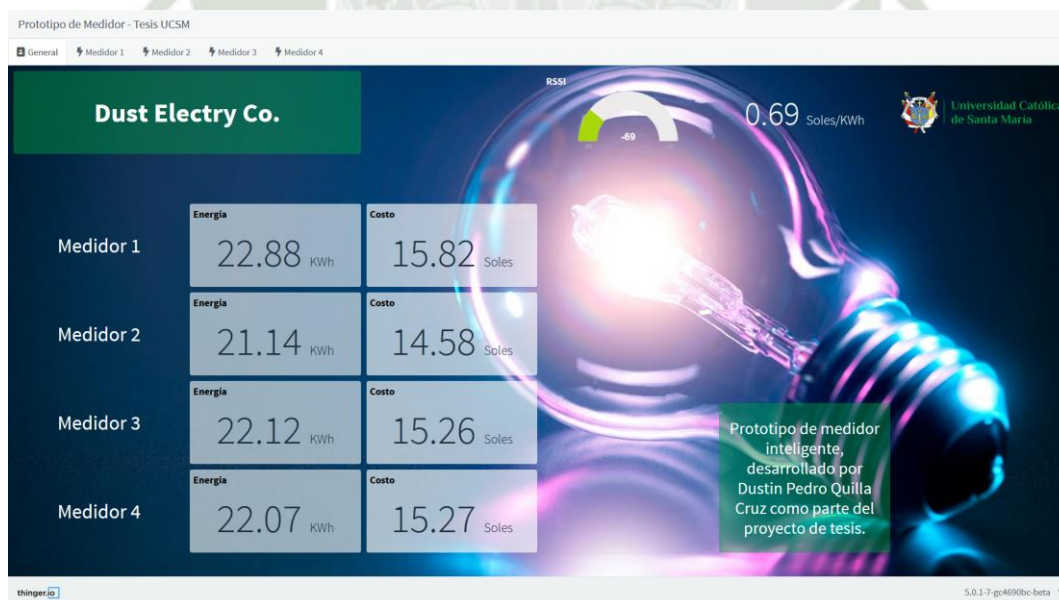
- Una pantalla general para mostrar la energía consumida, el costo del KWh y el costo final.

- 4 pestañas para cada uno de los medidores en los que se muestre información más detallada como: voltaje, corriente, potencia activa, histórico de consumo en las últimas horas.
- El tiempo de actualización de los valores debe ser de 5 segundos para los valores principales (tipo texto).
- El acceso al dashboard debe poder realizarse desde cualquier computadora, para lo cual es necesario generar un link y poder compartir el acceso de esta información con el usuario final.

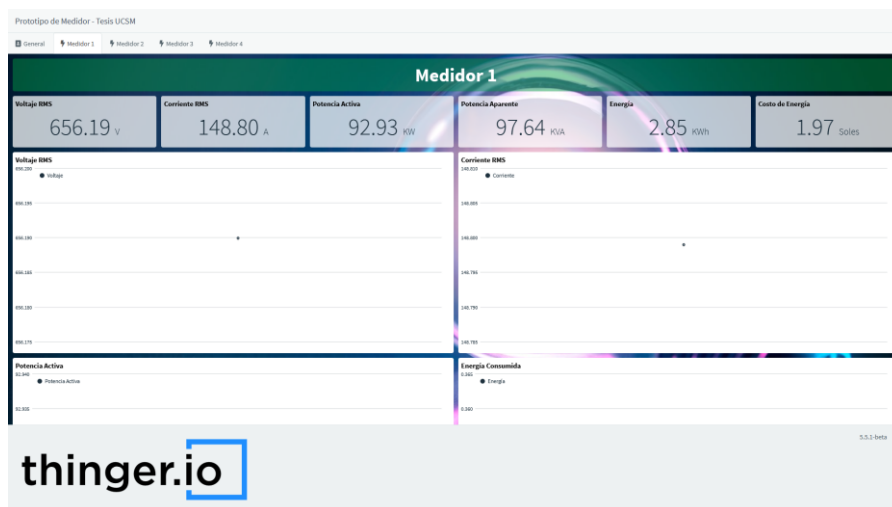
Siguiendo los requerimientos previamente especificados se diseña e implementa la pantalla general de la plataforma IoT para el prototipo de medidor, esta interfaz se muestra en la siguiente figura:

**Figura 3.94** Pantalla principal de la interfaz en Thinger para el medidor

*Pantalla principal de la interfaz en Thinger para el medidor*

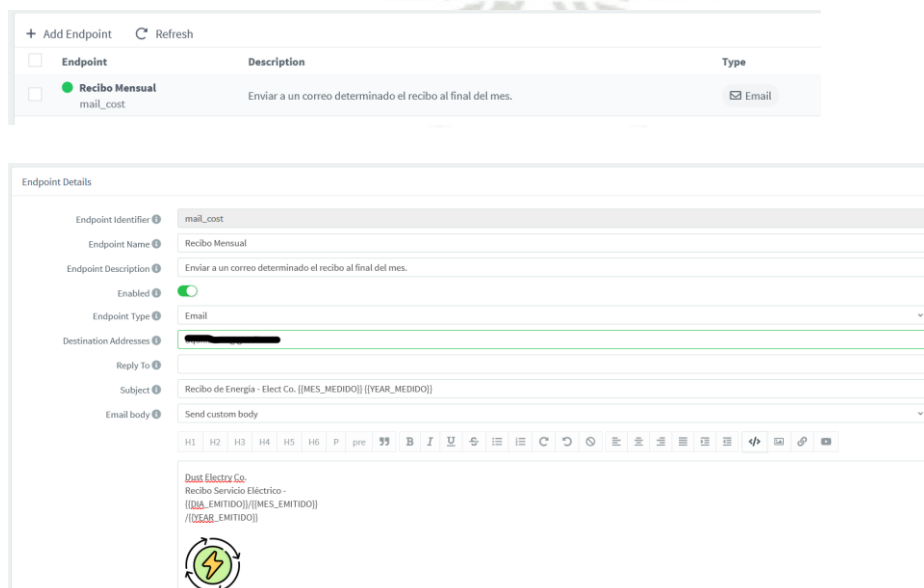


Asimismo, también se han implementado las pestañas con la información de cada uno de los medidores, en los cuales también se pueden observar gráficas en tiempo real con el histórico de consumo, corriente, tensión y potencia activa.

**Figura 3.95**
*Parámetros del medidor 1 en la plataforma IoT*


### 3.11.3. Endpoint

El endpoint que se ha implementado en el proyecto es el uso de un servicio de correo con la finalidad de enviar al usuario del medidor la información del consumo del mes que se facture. En la plataforma de thinger se puede configurar este endpoint de tipo email, se selecciona un destinatario y el contenido del mensaje tal y como se muestran en la siguiente figura:

**Figura 3.96**
*Configuración de endpoint (email)*




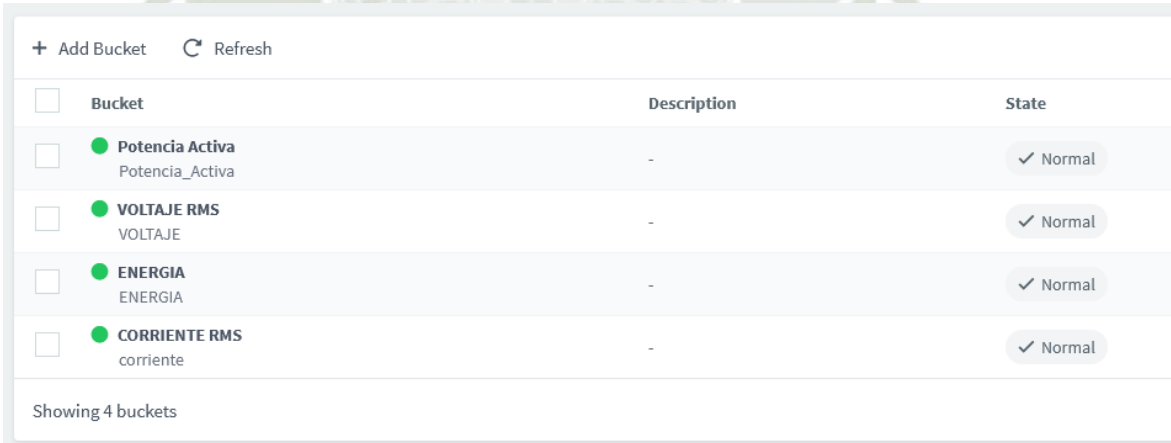
La ejecución de este endpoint se da mediante código y se envía el mensaje una vez que el mes termina, se pueden seleccionar múltiples destinatarios y cada endpoint está asociado a su vez con un dispositivo. El proyecto en este sentido es escalable ya que se pueden gestionar distintos dispositivos y tener diferentes clientes y enviar incluso los correos con nombres personalizados.

### 3.11.4. Data Buckets

Finalmente, una de las herramientas que brinda thinger es el uso de data buckets, los cuales permiten almacenar los valores del medidor en tiempo real cada cierta cantidad de tiempo. Estos parámetros se guardan con el objetivo de tener un histórico de voltaje, corriente, potencia activa y energía. Esta información se presenta en forma de gráficas en el dashboard del usuario.

**Figura 3.97** Data buckets agregados al proyecto

*Data buckets agregados al proyecto*



| <input type="checkbox"/> | Bucket                                    | Description | State    |
|--------------------------|-------------------------------------------|-------------|----------|
| <input type="checkbox"/> | <b>Potencia Activa</b><br>Potencia_Activa | -           | ✓ Normal |
| <input type="checkbox"/> | <b>VOLTAJE RMS</b><br>VOLTAJE             | -           | ✓ Normal |
| <input type="checkbox"/> | <b>ENERGIA</b><br>ENERGIA                 | -           | ✓ Normal |
| <input type="checkbox"/> | <b>CORRIENTE RMS</b><br>corriente         | -           | ✓ Normal |

Showing 4 buckets

En la Figura 3.97 se observan los data buckets agregados al proyecto, como máximo en la versión gratuita de thinger se pueden tener 4 data buckets. La información contenida en los data buckets se guarda en forma de tabla e incluso thinger permite exportarlos en formato .CSV para el tratamiento respectivo.





## **CAPÍTULO IV**

# **PRUEBAS Y RESULTADOS**

## 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

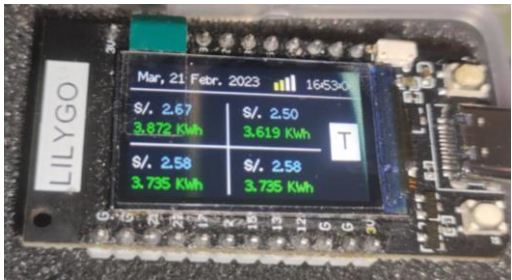
### 4.1. Pantallas del Medidor

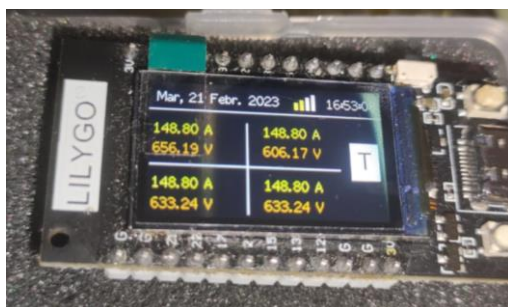
Para alternar entre las distintas pantallas del medidor de energía se usan los botones que ya trae la placa de desarrollo. El botón superior permite alternar entre las diferentes pantallas y el botón inferior alternar entre los diferentes medidores incorporados en el sistema, es decir, medidor 1, medidor 2, medidor 3 y medidor 4. Sin importar la pantalla que se esté visualizando siempre se tendrá la fecha y hora disponibles en la parte superior. También se presenta información acerca del estado de la señal de la conexión a internet mediante 4 barras.

Las distintas pantallas que se pueden visualizar en el medidor, así como una descripción de la misma se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 7**

*Pantallas de Medidor*

| Pantalla                                                                            | Descripción                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Pantalla principal del medidor en la que se muestra el costo en soles y la energía consumida en KWh. El número uno mostrado al lado derecho indica que se está visualizando los datos del medidor 1.              |
|  | Pantalla que muestra el costo en soles y la energía consumida en KWh de todos los medidores del sistema. La letra T mostrada en el lado derecho indica que se está visualizando los datos de todos los medidores. |



Pantalla que muestra la corriente y voltaje RMS en voltios y amperios respectivamente. La letra T mostrada en el lado derecho indica que se está visualizando los datos de todos los medidores.



En esta pantalla se muestra la corriente y voltaje RMS para el medidor 1. También debajo de estos parámetros se tiene la potencia activa expresada en KW.



Se muestra el consumo de energía en KWh de los últimos 5 meses. En este caso se visualiza la información del medidor 3.



En esta pantalla se muestra la información de la tarjeta SD insertada en el sistema. Se puede visualizar el estado (detectado o no), tipo de memoria y la capacidad de esta.



En la última pantalla se presenta la información referente al proyecto, es decir, nombre del proyecto, nombre del bachiller y el nombre del asesor.



## 4.2. Medidas de tensión

Para realizar las medidas de tensión se han tomado 30 muestras con un intervalo de 5 segundos por cada muestra tal y como se observa en la Tabla 8. Se compara las medidas obtenidas por el prototipo de medidor y un voltímetro.

**Tabla 8**

*Datos de voltaje RMS*

| N        | Tiempo (s) | Voltaje RMS    |                         |
|----------|------------|----------------|-------------------------|
|          |            | Voltímetro (V) | Medidor Inteligente (V) |
| 1        | 0          | 222.2          | 225.48                  |
| 2        | 5          | 222.2          | 224.81                  |
| 3        | 10         | 222.6          | 227.97                  |
| 4        | 15         | 222.6          | 223.4                   |
| 5        | 20         | 222.5          | 224.75                  |
| 6        | 25         | 222.5          | 218.88                  |
| 7        | 30         | 222.8          | 223.45                  |
| 8        | 35         | 222.8          | 224.34                  |
| 9        | 40         | 220.4          | 223.42                  |
| 10       | 45         | 220.5          | 218.37                  |
| 11       | 50         | 222.8          | 221.55                  |
| 12       | 55         | 223            | 225.5                   |
| 13       | 60         | 222.8          | 233.84                  |
| 14       | 65         | 222.6          | 223.3                   |
| 15       | 70         | 222.7          | 223.17                  |
| 16       | 75         | 222.8          | 224.59                  |
| 17       | 80         | 222.7          | 224.58                  |
| 18       | 85         | 223.1          | 226.47                  |
| 19       | 90         | 223            | 224.89                  |
| 20       | 95         | 223.2          | 223.87                  |
| 21       | 100        | 222.6          | 225.16                  |
| 22       | 105        | 222.7          | 224.23                  |
| 23       | 110        | 222.8          | 223.72                  |
| 24       | 115        | 222.5          | 225.5                   |
| 25       | 120        | 222.6          | 221.01                  |
| 26       | 125        | 222.7          | 224.8                   |
| 27       | 130        | 222.8          | 226.36                  |
| 28       | 135        | 222.9          | 223.36                  |
| 29       | 140        | 223            | 224.65                  |
| 30       | 145        | 222.9          | 226.09                  |
| Promedio |            | 222.5766667    | 224.3836667             |



En la prueba de voltaje RMS observamos que el promedio de voltaje obtenido mediante el voltímetro fue de 222.57 Voltios, mientras que el promedio de lecturas obtenidas mediante el prototipo de medidor fue de 224.38 Voltios obteniendo un error absoluto de 1.8 Voltios respecto al promedio de las medidas. Se calcula el error absoluto y relativo en la Tabla 9 de cada uno de los 30 datos obtenidos y posteriormente la desviación estándar en la Tabla 10.

**Tabla 9**

*Cálculo de error Absoluto y Relativo de voltaje RMS*

| N° | Error          |                |
|----|----------------|----------------|
|    | Error Absoluto | Error Relativo |
| 1  | 3.28           | 1.476%         |
| 2  | 2.61           | 1.175%         |
| 3  | 5.37           | 2.412%         |
| 4  | 0.8            | 0.359%         |
| 5  | 2.25           | 1.011%         |
| 6  | 3.62           | 1.627%         |
| 7  | 0.65           | 0.292%         |
| 8  | 1.54           | 0.691%         |
| 9  | 3.02           | 1.370%         |
| 10 | 2.13           | 0.966%         |
| 11 | 1.25           | 0.561%         |
| 12 | 2.5            | 1.121%         |
| 13 | 11.04          | 4.955%         |
| 14 | 0.7            | 0.314%         |
| 15 | 0.47           | 0.211%         |
| 16 | 1.79           | 0.803%         |
| 17 | 1.88           | 0.844%         |
| 18 | 3.37           | 1.511%         |
| 19 | 1.89           | 0.848%         |
| 20 | 0.67           | 0.300%         |
| 21 | 2.56           | 1.150%         |
| 22 | 1.53           | 0.687%         |
| 23 | 0.92           | 0.413%         |
| 24 | 3              | 1.348%         |
| 25 | 1.59           | 0.714%         |
| 26 | 2.1            | 0.943%         |
| 27 | 3.56           | 1.598%         |
| 28 | 0.46           | 0.206%         |
| 29 | 1.65           | 0.740%         |
| 30 | 3.19           | 1.431%         |

**Tabla 10**
*Cálculo de desviación estándar de voltaje RMS*

| N     | x-x' Voltímetro | (x-x') <sup>2</sup> Voltímetro | x-x' Medidor | (x-x') <sup>2</sup> Medidor |
|-------|-----------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|
| 1     | -0.376666667    | 0.141877778                    | 1.096333333  | 1.201946778                 |
| 2     | -0.376666667    | 0.141877778                    | 0.426333333  | 0.181760111                 |
| 3     | 0.023333333     | 0.000544444                    | 3.586333333  | 12.86178678                 |
| 4     | 0.023333333     | 0.000544444                    | -0.983666667 | 0.967600111                 |
| 5     | -0.076666667    | 0.005877778                    | 0.366333333  | 0.134200111                 |
| 6     | -0.076666667    | 0.005877778                    | -5.503666667 | 30.29034678                 |
| 7     | 0.223333333     | 0.049877778                    | -0.933666667 | 0.871733444                 |
| 8     | 0.223333333     | 0.049877778                    | -0.043666667 | 0.001906778                 |
| 9     | -2.176666667    | 4.737877778                    | -0.963666667 | 0.928653444                 |
| 10    | -2.076666667    | 4.312544444                    | -6.013666667 | 36.16418678                 |
| 11    | 0.223333333     | 0.049877778                    | -2.833666667 | 8.029666778                 |
| 12    | 0.423333333     | 0.179211111                    | 1.116333333  | 1.246200111                 |
| 13    | 0.223333333     | 0.049877778                    | 9.456333333  | 89.42224011                 |
| 14    | 0.023333333     | 0.000544444                    | -1.083666667 | 1.174333444                 |
| 15    | 0.123333333     | 0.015211111                    | -1.213666667 | 1.472986778                 |
| 16    | 0.223333333     | 0.049877778                    | 0.206333333  | 0.042573444                 |
| 17    | 0.123333333     | 0.015211111                    | 0.196333333  | 0.038546778                 |
| 18    | 0.523333333     | 0.273877778                    | 2.086333333  | 4.352786778                 |
| 19    | 0.423333333     | 0.179211111                    | 0.506333333  | 0.256373444                 |
| 20    | 0.623333333     | 0.388544444                    | -0.513666667 | 0.263853444                 |
| 21    | 0.023333333     | 0.000544444                    | 0.776333333  | 0.602693444                 |
| 22    | 0.123333333     | 0.015211111                    | -0.153666667 | 0.023613444                 |
| 23    | 0.223333333     | 0.049877778                    | -0.663666667 | 0.440453444                 |
| 24    | -0.076666667    | 0.005877778                    | 1.116333333  | 1.246200111                 |
| 25    | 0.023333333     | 0.000544444                    | -3.373666667 | 11.38162678                 |
| 26    | 0.123333333     | 0.015211111                    | 0.416333333  | 0.173333444                 |
| 27    | 0.223333333     | 0.049877778                    | 1.976333333  | 3.905893444                 |
| 28    | 0.323333333     | 0.104544444                    | -1.023666667 | 1.047893444                 |
| 29    | 0.423333333     | 0.179211111                    | 0.266333333  | 0.070933444                 |
| 30    | 0.323333333     | 0.104544444                    | 1.706333333  | 2.911573444                 |
| Total |                 | 11.17366667                    | Total        | 211.7078967                 |

**Desviación Estándar (Voltímetro) 0.62072446**
**Desviación Estándar (Medidor) 2.70190161**

Con los datos obtenidos y observando la desviación estándar obtenida para el medidor se concluye que las mediciones de voltaje RMS realizadas por el medidor son muy variables

con respecto al voltímetro, sin embargo, el error relativo presentado en las lecturas fue menor al 1.5% en la mayoría de los casos.

### 4.3. Medidas de Corriente

Se han tomado 30 muestras con un intervalo de 5 segundos como se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Datos de Corriente RMS*

| N        | Tiempo (s) | Corriente RMS |             |
|----------|------------|---------------|-------------|
|          |            | Pinza Amp.    | Medidor     |
| 1        | 0          | 2.27          | 2.21        |
| 2        | 5          | 2.27          | 2.226       |
| 3        | 10         | 2.27          | 2.2066      |
| 4        | 15         | 2.27          | 2.244       |
| 5        | 20         | 2.27          | 2.207       |
| 6        | 25         | 2.27          | 2.226       |
| 7        | 30         | 2.27          | 2.239       |
| 8        | 35         | 2.27          | 2.214       |
| 9        | 40         | 2.27          | 2.254       |
| 10       | 45         | 2.27          | 2.192       |
| 11       | 50         | 2.27          | 2.225       |
| 12       | 55         | 2.27          | 2.213       |
| 13       | 60         | 2.27          | 2.2023      |
| 14       | 65         | 2.27          | 2.177       |
| 15       | 70         | 2.27          | 2.217       |
| 16       | 75         | 2.27          | 2.217       |
| 17       | 80         | 2.27          | 2.21        |
| 18       | 85         | 2.27          | 2.211       |
| 19       | 90         | 2.27          | 2.213       |
| 20       | 95         | 2.27          | 2.209       |
| 21       | 100        | 2.27          | 2.165       |
| 22       | 105        | 2.27          | 2.213       |
| 23       | 110        | 2.27          | 2.224       |
| 24       | 115        | 2.27          | 2.206       |
| 25       | 120        | 2.27          | 2.199       |
| 26       | 125        | 2.27          | 2.2033      |
| 27       | 130        | 2.27          | 2.208       |
| 28       | 135        | 2.27          | 2.215       |
| 29       | 140        | 2.27          | 2.214       |
| 30       | 145        | 2.27          | 2.206       |
| PROMEDIO |            | 2.27          | 2.212206667 |

Se compara las medidas del prototipo de medidor implementado con una pinza amperimétrica con la finalidad de obtener las diferencias en las lecturas.

En las medidas realizadas de corriente RMS en la Tabla 11 observamos que el promedio de corriente obtenido mediante la pinza amperimétrica fue de 2.27 Amperios, mientras que el promedio de lecturas obtenidas mediante el prototipo de medidor fue de 2.21 Amperios obteniendo un error absoluto de 0.06 Amperios. Se procede a calcular el error absoluto y relativo en la Tabla 12 de cada uno de los 30 datos obtenidos y posteriormente la desviación estándar.

**Tabla 12**

*Cálculo de error Absoluto y Relativo de corriente RMS*

| N° | Error          |                |
|----|----------------|----------------|
|    | Error Absoluto | Error Relativo |
| 1  | 0.06           | 2.643%         |
| 2  | 0.044          | 1.938%         |
| 3  | 0.0634         | 2.793%         |
| 4  | 0.026          | 1.145%         |
| 5  | 0.063          | 2.775%         |
| 6  | 0.044          | 1.938%         |
| 7  | 0.031          | 1.366%         |
| 8  | 0.056          | 2.467%         |
| 9  | 0.016          | 0.705%         |
| 10 | 0.078          | 3.436%         |
| 11 | 0.045          | 1.982%         |
| 12 | 0.057          | 2.511%         |
| 13 | 0.0677         | 2.982%         |
| 14 | 0.093          | 4.097%         |
| 15 | 0.053          | 2.335%         |
| 16 | 0.053          | 2.335%         |
| 17 | 0.06           | 2.643%         |
| 18 | 0.059          | 2.599%         |
| 19 | 0.057          | 2.511%         |
| 20 | 0.061          | 2.687%         |
| 21 | 0.105          | 4.626%         |
| 22 | 0.057          | 2.511%         |
| 23 | 0.046          | 2.026%         |
| 24 | 0.064          | 2.819%         |
| 25 | 0.071          | 3.128%         |



|    |        |        |
|----|--------|--------|
| 26 | 0.0667 | 2.938% |
| 27 | 0.062  | 2.731% |
| 28 | 0.055  | 2.423% |
| 29 | 0.056  | 2.467% |
| 30 | 0.064  | 2.819% |

En la Tabla 12 los errores obtenidos nos permiten saber que tan desfasadas están las lecturas respecto de las lecturas que brinda la pinza amperimétrica. Asimismo, estos errores nos permiten determinar la desviación estándar mostrada en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Cálculo de desviación estándar de corriente RMS*

| N  | x-x' Pinza Amp. | (x-x')^2 Pinza Amp. | x-x' Medidor | (x-x')^2 Medidor |
|----|-----------------|---------------------|--------------|------------------|
| 1  | 0               | 0                   | -0.002206667 | 4.86938E-06      |
| 2  | 0               | 0                   | 0.013793333  | 0.000190256      |
| 3  | 0               | 0                   | -0.005606667 | 3.14347E-05      |
| 4  | 0               | 0                   | 0.031793333  | 0.001010816      |
| 5  | 0               | 0                   | -0.005206667 | 2.71094E-05      |
| 6  | 0               | 0                   | 0.013793333  | 0.000190256      |
| 7  | 0               | 0                   | 0.026793333  | 0.000717883      |
| 8  | 0               | 0                   | 0.001793333  | 3.21604E-06      |
| 9  | 0               | 0                   | 0.041793333  | 0.001746683      |
| 10 | 0               | 0                   | -0.020206667 | 0.000408309      |
| 11 | 0               | 0                   | 0.012793333  | 0.000163669      |
| 12 | 0               | 0                   | 0.000793333  | 6.29378E-07      |
| 13 | 0               | 0                   | -0.009906667 | 9.8142E-05       |
| 14 | 0               | 0                   | -0.035206667 | 0.001239509      |
| 15 | 0               | 0                   | 0.004793333  | 2.2976E-05       |
| 16 | 0               | 0                   | 0.004793333  | 2.2976E-05       |
| 17 | 0               | 0                   | -0.002206667 | 4.86938E-06      |
| 18 | 0               | 0                   | -0.001206667 | 1.45604E-06      |
| 19 | 0               | 0                   | 0.000793333  | 6.29378E-07      |
| 20 | 0               | 0                   | -0.003206667 | 1.02827E-05      |
| 21 | 0               | 0                   | -0.047206667 | 0.002228469      |
| 22 | 0               | 0                   | 0.000793333  | 6.29378E-07      |
| 23 | 0               | 0                   | 0.011793333  | 0.000139083      |
| 24 | 0               | 0                   | -0.006206667 | 3.85227E-05      |
| 25 | 0               | 0                   | -0.013206667 | 0.000174416      |
| 26 | 0               | 0                   | -0.008906667 | 7.93287E-05      |
| 27 | 0               | 0                   | -0.004206667 | 1.7696E-05       |
| 28 | 0               | 0                   | 0.002793333  | 7.80271E-06      |
| 29 | 0               | 0                   | 0.001793333  | 3.21604E-06      |
| 30 | 0               | 0                   | -0.006206667 | 3.85227E-05      |

## **Desviación Estándar**

**0**

**(Voltímetro)**

**Desviación Estándar (Medidor) 0.017244**

Con los datos obtenidos de la Tabla 13 y observando la desviación estándar obtenida para el medidor se concluye que las mediciones de corriente RMS realizadas por el medidor no presentan muchas variaciones con respecto a la pinza Amperimétrica ya que la desviación estándar en ambos casos es cercana a cero.

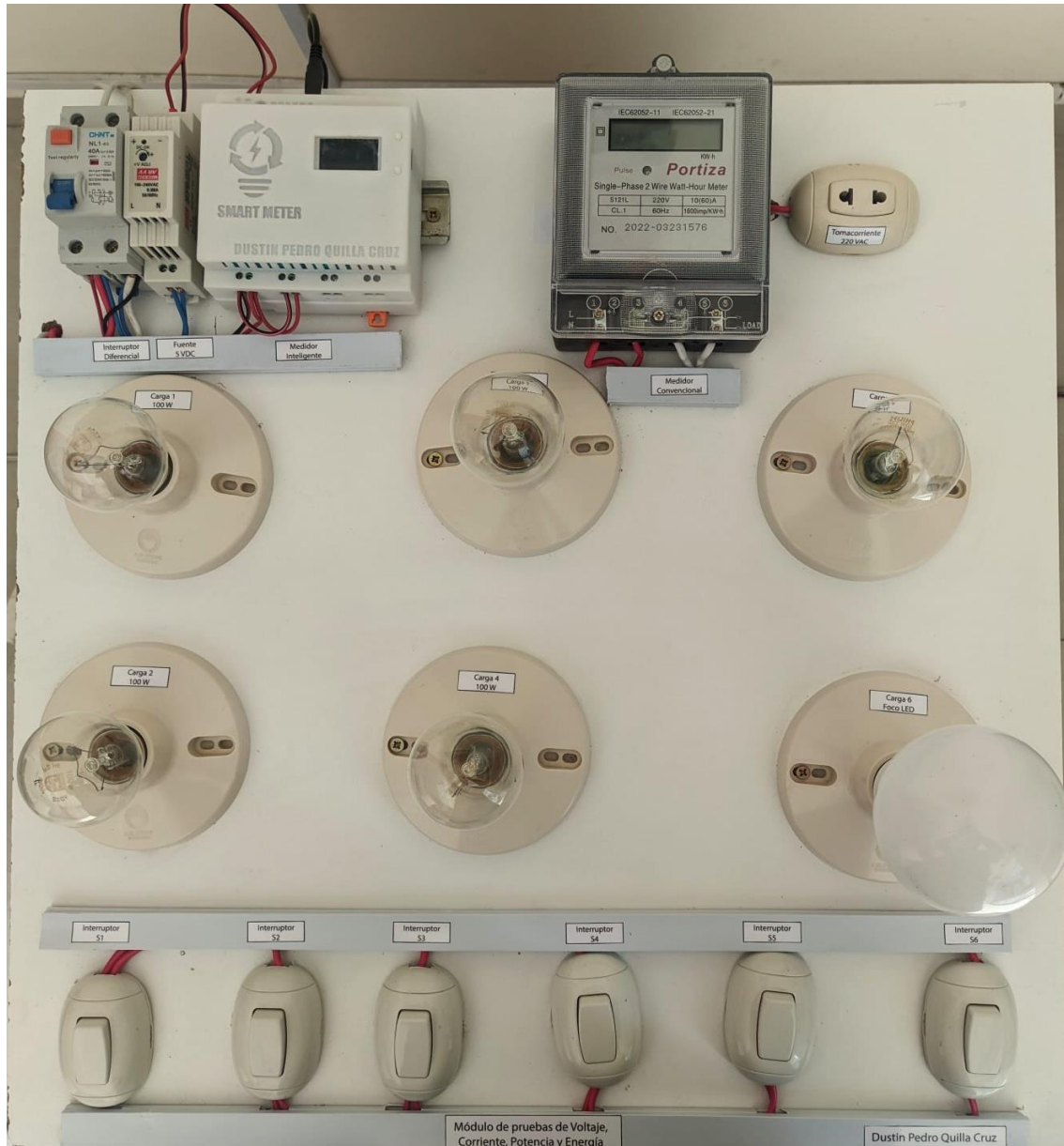
### **4.4. Medidas de Energía**

Para realizar las pruebas de medición de energía se ha construido un módulo de pruebas el cual incluye:

- 04 focos incandescentes de 100W
- 01 foco incandescente de 50 W
- 01 foco Led
- 01 tomacorriente monofásico
- 06 interruptores simples (para encendido y apagado de los focos)
- 01 medidor Convencional de Energía

**Figura 4.1**

*Módulo de pruebas*



Cuando se encienden los focos del modulo se tiene una corriente de 2.24 Amperios aproximadamente. Si la tensión se supone que se mantiene a 220 Voltios, daría como resultado una potencia activa de 492.8 Watts.

**Figura 4.2**

*Prueba con todos los focos encendidos*

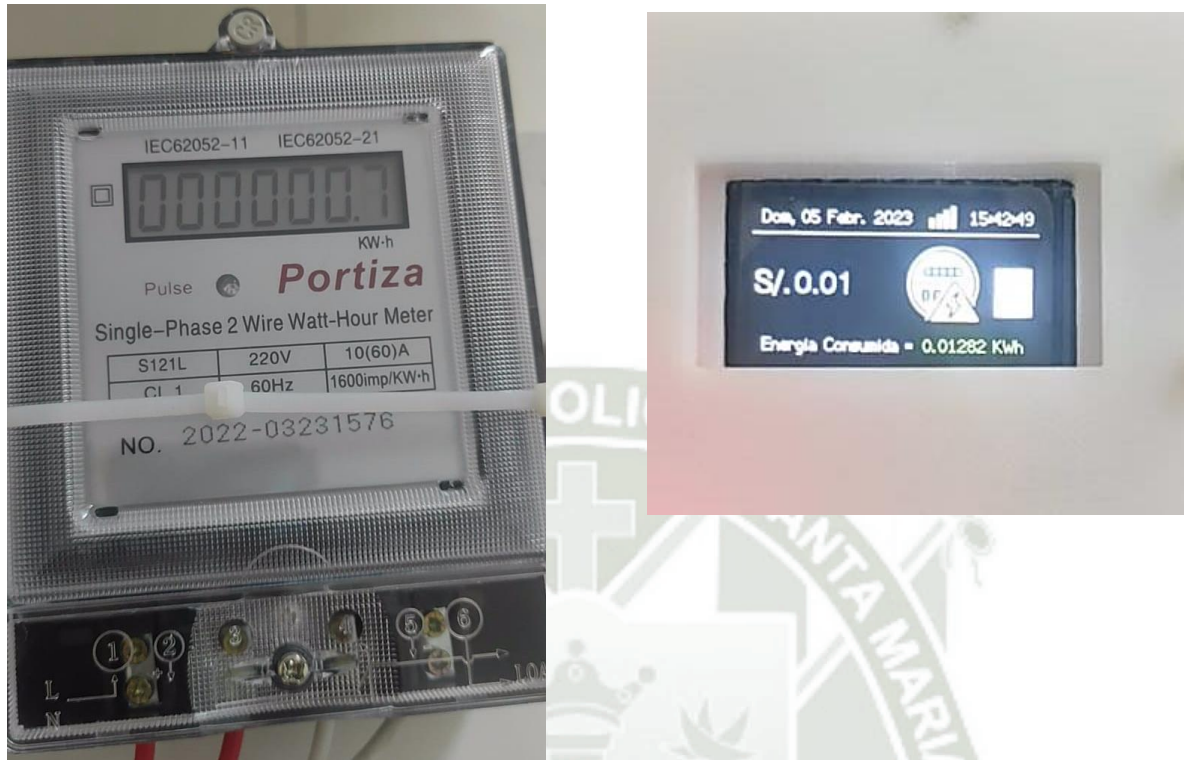


Si se mantiene esta potencia por un tiempo de 2 horas teóricamente se debería tener 0.9856 KWh. Se realiza esta prueba y a continuación se presentan los resultados:



**Figura 4.3**

*Lectura inicial a) Medidor Convencional b) Medidor implementado*



En la Figura 4.3 tenemos las lecturas iniciales:

- Medidor convencional (0.7 KWh)
- Medidor implementado (0.01282 KWh)

De acuerdo a lo descrito anteriormente al cabo de 2 horas las nuevas lecturas teóricas en los equipos deberían ser:

- Medidor convencional (1.6856 KWh)
- Medidor implementado (0.9984 KWh)

**Figura 4.4**

*Lectura Final a) Medidor Convencional b) Medidor implementado*



En la Figura 4.4 tenemos las lecturas finales:

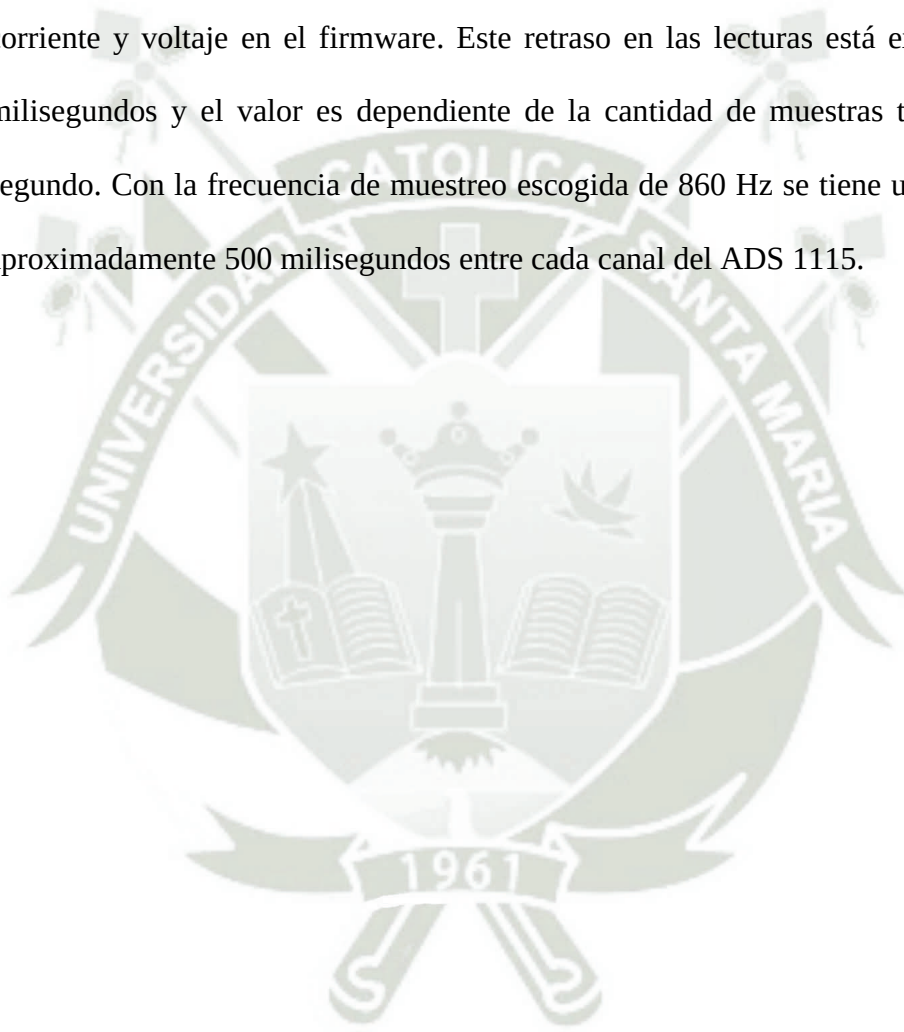
- Medidor convencional (1.7 KWh)
- Medidor implementado (1.05807 KWh)

De acuerdo a las lecturas obtenidas, podemos concluir que los valores reales, se aproximan a los teóricos, siendo el error de 0.0144 KWh para el medidor convencional y 0.059KWh para el medidor implementado, todo con respecto al valor teórico.

## CONCLUSIONES

- Se logró el diseño de un prototipo de medidor inteligente basado en ESP32, teniendo como resultado un medidor que registra el consumo de energía por medio de transformadores de corriente SCT013 y voltaje ZMPT101B no invasivos. Este medidor muestra los valores de voltaje RMS, corriente RMS y potencia activa consumida a través de la plataforma IoT Thinger en tiempo real.
- El uso de endpoints en la plataforma IoT permite conectarse con servicios adicionales como correos electrónicos, telegram, etc. brindando al usuario una posibilidad de visualizar su gasto total mensual. La plataforma IoT Thinger brinda al usuario una interfaz gráfica con la que el usuario puede interactuar para visualizar su consumo y costo en cada instante de tiempo.
- Se han probado cargas activas e inductivas de uso doméstico como plancha, licuadora, horno microondas, secadora de pelo, taladro y focos incandescentes para calibrar la medición de corriente RMS obteniendo un error absoluto de 0.06 A respecto al promedio de las medidas para 30 muestras.
- El medidor implementado tiene variaciones en las mediciones de tensión con un error absoluto de 1.8 Voltios en promedio, presentando una desviación estándar respecto a los datos del prototipo de 2.7, sin embargo, el error relativo es menor al 1.5% para las 30 muestras.
- El uso de OTA permite a la empresa distribuidora de energía la actualización del firmware posterior a la adquisición del producto, la cual puede ser realizada vía internet. Los cambios en el firmware implican: Calibración de los sensores, interfaz del usuario del prototipo de medidor inteligente, frecuencia de muestreo.

- De acuerdo al análisis de los datos y pruebas realizadas en el módulo implementado con diferentes cargas resistivas e inductivas de uso doméstico, se obtuvo un error de  $\pm 1.8$  voltios y  $\pm 0.06$  amperios para 30 muestras.
- La multiplexación realizada y el algoritmo implementado para leer los 4 diferentes canales del ADS 1115 generan demora y retraso en la lectura de los sensores de corriente y voltaje en el firmware. Este retraso en las lecturas está expresado en milisegundos y el valor es dependiente de la cantidad de muestras tomadas por segundo. Con la frecuencia de muestreo escogida de 860 Hz se tiene un retraso de aproximadamente 500 milisegundos entre cada canal del ADS 1115.





## RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de facilitar la implementación y montaje del medidor en un tablero de distribución convencional es necesario emplear sensores de corriente que sean invasivos como el sensor ACS712, es decir, que la tensión y corriente atraviesen el medidor.
- Utilizar una antena externa para mejorar el alcance de la señal WiFi en lugares donde esta sea inestable.
- En lugares en los que no se tiene una conexión a internet debe contemplarse el uso de una tarjeta SIM siempre y cuando se tenga cobertura para datos móviles en esa zona, caso contrario se pueden emplear otros protocolos de comunicación IoT para no perder comunicación con el medidor tales como Sigfox.
- Otras tecnologías aparte de WiFi como Digi XBee 3 Cellular LTE Cat 1 pueden ser empleadas para la conexión de dispositivos IoT y pueden resultar de mucha utilidad en un proyecto de este tipo.
- Emplear el switch interno del socket de la SD para su detección en el microcontrolador.
- Agregarle al medidor las funciones de un medidor bidireccional de manera que pueda también medir la cantidad de energía que es capaz de suministrar la vivienda a la red.

## REFERENCIAS

- Altium. (n.d.). *¿Qué es un PCB o Placa de Circuito Impreso?* Retrieved September 21, 2022, from <https://resources.altium.com/es/p/what-is-a-pcb>
- arduino. (n.d.). *Arduino Mega 2560* . <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- Arduino. (n.d.). *Software de Arduino*. Retrieved September 21, 2022, from <https://arduino.cl/programacion/>
- Arduino IoT. (n.d.). *Arduino IoT cloud*. Retrieved September 21, 2022, from <https://create.arduino.cc/iot/things>
- Barbaraiot. (n.d.). *Protocolos IoT*. Retrieved March 23, 2022, from <https://barbaraiot.com/es/es/blog/protocolos-iot-que-deberias-conocer>
- Barrio, M. (2018). *Internet de las Cosas*. 125.
- Baselga Carrera, M. (n.d.). *Electrotecnia*.
- Beaty, H. W. (n.d.). *Standard Handbook for Eelectrical Engineers*.
- Blynk. (n.d.). *Blynk*. Retrieved September 21, 2022, from <https://blynk.io/>
- Boylestad, R. L. (2011). *Introducción al análisis de circuitos* (11th ed.). PEARSON.
- Chandima, D P, Weranga, K.S.K. & Kumarawadu, K. (2014). *APPLIED SCIENCES AND TECHNOLOGY Smart Metering Design and Application*.
- CISCO. (n.d.). *¿Qué es Wi-Fi?* Retrieved February 17, 2022, from [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/products/wireless/what-is-wifi.html#~recursos](https://www.cisco.com/c/es_mx/products/wireless/what-is-wifi.html#~recursos)
- ENEL. (2018). *Medidores inteligentes*. <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/medidores-inteligentes-de-energia-nueva-tecnologia-mayor-control.html>
- Fundación Telefónica. (n.d.). *Smart Energy. TIC y energía: un futuro eficiente*.
- GAVIDIA CORONEL, Y. (2020). *IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN PARA EL REGISTRO DE LECTURA DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA CAPTURA DE IMÁGENES CON UN DISPOSITIVO MÓVIL PARA EL ÁREA DE FACTURACIÓN DE LA EMPRESA ELECTRO ORIENTE S.A.*
- Gussow, M. (1993). *Fundamentos de Electricidad* (1st ed.). McGRAW-HILL.
- Hendry, I. (2019). *ESP32 Development using the Arduino IDE*.
- IFTTT. (n.d.). *What is IFTTT*. Retrieved April 23, 2022, from <https://ifttt.com/>
- isbel. (n.d.). *¿En qué consiste la medición inteligente?* <https://isbel.com/en-que-consiste-medicion-inteligente/>
- JEREMIAS, H. (2020). *Estudo de um medidor de corrente conectado com uma plataforma iot*.

- Jimenez-Guamán, P. F. (2020). *Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube* (Vol. 5, Issue 1). <https://doi.org/10.23857/pc.v5i1.1949>
- JÚNIOR, D. C. (2018). *Análise do consumo de energia em uma unidade consumidora via internet das coisas*.
- LabCenter. (n.d.). *Proteus*. Retrieved September 21, 2022, from <https://www.labcenter.com/>
- LEONARDO. (n.d.). <https://docs.arduino.cc/hardware/leonardo>
- Lopez Lautaro, A., Garcia Martinez, N., & Cambarieri, M. G. (2019). *Internet de las cosas aplicado al control del consumo eléctrico hogareño mediante dispositivos móviles*. 1–111.
- Microsoft. (n.d.). *Le damos la bienvenida al IDE de Visual Studio*. Retrieved September 21, 2022, from <https://learn.microsoft.com/es-es/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2022>
- MOKO LORA. (2021, September). *Comparación entre LoRa y otras tecnologías inalámbricas*. <https://www.mokolora.com/es/lora-and-wireless-technologies/>
- Open Automation Software. (n.d.). *What is an IoT Gateway?* <https://openautomationsoftware.com/open-automation-systems-blog/what-is-an-iot-gateway/>
- OSINERGMIN. (2011). *La medicion electronica de la energia* (p. 41).
- PlatformIO. (n.d.). *What is PlatformIO?* Retrieved April 23, 2022, from <https://docs.platformio.org/en/latest/what-is-platformio.html>
- Programar Fácil. (n.d.). *ESP32 Wifi y Bluetooth en un solo chip*. Retrieved October 17, 2021, from <https://programarfacil.com/esp8266/esp32/>
- Random Nerd Tutorials. (n.d.). *ESP32 OTA (Over-the-Air) Updates – AsyncElegantOTA using Arduino IDE*. Retrieved September 21, 2022, from <https://randomnerdtutorials.com/esp32-ota-over-the-air-arduino/>
- Sai Shibu, N. B., Hanumanthiah, A., Sai Rohith, S., Yaswanth, C. H., Hemanth Krishna, P., & Pavan, J. V. S. (2018). Development of IoT Enabled Smart Energy Meter with Remote Load Management. *2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, ICCIC 2018*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCIC.2018.8782381>
- SolidBi. (n.d.). *SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve*. Retrieved April 23, 2022, from <https://solid-bi.es/solidworks/>
- Thingier.io. (n.d.). *What is Thingier.io?* Retrieved September 21, 2022, from <https://docs.thingier.io/>
- Torrente Artero, Ó. (2013). *Arduino Curso Práctico de formación*. Alfaomega.

ubidots. (n.d.). *Ubidots y NxtIoT se asocian para darle vida a los objetos*. Retrieved September 21, 2022, from <https://ubidots.com/blog/ubidots-y-nxtiot-se-asocian-para-darle-vida-a-los-objetos/>

UNIT ELECTRONICS. (n.d.). *LILYGO TTGO T-Display ESP32 Development Board 1.1*. Retrieved February 17, 2022, from <https://uelectronics.com/producto/lilygo-ttgo-t-display-esp32-development-board-1-1/>

Wildi, T. (2007). *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia* (6th ed.). PEARSON. [www.pearsoneducacion.net](http://www.pearsoneducacion.net)

William Bolton. (2017). *Mecatrónica: Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica*.





ANEXOS

ZMPT101B

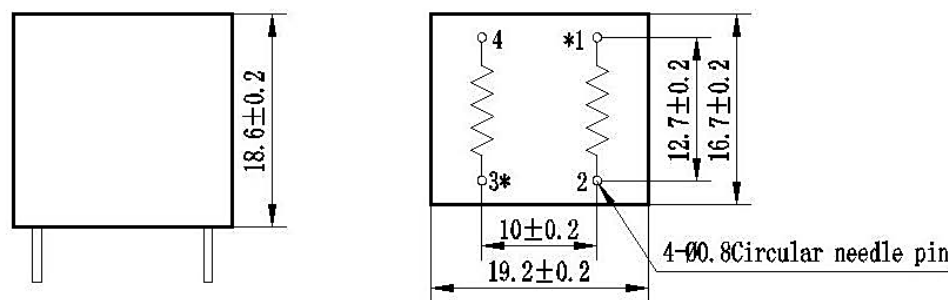
Qingxian Zeming Langxi Electronic

www.micro-transformer.com

ZMPT101B  
Current-type Voltage Transformer

Small size, high accuracy, good consistency, for voltage and power measurement

Structural parameters:



Remarks: primary input: 1、2 pins    secondary output: 3、4pins  
Or  
primary input:: 3、4 pins    secondary output::1、2pins  
\*\*\* Same polarity

Front view

Bottom view

The main technical parameters:

|                       |                                                          |                                 |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Model                 | ZMPT101B                                                 |                                 |
| Rated input current   | 2mA                                                      |                                 |
| Rated output current  | 2mA                                                      |                                 |
| turns ratio           | 1000:1000                                                |                                 |
| phase angle error     | ≤20' (input 2mA, sampling resistor 100Ω)                 |                                 |
| operating range       | 0~1000V                                                  | 0~10mA (sampling resistor 100Ω) |
| linearity             | ≤0.2%(20%dot~120%dot)                                    |                                 |
| Permissible error     | -0.3%≤ f ≤+0.2% (input 2mA, sampling resistor 100Ω)      |                                 |
| isolation voltage     | 4000V                                                    |                                 |
| application           | voltage and power measurement                            |                                 |
| Encapsulation         | Epoxy                                                    |                                 |
| installation          | PCB mounting (Pin Length>3mm)                            |                                 |
| Operating temperature | -40℃~+60℃                                                |                                 |
| Case Material         | ABS (Note: ABS CASE is NOT available for wave-soldering) |                                 |

Tel: 86-25-52601870

E-mail: zm@zeming-e.com

0.333V Split core current transformer

YHDC®

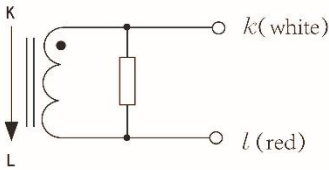
model: SCT013

Characteristics:  
Split core, 0.333V output, Built-in with sampling resistance,  
leading wire 1 metre, standardΦ3.5 three core plug output,,  
(Patent no.: ZL 2015 3 0060067.X)



Technical index:  
Suspended mounting, output with cable  
Operation temperature: -25℃~+70℃  
Storage temperature: -30℃~+90℃  
work voltage: ≤660V  
Work frequency: 50Hz-1KHz  
Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min

Wiring schematic:



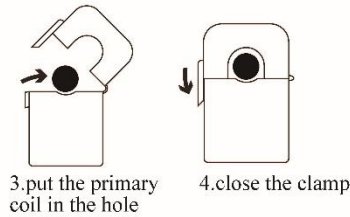
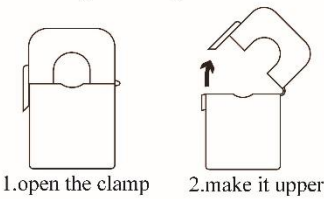
Voltage output type : Built-in with sampling resistance  
Voltage output type : not allowed secondary short circuit.  
When the plug without audio frequency,  
the white line is the end of the same name

Technical Parameters table:

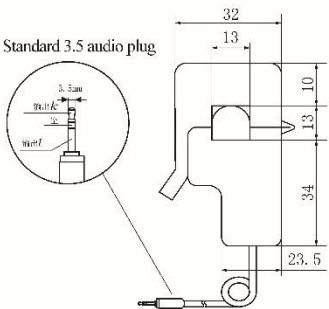
|                                                         |                      |
|---------------------------------------------------------|----------------------|
| Rated Input(Effective value)                            | 10 20 30 50 80 100 A |
| measurment range                                        | 20%~120% A           |
| Rated output                                            | 0.333 V              |
| Auaccuracy                                              | 1 %                  |
| Linearity                                               | 1 %                  |
| frequency                                               | 50~1K Hz             |
| weight                                                  | 50 g                 |
| Order Format: model Input output Auaccuracy             |                      |
| SCT013/xxA/0.333V/1%                                    |                      |
| Noted: The rated current ≤100A are the standard product |                      |

Installation D iagram

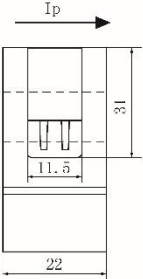
Primary coil through hole method



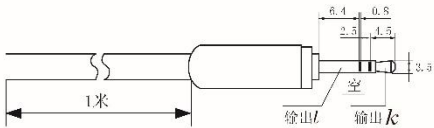
Outline size: (in:mm):



Front view

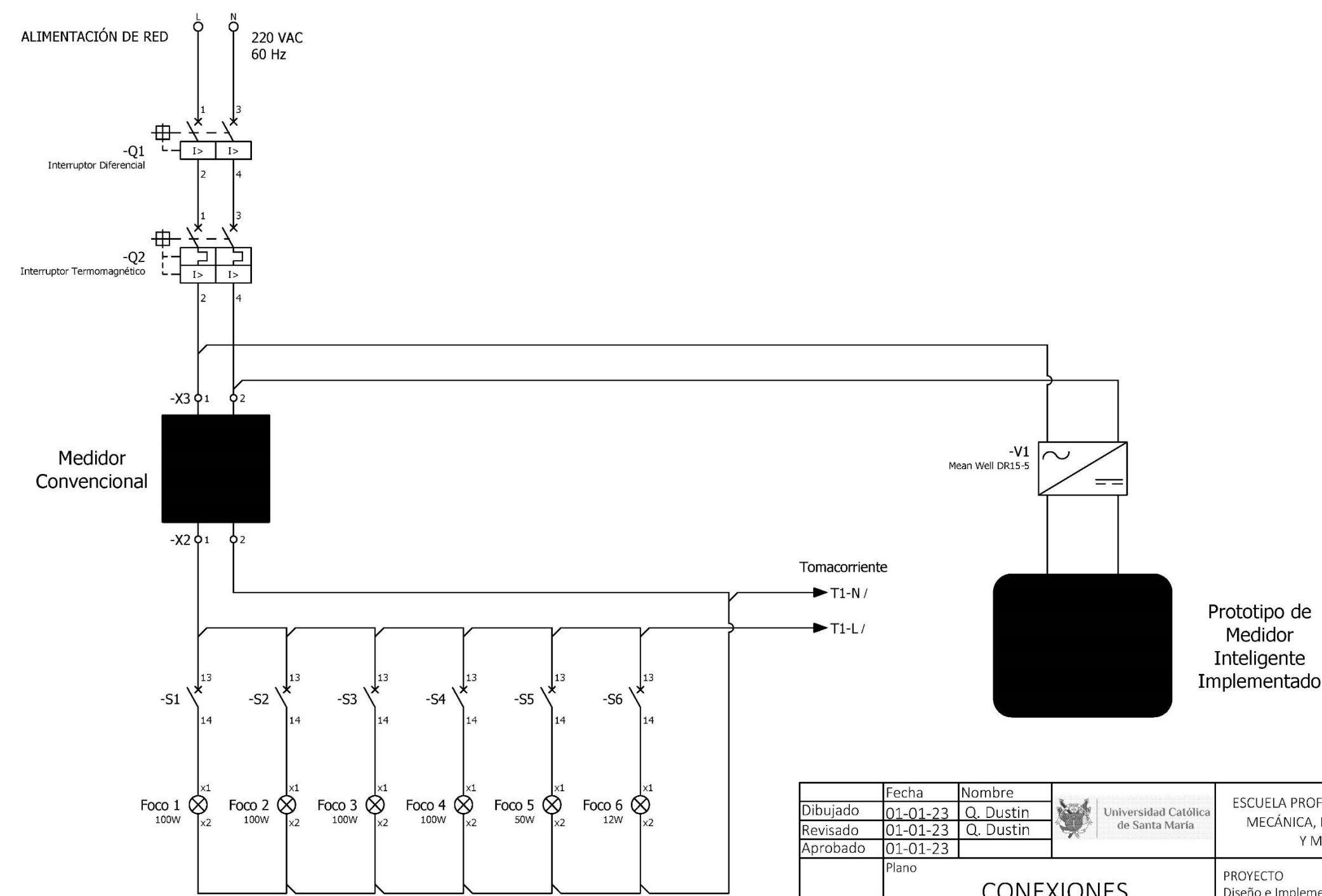


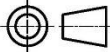
Side view



Standard three core plug schematic diagram

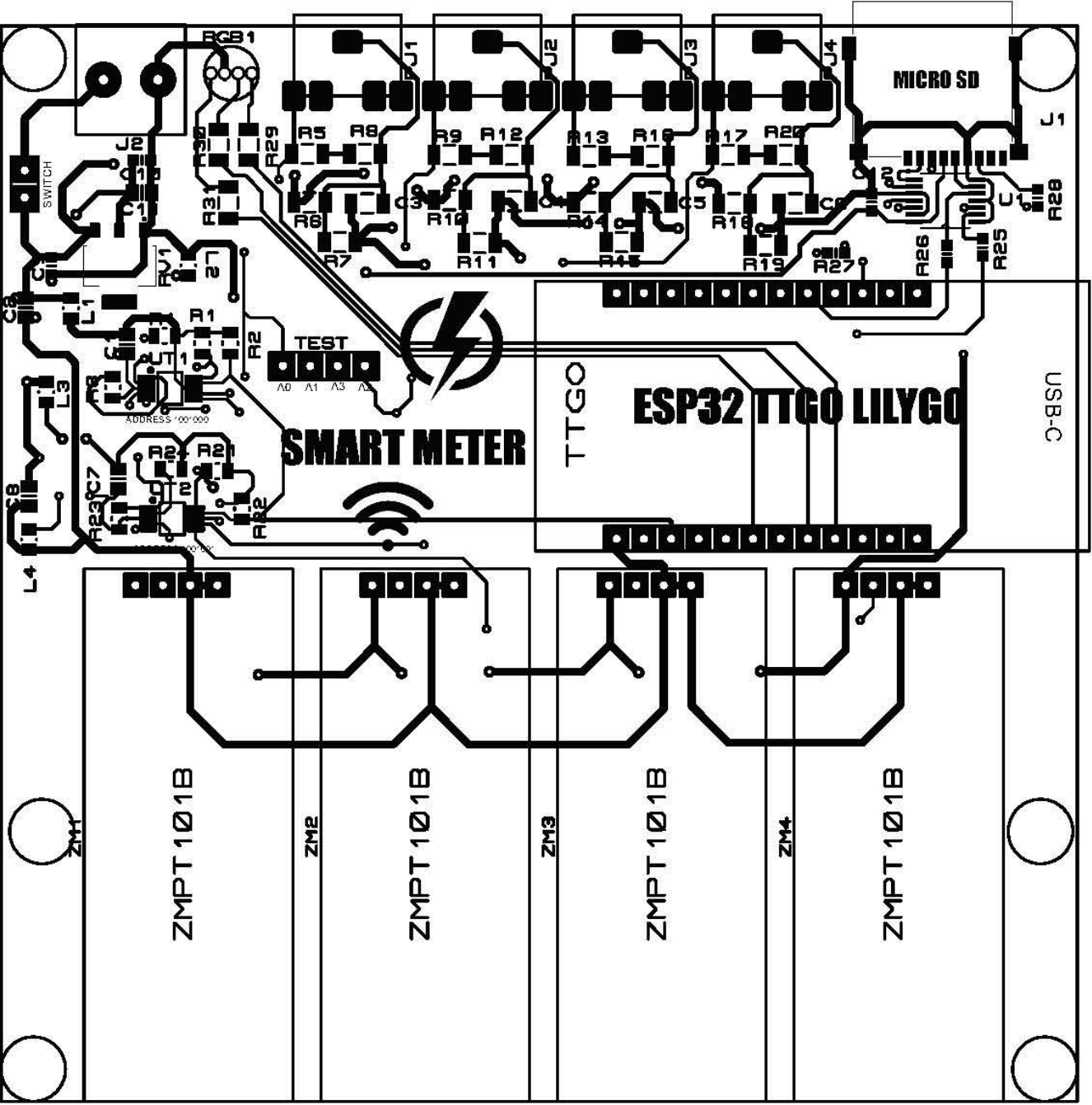
DIAGRAMA MULTIFILAR  
CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL MÓDULO

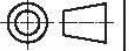


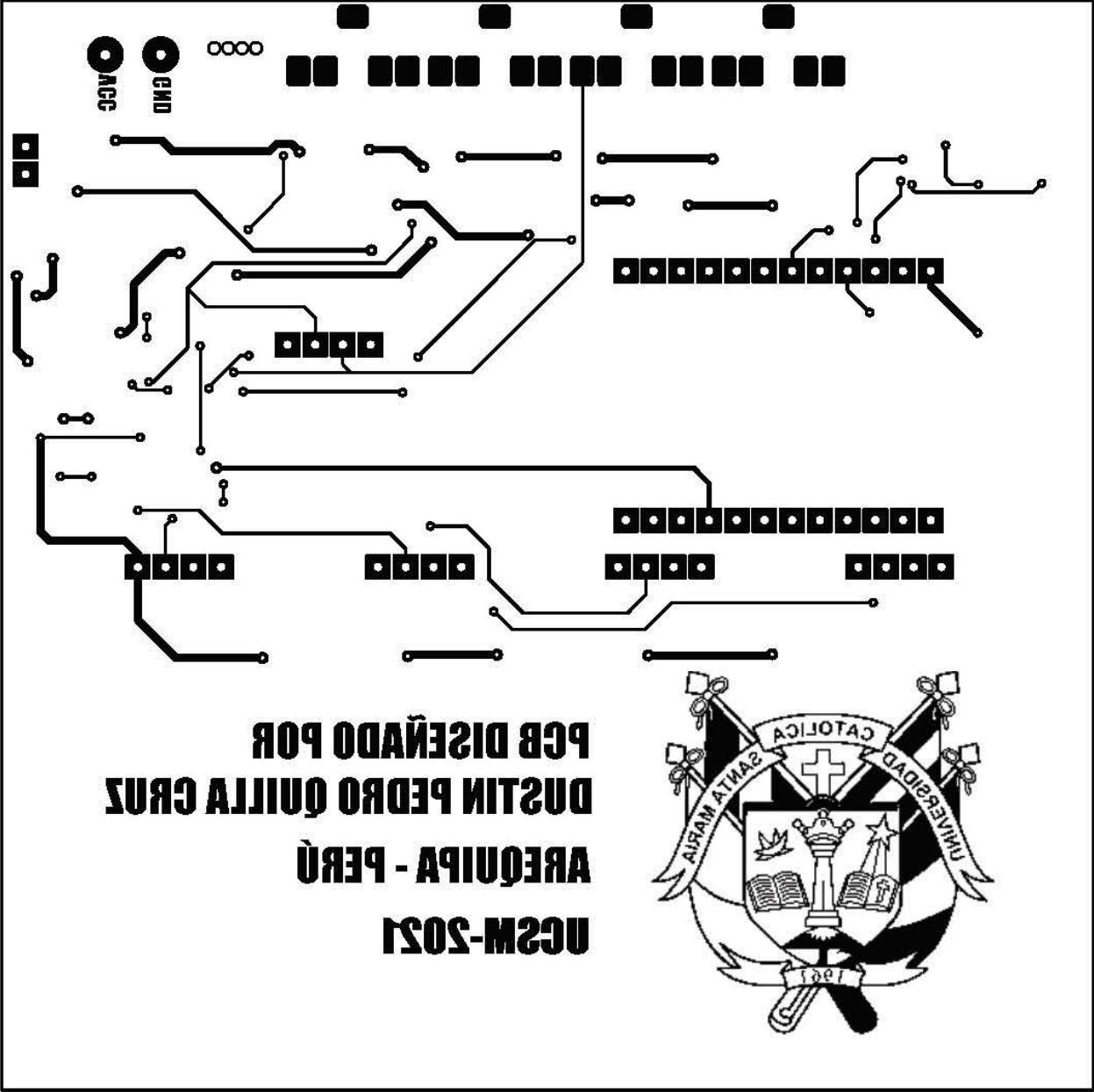
|                                                                                       |                                                                  |           |                                                                                                                           |                                                                                    |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                                                       | Fecha                                                            | Nombre    |  Universidad Católica de Santa María | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA<br>MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA<br>Y MECATRÓNICA |             |
| Dibujado                                                                              | 01-01-23                                                         | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                                    |             |
| Revisado                                                                              | 01-01-23                                                         | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                                    |             |
| Aprobado                                                                              | 01-01-23                                                         |           |                                                                                                                           |                                                                                    |             |
|  | Plano<br><br>CONEXIONES<br>ELÉCTRICAS DE<br>MÓDULO DE<br>PRUEBAS |           |                                                                                                                           | PROYECTO<br>Diseño e Implementación de un<br>prototipo de medidor inteligente      |             |
|                                                                                       |                                                                  |           |                                                                                                                           | N° Plano                                                                           | P001        |
|                                                                                       |                                                                  |           |                                                                                                                           | Modificación                                                                       | REVISIÓN 01 |



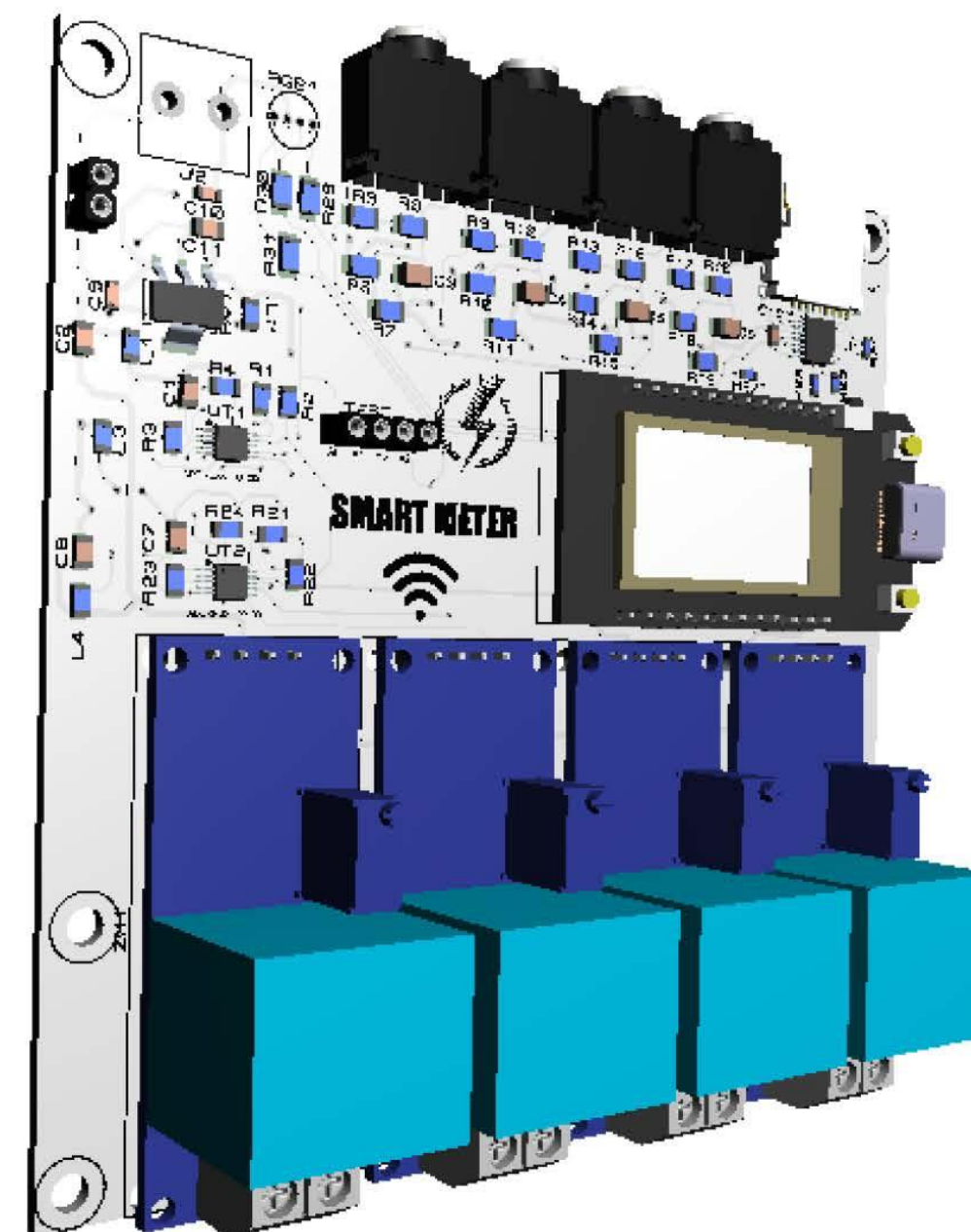
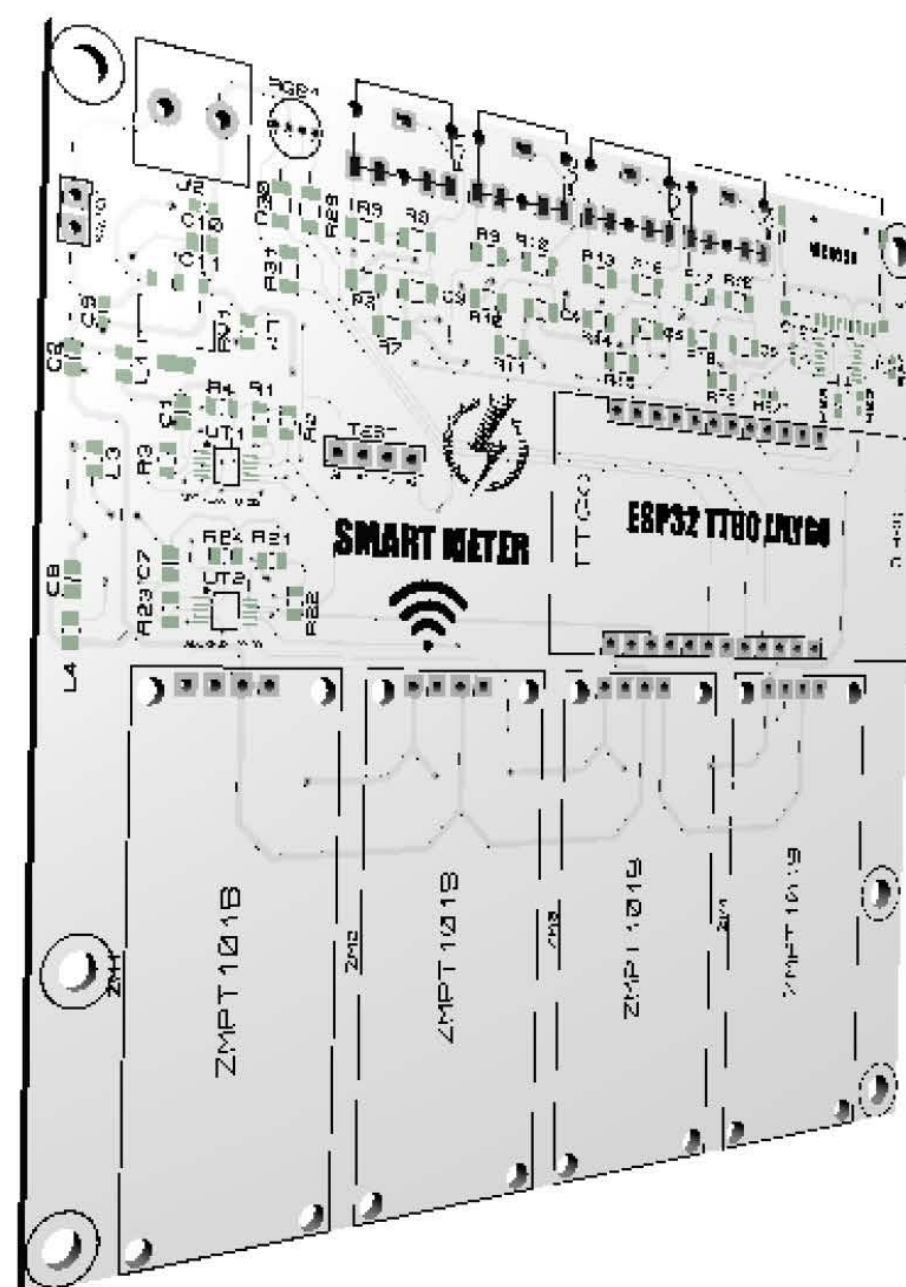




|                                                                                       |                            |           |                                                                                                                           |                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                       | Fecha                      | Nombre    |  Universidad Católica de Santa María | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA<br>MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA<br>MECATRÓNICA |
| Dibujado                                                                              | 01-01-23                   | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                                  |
| Revisado                                                                              | 01-01-23                   | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                                  |
| Aprobado                                                                              | 01-01-23                   |           |                                                                                                                           |                                                                                  |
|  | Plano                      |           |                                                                                                                           | PROYECTO<br>Diseño e Implementación de un<br>prototipo de medidor inteligente    |
|                                                                                       | CAPA<br>SUPERIOR DE<br>PCB |           |                                                                                                                           | N° Plano P003                                                                    |
|                                                                                       |                            |           |                                                                                                                           | Modificación REVISIÓN 01                                                         |

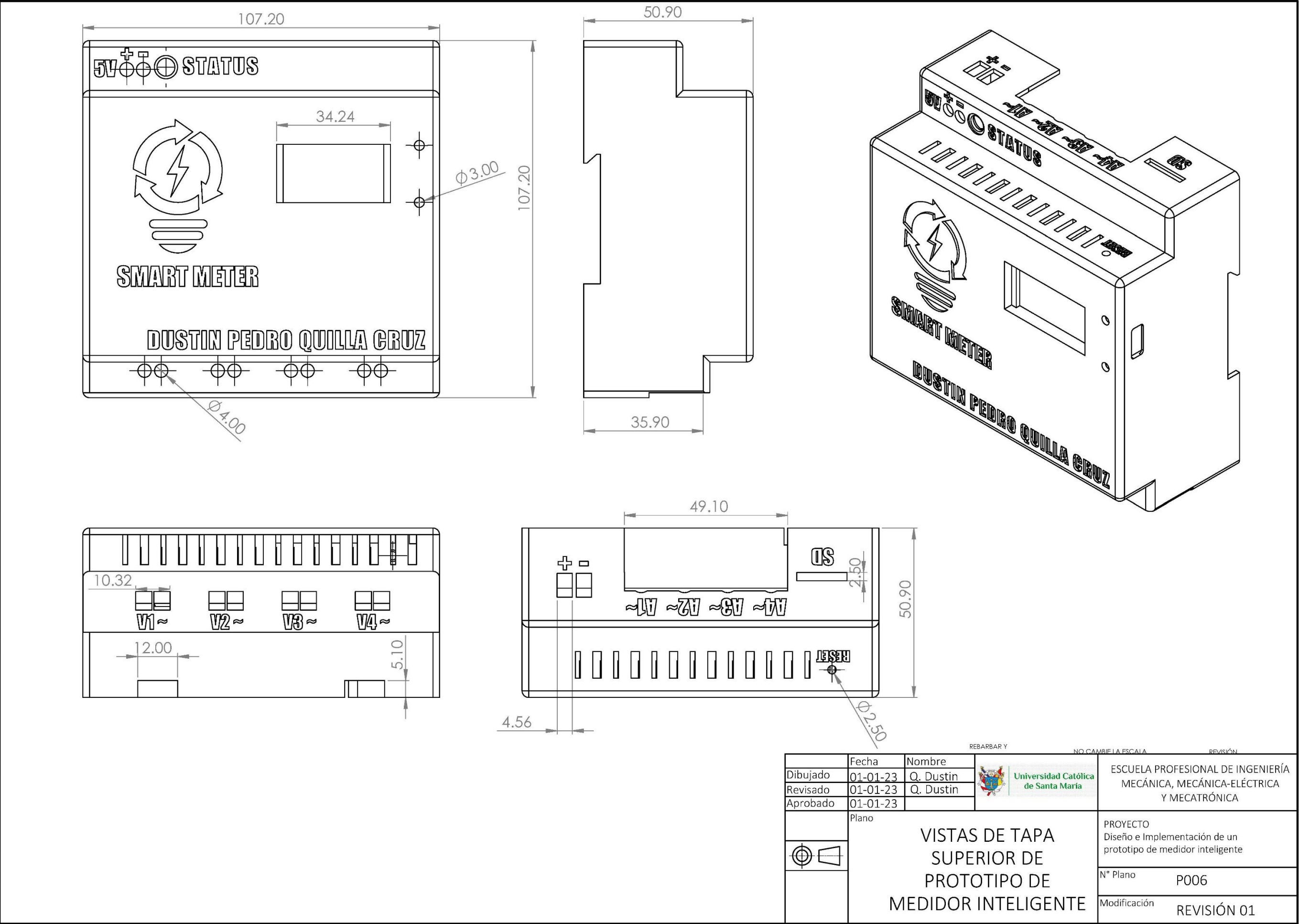


|                                                                                       |                            |           |                                                                                                                           |                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                       | Fecha                      | Nombre    |  Universidad Católica de Santa María | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA<br>MECÁNICA MECÁNICA-ELÉCTRICA<br>MECATRÓNICA |
| Dibujado                                                                              | 01-01-23                   | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                                 |
| Revisado                                                                              | 01-01-23                   | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                                 |
| Aprobado                                                                              | 01-01-23                   |           |                                                                                                                           |                                                                                 |
|                                                                                       | Plano                      |           |                                                                                                                           | PROYECTO<br>Diseño e Implementación de un<br>prototipo de medidor inteligente   |
|  | CAPA<br>INFERIOR DE<br>PCB |           |                                                                                                                           | N° Plano P004                                                                   |
|                                                                                       |                            |           |                                                                                                                           | Modificación REVISIÓN 01                                                        |

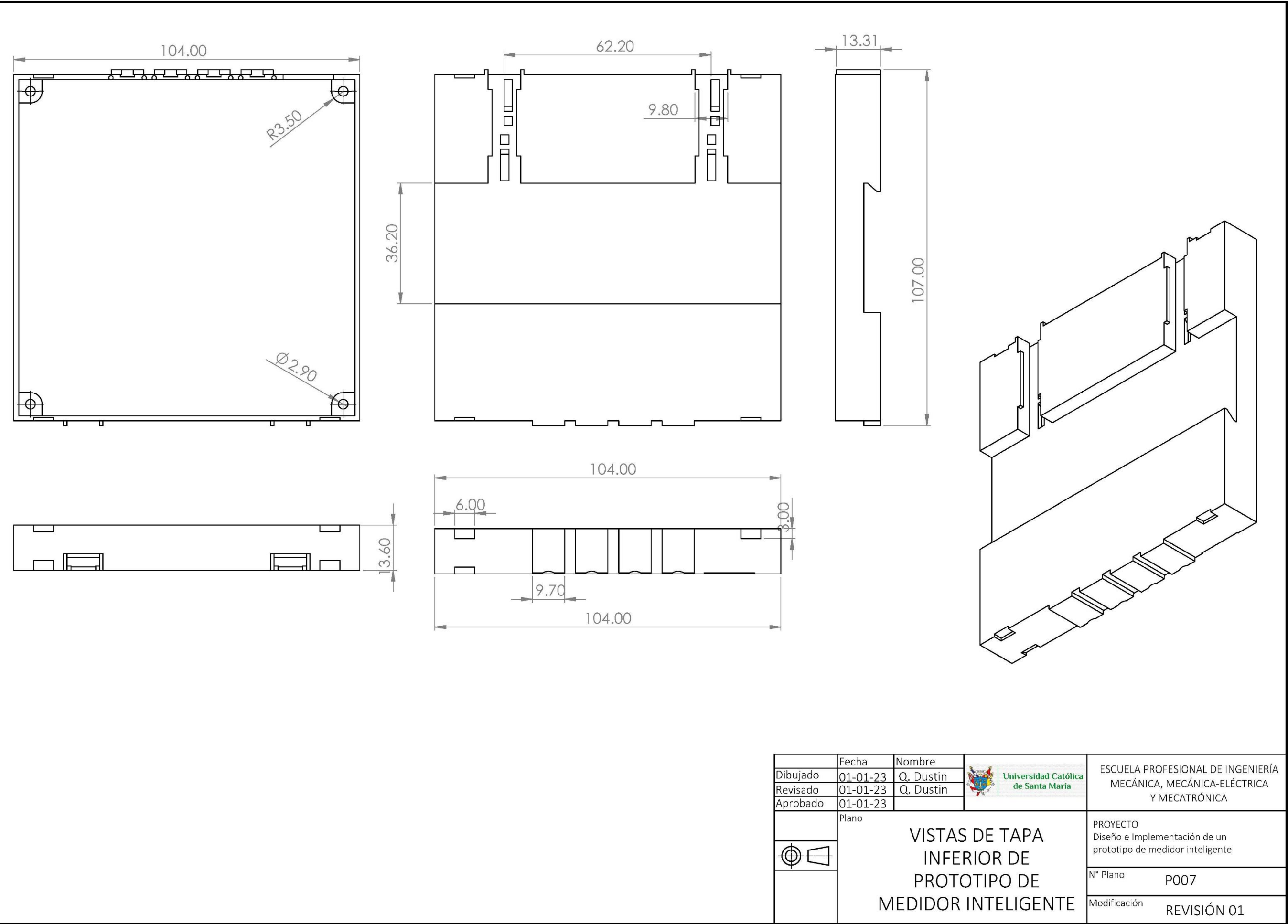


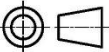
|          |                                                                                          |           |                                                                                                                                  |                                                                                                      |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | Fecha                                                                                    | Nombre    |  <b>Universidad Católica de Santa María</b> | <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA</b><br><b>MECÁNICA MECÁNICA-ELÉCTRICA</b><br><b>MECATRÓNICA</b> |
| Dibujado | 01-01-23                                                                                 | Q. Dustin |                                                                                                                                  |                                                                                                      |
| Revisado | 01-01-23                                                                                 | Q. Dustin |                                                                                                                                  |                                                                                                      |
| Aprobado | 01-01-23                                                                                 |           |                                                                                                                                  |                                                                                                      |
|          | Plano                                                                                    |           |                                                                                                                                  | PROYECTO                                                                                             |
|          | <b>VISTA 3D DE PCB</b><br><b>DE PROTOTIPO DE</b><br><b>MEDIDOR</b><br><b>INTELIGENTE</b> |           |                                                                                                                                  | Diseño e Implementación de un prototipo de medidor inteligente                                       |
|          |                                                                                          |           |                                                                                                                                  | N° Plano P005                                                                                        |
|          |                                                                                          |           |                                                                                                                                  | Modificación REVISIÓN 01                                                                             |

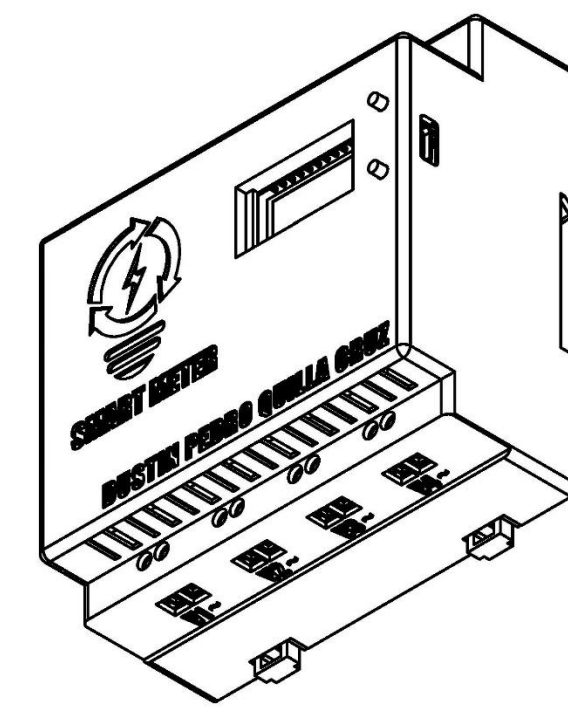
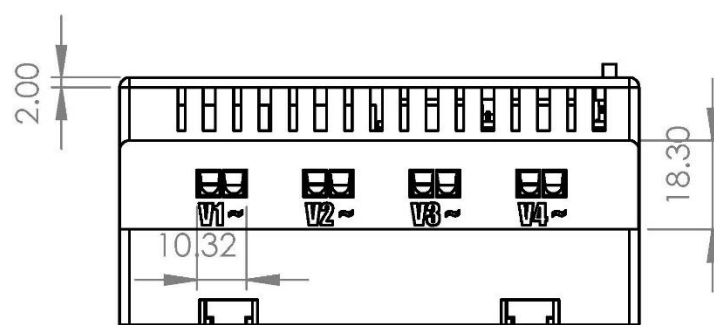
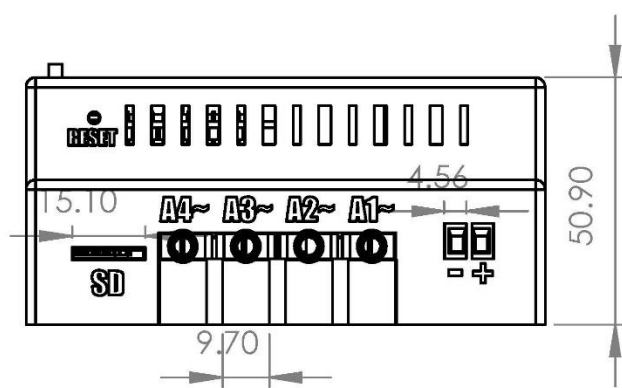
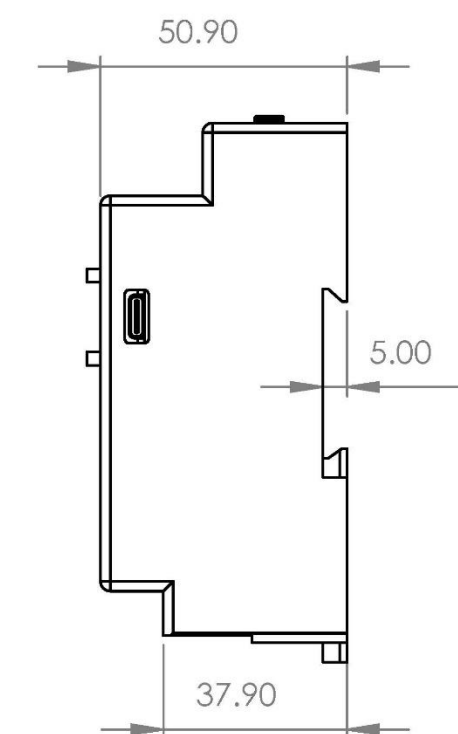
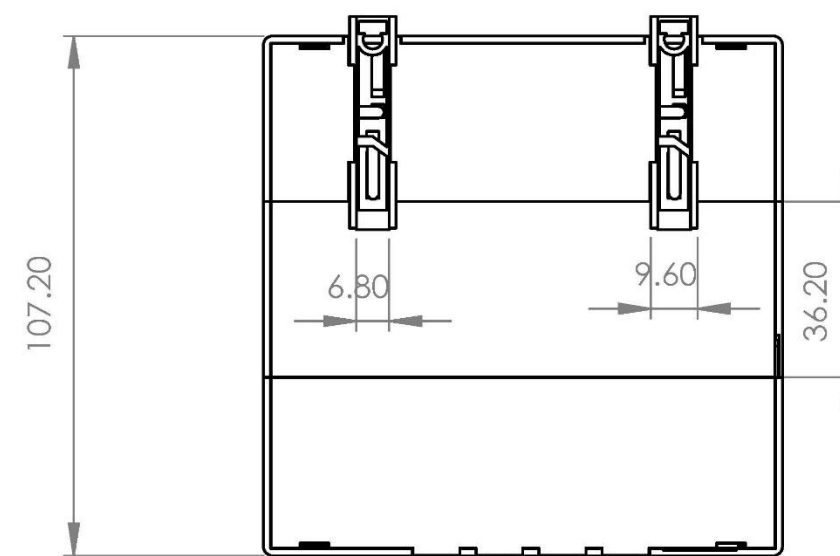
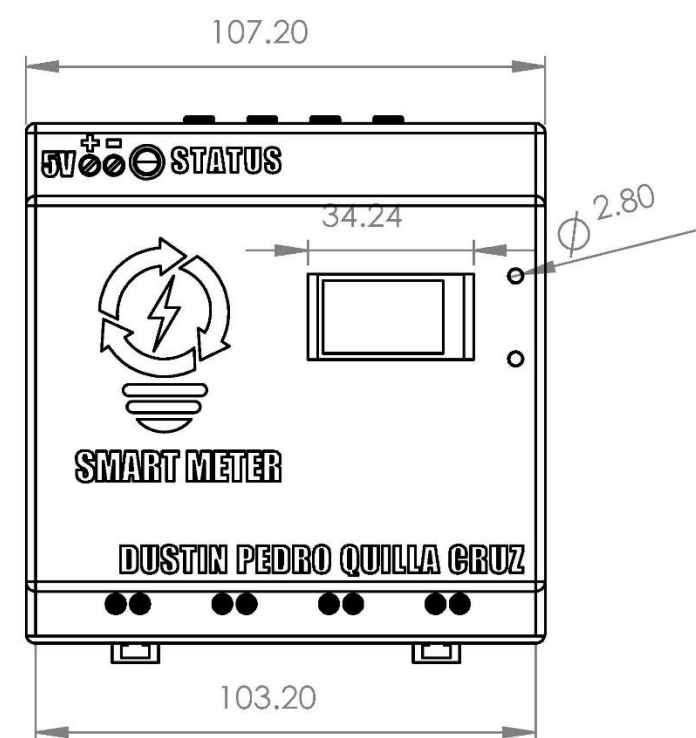




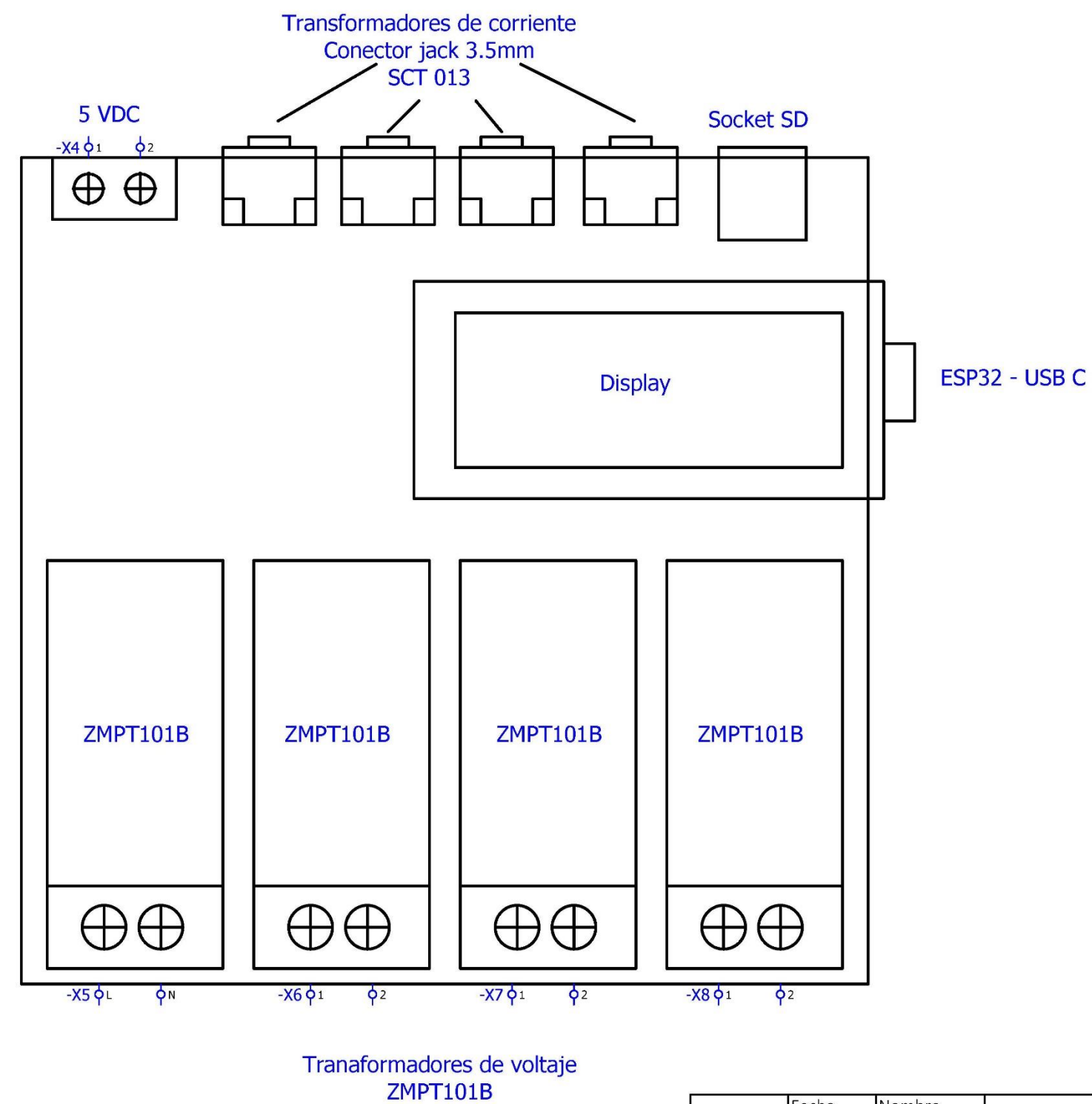




|                                                                                       |                                                                      |           |                                                                                                                           |                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                       | Fecha                                                                | Nombre    |  Universidad Católica de Santa María | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA<br>MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA<br>Y MECATRÓNICA |
| Dibujado                                                                              | 01-01-23                                                             | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                                    |
| Revisado                                                                              | 01-01-23                                                             | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                                    |
| Aprobado                                                                              | 01-01-23                                                             |           |                                                                                                                           |                                                                                    |
|                                                                                       | Plano                                                                |           |                                                                                                                           | PROYECTO<br>Diseño e Implementación de un<br>prototipo de medidor inteligente      |
|  | VISTAS DE TAPA<br>INFERIOR DE<br>PROTOTIPO DE<br>MEDIDOR INTELIGENTE |           |                                                                                                                           | N° Plano P007                                                                      |
|                                                                                       |                                                                      |           |                                                                                                                           | Modificación REVISIÓN 01                                                           |



|          |                                                        |           |                                                                                                                           |                                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|          | Fecha                                                  | Nombre    |  Universidad Católica de Santa María | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA |
| Dibujado | 01-01-23                                               | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                              |
| Revisado | 01-01-23                                               | Q. Dustin |                                                                                                                           |                                                                              |
| Aprobado | 01-01-23                                               |           |                                                                                                                           |                                                                              |
|          | Plano                                                  |           |                                                                                                                           | PROYECTO                                                                     |
|          | VISTAS DE ENSAMBLE DE PROTOTIPO DE MEDIDOR INTELIGENTE |           |                                                                                                                           | Diseño e Implementación de un prototipo de medidor inteligente               |
|          |                                                        |           |                                                                                                                           | N° Plano P008                                                                |
|          |                                                        |           |                                                                                                                           | Modificación REVISIÓN 01                                                     |



|          |                                             |         |                                                                                                                           |                                                                              |
|----------|---------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|          | Fecha                                       | Nombre  |  Universidad Católica de Santa María | ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA |
| Dibujado | 01-01-23                                    | Q. Cruz |                                                                                                                           |                                                                              |
| Revisado | 01-01-23                                    | Q. Cruz |                                                                                                                           |                                                                              |
| Aprobado | 01-01-23                                    |         |                                                                                                                           |                                                                              |
|          | Plano                                       |         |                                                                                                                           | PROYECTO                                                                     |
|          | Conexiones prototipo de medidor inteligente |         |                                                                                                                           | Diseño e implementación de un prototipo de medidor inteligente               |
|          |                                             |         |                                                                                                                           | N° Plano P009                                                                |
|          |                                             |         |                                                                                                                           | Modificación REVISIÓN 01                                                     |