

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL NEUQUÉN

Ingeniería Electrónica  
Proyecto Final de Carrera

**TELEMETRÍA Y SEGURIDAD EN SUBESTACIONES  
TRANSFORMADORAS: SOLUCIÓN INTEGRAL EN LOCACIONES  
CAMPO ADENTRO**

Autor: Javier Alejandro Tapia  
Docente: Dr. Ing. Gustavo Monte  
Director de Trabajo Final de Grado: Mg. Ing. Norberto Scarone

Plaza Huinca – Neuquén

Julio 2024



## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de tesis marca el cierre de una etapa importante en mi vida académica, y no habría sido posible sin el apoyo, la orientación y el aliento de muchas personas. Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que me han acompañado en este viaje:

A Verónica, Ana Clara y Morena, por su amor incondicional y paciencia mientras me sumergía en este proyecto. Gracias por ser mi razón de ser y por enriquecer mi vida con su presencia y Amor

A mi querida familia, quienes han sido mi pilar fundamental durante toda mi formación. A mis padres, Elsa y Bernardino, gracias por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por su continuo respaldo en cada decisión que he tomado. A mis hermanos, Genaro Roberto y Ailen, por ser mis compañeros de vida y pilares fundamentales.

A mis profesores de la facultad de Ingeniería, quienes han sido mentores excepcionales. En particular, quiero agradecer al Ing. Norberto Scarone por su orientación y por compartir su vasto conocimiento, el cual ha sido esencial en el desarrollo de este trabajo. Su dedicación y pasión por la enseñanza han sido inspiradoras y me han motivado a dar lo mejor de mí.

Este trabajo es un reflejo de todo el esfuerzo y apoyo recibido, y lo dedico con gratitud a todas estas personas que han sido parte de mi camino académico.

Con todo mi aprecio y gratitud,

*Javier Alejandro Tapia*



---

## INDICE

AGRADECIMIENTOS .....	2
INDICE DE FIGURAS.....	5
INDICE DE TABLAS Y DIAGRAMAS.....	8
RESUMEN .....	9
CAPÍTULO 1: MARCO TEORICO .....	10
1. Introducción .....	10
1.1. Subestación Eléctrica de Campo .....	10
1.2. Transformador.....	14
1.3. Funcionamiento del Transformador de Potencia: .....	14
1.3.1. Tipos de Transformadores de Potencia encontrados en Campo.....	15
1.4. Elementos de protección y Sensores en Transformadores: Protecciones Mecánicas .	18
1.4.1. Medición de Temperatura.....	18
1.4.2. Protección Mediante DGPT y/o Relé de Buchholz.....	19
1.5. Protecciones contra sobretensiones y sobrecorrientes en transformadores: Protecciones Eléctricas .....	22
1.5.1. Protecciones contra Sobretensiones.....	22
1.5.2. Protecciones contra Sobrecorrientes .....	23
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO .....	25
2.1 Definición del Problema.....	25
2.1 Solución Propuesta.....	28
CAPÍTULO 3: HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS.....	30
3.1 Introducción .....	30
3.2 Hardware.....	30
3.2.1 Microcontrolador ESP 32.....	30
3.2.2 Sensor de Tensión ZMPT 101B .....	34
3.2.3 Sensor de Corriente ACS 712 -20 Amp.....	36
3.2.4 Sensor de Temperatura y Humedad DHT 22.....	38
3.2.5 Display LCD 20x4 .....	39
3.2.6 Microcontrolador dedicado ESP 32 – CAM.....	41
3.2.7 Fuente 220 VAC / 5 VCC .....	43
3.3 Herramientas de desarrollo de Software .....	45
3.3.1 Visual Studio Code (Editor de código).....	45



---

3.3.2	PuTTY .....	48
3.3.3	Arduino IDE.....	49
<b>CAPÍTULO 4: ALGORITMOS DE CONTROL .....</b>		<b>51</b>
4	Introducción .....	51
4.1	Diagramas de Flujo de algoritmo de ESP32 #1 .....	51
4.2	Diagramas de Flujo de algoritmo de ESP32 #2 .....	52
4.2.1	Algoritmo de Servidor Web Embebido en ESP32 #2 .....	54
4.2.2	Algoritmo de ESP32 – CAM.....	56
<b>CAPÍTULO 5: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.....</b>		<b>58</b>
<b>5.1 Introducción .....</b>		<b>58</b>
<b>5.2 Montaje del Hardware y descripción del funcionamiento .....</b>		<b>58</b>
5.2.1	Bloque 1: Etapa de Potencia.....	59
5.2.2	Bloque 2: Sensores de Tensión.....	60
5.2.3	Bloque 3: Sensores de Corriente .....	60
5.2.4	Bloque 4: Fuente de Tensión 220 VCA / 5 VCC.....	61
5.2.5	Bloque 5: Sensor de Temperatura.....	62
5.2.6	Bloque 6: Etapa de Detección de Movimiento (EPS32 CAM) .....	63
5.2.7	Bloque 7: ESP32 #1 .....	64
5.2.8	Bloque 8: ESP32 #2 .....	66
5.2.9	Bloque 9: Display LCD.....	66
5.2.10	Bloque 10: Plaqueta de simulación de Alarmas.....	67
<b>5.3 Interfaz con el Usuario.....</b>		<b>70</b>
5.3.1	Visualización de Valores de Tensiones .....	71
5.3.2	Visualización de valores de Corrientes.....	72
5.3.3	Visualización de Temperatura.....	73
5.3.4	Alarmas .....	74
<b>5.4 Mejoras Futuras para el Sistema de telemetría y Seguridad en Subestaciones Transformadora .....</b>		<b>76</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>79</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>83</b>



---

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Esquema de Subestación eléctrica a Nivel de Piso .....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2: Esquema de Subestación Tipo Monoposte .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3: Esquema de Subestación Tipo Biposte .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4: Seccionador Fusible XS de Media Tensión .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5: Tablero Seccionador BT .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6: Transformador con tanque de Expansión .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7: Transformador de Llenado Integral .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8: Transformador Tipo Monoposte .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 9: Zonda PT 100 e Indicador .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 10: Contactos Zonda temperatura en Trafo .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11: Rele DGPT2 .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 12: Rele de Buchholz .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 13: Montaje Relé Buchholz .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 14: Montaje de Descargadores en Cabezal de Subestación .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 15: Seccionadores Fisibles XS Montados sobre Cabezal de Subestación .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 16: lamina Fusible Positrol 10 A .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 17: Vista de una SET de campo de Pozo único .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura:2: Vista de una SET de campo de 3 Pozos .....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 19: Descargador de sobretensión .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 20: Esquema de Sistema Propuesto .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 21: ESP 32 .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 22: Arquitectura Interna ESP 32 .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 23: Diagrama Disposición Pines ESP 32 .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 24: Sensor de Tensión AC ZMPT101B .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 25: Diagrama Conexiones Sensor ZMPT101B .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 26: Señal Entrada/Salida de Sensor ZMPT 101B .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 27: Diagrama Conexiones Sensor Corriente ACS 71 .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 28: Sensor de Temperatura y Humedad DHT 22 .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 29: Display LCD 20x4 con Interfaz I2C .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 30: Microcontrolador Dedicado ESP32 - CAM .....</i>	<i>42</i>

---



---

<i>Figura 31: Diagrama de Pines y Conexionado ESP32 - CAM</i> .....	42
<i>Figura 32: Fuente tensión Auxiliar 220 VCA / 5 VCC</i> .....	43
<i>Figura 33: Fuente tensión Auxiliar 220 VCA / 5 VCC con Plaqueta de Distribución de Tensiones</i> .....	44
<i>Figura 34: Print Pantalla Visual Studio Code</i> .....	45
<i>Figura 35: Print Pantalla entorno PlatformIO para programación ESP32</i> .....	47
<i>Figura 36: Print Pantalla Entorno PuTTY para Visualización / Comunicación Serial</i> .....	48
<i>Figura 37: Print Pantalla Entorno Arduino IDE</i> .....	49
<i>Figura 38: Maqueta General de Proyecto Montado</i> .....	58
<i>Figura 39: Etapa de Potencia de Ingreso/salida de señales de tensión</i> .....	59
<i>Figura 40: Bloque 2- Sensores de Tensión</i> .....	60
<i>Figura 41: Bloque 3- Sensores de Corriente ACS 712</i> .....	61
<i>Figura 42: Bloque 4- Fuente 220 VCA / 5 VCC con Plaqueta de Distribución de tensiones</i> .....	62
<i>Figura 43: Bloque 5- Sensor de Temperatura DHT22</i> .....	62
<i>Figura 44: Bloque 6- Sensor de Temperatura de movimiento ESP32 -CAM</i> .....	63
<i>Figura 45: Bloque 7- microcontrolador ESP32 #1</i> .....	65
<i>Figura 46: Placa Base para ESP 32</i> .....	65
<i>Figura 47: Bloque 8 -ESP 32 #2</i> .....	66
<i>Figura 48: Bloque 9 - Display LCD</i> .....	67
<i>Figura 49: Diseño Plaqueta Alarmas</i> .....	67
<i>Figura 50: Bloque 10- Placa de simulación de Activación de alarmas e indicadores</i> .....	68
<i>Figura 51: Esquema Conexionado Rele Buchholz</i> .....	69
<i>Figura 52: Transformador de Intensidad para sensado de Corriente de Fuga a Tierra</i> .....	69
<i>Figura 53: esquemas de Tensiones de Paso y Contacto</i> .....	70
<i>Figura 54: Vista Principal de Interfaz de Usuario</i> .....	71
<i>Figura 55: Interfaz Gráfica de Tensiones</i> .....	72
<i>Figura 56: Interfaz Gráfica de Corriente</i> .....	73

---



---

<i>Figura 57: Interfaz Gráfica de Temperatura.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 58: Alarma Falta de Fase .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 59: Alarma De Actuación de Descargador de Sobretensión.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 60: Alarma De Actuación de Alarma de Rele Buchholz.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 61: Alarma De Sobrepresión en Tanque de expansión .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 62: Alarma De Actuación por bajo Nivel de Aceite.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 63: Alarma Posible Peligro por Tensión de Paso .....</i>	<i>75</i>



## INDICE DE TABLAS Y DIAGRAMAS

<i>Tabla 1: Especificaciones Técnicas Sensor ZMPT 101 .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2: especificaciones técnicas Sensor de Temperatura DHT22 .....</i>	<i>39</i>
<i>Diagrama 1: Diagrama Flujo Algoritmo ESP32 #1.....</i>	<i>51</i>
<i>Diagrama 2: Diagrama Flujo Algoritmo ESP32 #2.....</i>	<i>53</i>
<i>Diagrama 3: Diagrama Flujo Pagina Web Embebida en ESP32 #2 .....</i>	<i>55</i>
<i>Diagrama 4: Diagrama Flujo Algoritmo ESP32 - CAM.....</i>	<i>57</i>





---

## RESUMEN

Las subestaciones eléctricas son parte fundamental para la transmisión y distribución de energía eléctrica, es por esto, que se ve la necesidad de tener un seguimiento constante y obtener información del funcionamiento de los diferentes equipos que componen las mismas, pero principalmente del transformador de Potencia.

Básicamente, el sistema que se desarrollara a continuación permite obtener variables físicas y eléctricas de la Subestación Eléctrica, los cuales son concentrados en un microcontrolador y emitidos mediante Wifi para que sean leídos mediante una página web en algún dispositivo electrónico (Tablet, PC, Celular, etc.).

Con esto se busca, principalmente, dos objetivos fundamentales:

En primer lugar, con la implementación de este sistema se busca brindar Seguridad en el personal que realiza mediciones y/o intervenciones en las subestaciones eléctricas, ya que permitiría obtener datos del estado de funcionamiento de la S.E.T sin ingresar al recinto de seguridad (por ejemplo, medición de corrientes de fases). Esto es de vital importancia en la industria, ya que la prevención de accidentes e incidentes mediante la implementación de tecnologías es una herramienta muy buscada.

Por otro lado, este sistema permitirá monitorear efectivamente las variables Físicas y Eléctricas de una subestación Eléctrica. Con la información adquirida durante el monitoreo, se pueden tomar luego decisiones para cumplir con los programas de operación y mantenimiento y así mejorar la confiabilidad de las subestaciones, reduciendo así la probabilidad de desabastecimiento de energía eléctrica en las instalaciones de petróleo.

En resumen, mediante este proyecto, se pretende desarrollar un sistema de monitoreo de variables físicas y eléctricas en los transformadores de campo de yacimiento petroleros. Este monitoreo se aplicará principalmente a Subestaciones Transformadoras de Pozos alejados a los cuales no llegan sistemas de monitoreo en forma de sistemas red física o fibra Óptica.



## CAPÍTULO 1: MARCO TEORICO

### 1. Introducción

A continuación, se desarrollará el marco teórico sobre el cual se basa esta tesis. Se realizará una introducción a los distintos componentes de la subestación eléctrica, describiendo estos componentes, así como también los sensores y las variables que el microcontrolador deberá gestionar para generar los valores y alarmas en el dispositivo de interfaz con el usuario.

#### 1.1. Subestación Eléctrica de Campo

Una subestación eléctrica de campo es una instalación crucial en sistemas eléctricos que operan en áreas remotas o distantes campo adentro de los yacimientos de petrolero. Su función principal es recibir energía eléctrica de media tensión (como 33 kV, 12.3 kV o 10.4 kV) desde una fuente de generación o desde una subestación principal, transformándola para su distribución y uso en ubicaciones de pozos petroleros. En campo, se encuentran típicamente tres tipos de subestaciones:

- Subestación Eléctrica a Nivel de Piso
- Subestación Eléctrica Tipo Biposte
- Subestación Eléctrica Tipo Monoposte

El tipo de subestación instalada depende de la potencia requerida por la carga que debe alimentar. A continuación, se detallan los diseños constructivos de estos tipos de subestaciones:

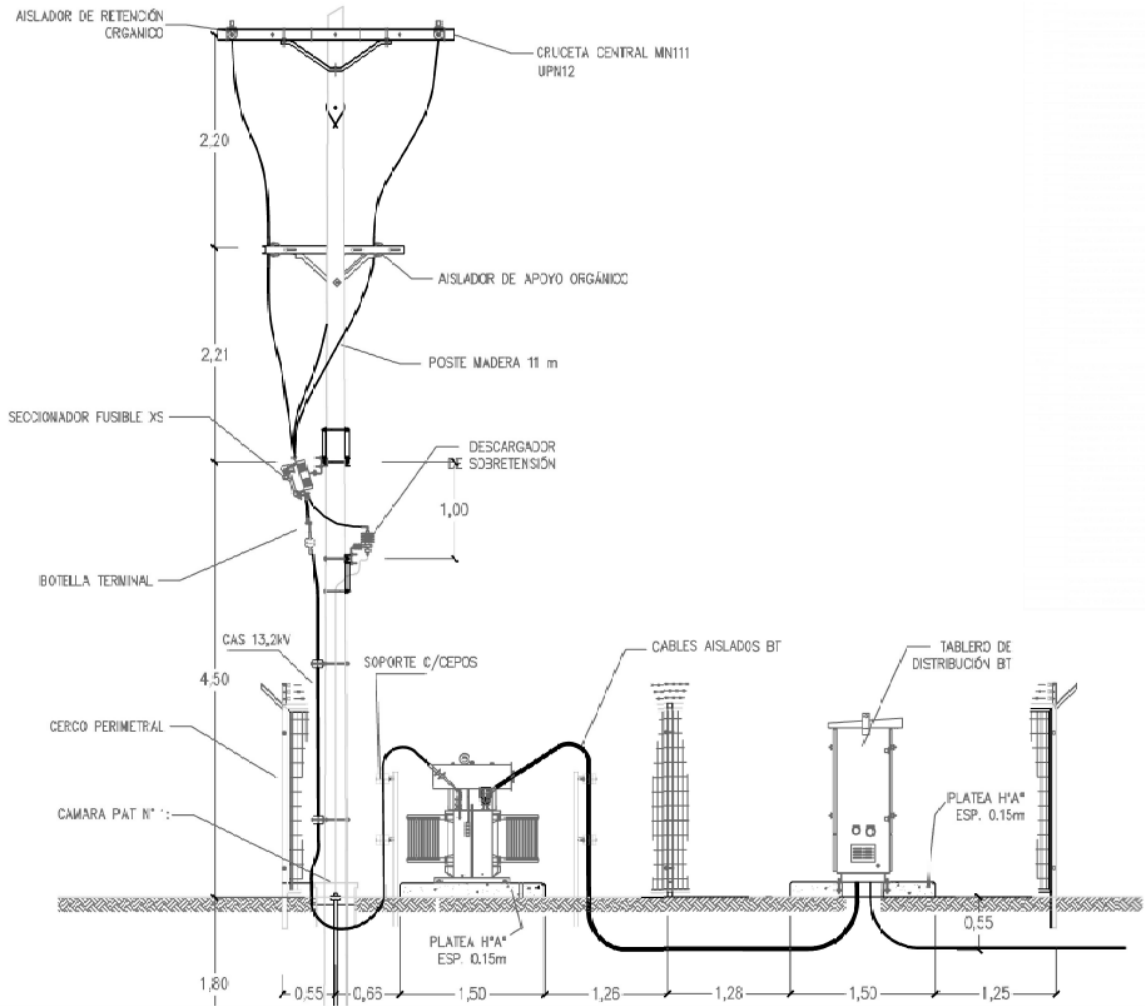


Figura 1: Esquema de Subestación eléctrica a Nivel de Piso

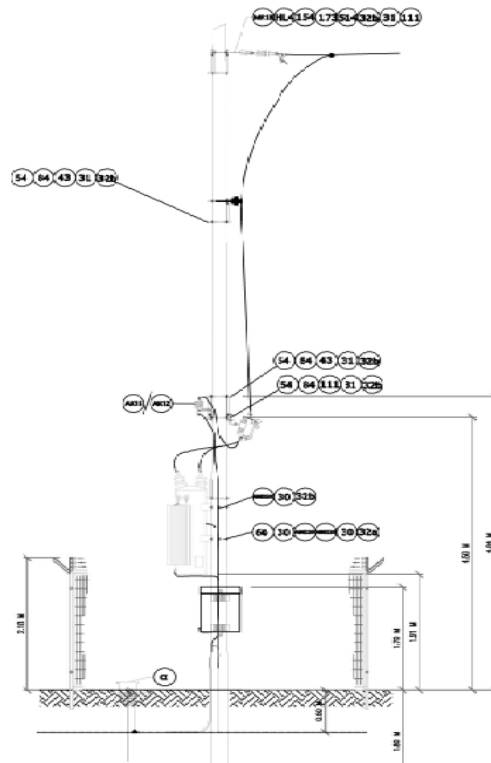


Figura 2: Esquema de Subestación Tipo Monoposte

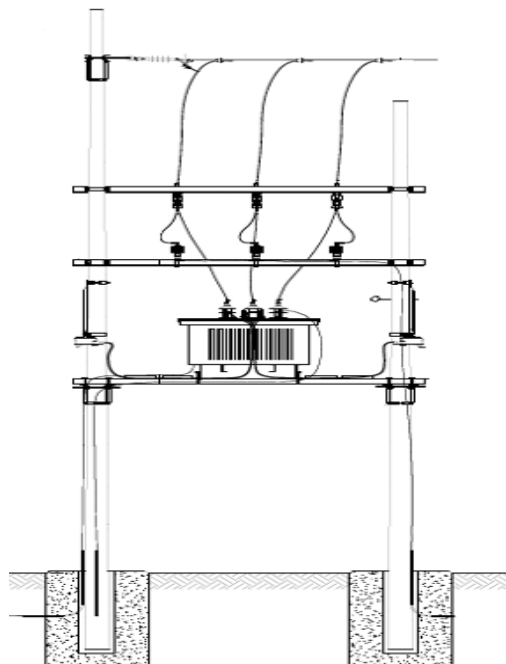
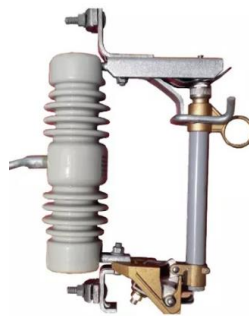


Figura 3: Esquema de Subestación Tipo Biposte



Básicamente, los elementos de la subestación eléctrica son:

- Transformadores de Potencia: es el encargado de reducir la tensión de entrada de Media Tensión (33 Kv, 13.2 Kv, 10.4 Kv o 6.6 Kv) a Baja Tensión (380 Volt Trifásicos)
- Seccionadores MT: Se trata se seccionadores en Media tensión (generalmente tipo Fusible XS), los cuales permiten la operación de la línea MT y aislar la subestación. También Ofrecen protección contra sobre corrientes.



*Figura 4: Seccionador Fusible XS de Media Tensión*

- Descargadores de Sobretensión en MT: Dispositivos diseñados para proteger los equipos contra picos de tensión transitorios, como los generados por rayos.
- Tableros de Distribución en Baja Tensión (BT): Estos tableros son responsables de distribuir la electricidad a baja tensión hacia las cargas de la instalación. Generalmente se encuentran ubicados en una zona separada del transformador dentro de la subestación. En las subestaciones de tipo Monoposte y Biposte, estos tableros están posicionados debajo del transformador para facilitar su operación desde el nivel del suelo.

Normalmente contiene una llave seccionadora principal o de puesta en marcha (ON/OFF) y como protección contienen Fusibles NH calibrados (protección contra cortocircuitos y sobrecorrientes) También poseen señales luminosas de tipo ojo de buey indicativas de presencia o ausencia de fase.



Figura 5: Tablero Seccionador BT

## 1.2. Transformador

Un transformador de potencia es un dispositivo electromagnético utilizado para cambiar la tensión de una corriente alterna (AC) manteniendo la frecuencia de la misma. Su función principal es transformar la energía eléctrica de un nivel de tensión a otro, facilitando así su transmisión eficiente a través de las líneas de transmisión y su distribución en diferentes niveles de tensión:

**Relación de Transformación:** Es la relación entre el número de vueltas de los devanados primario y secundario del transformador, determinando la relación entre la tensión de entrada y salida.

**Núcleo Magnético:** Está compuesto por laminaciones de acero eléctrico para reducir las pérdidas de energía por corrientes parásitas (eddy currents) y para concentrar el flujo magnético.

**Devanados:** Son las bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor del núcleo del transformador. El devanado primario está conectado a la fuente de alimentación de entrada, mientras que el devanado secundario suministra la carga con la tensión transformada.

## 1.3. Funcionamiento del Transformador de Potencia:

**Principio de Inducción Electromagnética:** Cuando se aplica una corriente



alterna al devanado primario, se genera un campo magnético variable en el núcleo del transformador. Este campo magnético induce una corriente en el devanado secundario, generando así una tensión proporcionalmente transformada según la relación de vueltas de los devanados.

**Transformación de Tensión y Corriente:** La relación de transformación determina cómo la tensión y la corriente se modifican entre el devanado primario y el secundario. Por ejemplo, un transformador con una relación de transformación de 10:1 reducirá la tensión en el secundario a una décima parte de la tensión en el primario, aumentando proporcionalmente la corriente si se mantiene la potencia constante (idealmente, ya que en la práctica hay pérdidas).

**Eficiencia y Pérdidas:** Los transformadores están diseñados para ser altamente eficientes en la conversión de energía, minimizando las pérdidas de calor y maximizando la transferencia de potencia útil

### 1.3.1. Tipos de Transformadores de Potencia encontrados en Campo

Se desarrollan a continuación los tipos de transformadores hallados normalmente en las subestaciones de distribución de campo en Yacimientos petrolíferos. Este listado, responde únicamente a lo encontrado en la zona, y no es abarcativo a todos los tipos de transformadores existentes en el mercado

- Transformadores sumergidos en dieléctrico líquido con Tanque de expansión.



*Figura 6: Transformador con tanque de Expansión*



---

Los transformadores sumergidos en dieléctrico líquido con tanque de expansión son equipos esenciales en la distribución y transmisión de energía eléctrica. Estos transformadores utilizan un líquido dieléctrico, como el aceite mineral, para aislamiento y refrigeración. El tanque de expansión es una característica crucial en estos sistemas, ya que permite manejar la expansión y contracción del líquido debido a los cambios de temperatura. Este tanque es un recipiente adicional conectado al tanque principal del transformador que permite la expansión del líquido dieléctrico cuando aumenta la temperatura.

- Transformadores sumergidos en dieléctrico líquido de Llenado integral (sin depósito de expansión)



*Figura 7: Transformador de Llenado Integral*

Estos transformadores están diseñados para mantener el líquido dieléctrico (generalmente aceite) completamente sellado dentro del tanque del transformador. Esto significa que no tienen un depósito de expansión separado como en otros tipos de transformadores, donde el aceite puede expandirse y contraerse con las variaciones de temperatura.

El aceite dieléctrico se llena completamente dentro del tanque del transformador durante la fabricación y sellado. No hay espacio adicional para la expansión del aceite, por lo que el diseño debe manejar cualquier cambio volumétrico debido a la temperatura dentro del propio tanque.





---

Debido a que no tienen un depósito de expansión, estos transformadores suelen utilizar sistemas de refrigeración más eficientes para controlar la temperatura del aceite y los devanados. Esto puede incluir radiadores adicionales o ventiladores para disipar el calor generado durante la operación normal.

La falta de un depósito de expansión simplifica el diseño y la instalación del transformador, pero también significa que es crucial monitorear la temperatura y la presión dentro del tanque para evitar problemas relacionados con la expansión térmica del aceite.

- Transformadores Secos (tipo Monoposte). Este tipo de trafos utilizan el aire como medio aislante y de refrigeración, por lo tanto, a nivel de protección se simplifica muchísimo, puesto que solo deberemos controlar el parámetro temperatura.

Es por esto que este tipo de transformadores requieren incorporar un sistema de detección de temperatura un poco más sofisticado que los sumergidos. Generalmente se utilizan sondas PT100 (o PTC) que son llevadas a un controlador de temperatura local (en trafeo) para las sondas PT100 y a un convertidor para el caso de las PTC, en el cual se regulan los umbrales de alarma y disparo.



*Figura 8: Transformador Tipo Monoposte*



---

## 1.4. Elementos de protección y Sensores en Transformadores: Protecciones Mecánicas

En esta sección se abordarán las distintas variables y sensores necesarios para la protección de los transformadores de potencia, teniendo en cuenta que se desarrollaran solo los elementos que normalmente se encuentran en los transformadores existentes en campo de hasta 500 KVA

La combinación de estos elementos de protección y sensores es fundamental para la operación segura y eficiente de los transformadores. Los dispositivos de protección previenen daños mayores y los sensores proporcionan datos críticos para el monitoreo y mantenimiento proactivo. La implementación adecuada de estas tecnologías no solo extiende la vida útil del transformador, sino que también garantiza la fiabilidad del sistema de distribución eléctrica.

### 1.4.1. Medición de Temperatura

El sobrecalentamiento puede ser fatal para los transformadores. Los dispositivos de protección térmica incluyen. Relés Térmicos, que son dispositivos que miden la temperatura del transformador y pueden activar alarmas o mecanismos de desconexión cuando la temperatura supera un umbral seguro o termostatos, que son utilizados para monitorear la temperatura del aceite y del núcleo del transformador, desconectando el sistema si se detectan temperaturas peligrosas.

Una de las formas más usuales de medición/protección de temperatura es la protección de vigilancia de temperatura mediante sondas Pt100 (ANSI 38 / 49T) Esta protección, asociada a un detector de temperatura del tipo termos onda a resistencia de platino tipo Pt100 ( $100 \Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ) según normativa CEI 751, realiza la protección de vigilancia de la temperatura real de la máquina o dispositivo a proteger.

La protección actúa si la temperatura detectada por la sonda es superior al umbral de reglaje  $T_s$ , y dispone de dos umbrales, uno de nivel de alarma ( $T_{s1}$ ) y otro de nivel de disparo ( $T_{s2}$ ).

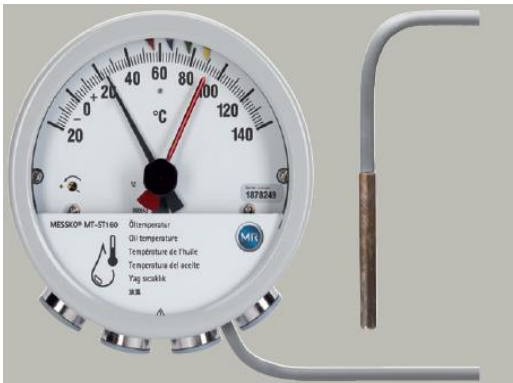


Figura 9: Sonda PT 100 e Indicador



Figura 10: Contactos Sonda temperatura en Trafo

#### 1.4.2. Protección Mediante DGPT y/o Relé de Buchholz

Estas protecciones son intrínsecas a los transformadores, es por esto que debemos diferenciar los 3 casos típicos de construcciones de los transformadores.

Tal como se mencionó anteriormente, los transformadores pueden ser de tipo sumergidos en dieléctrico líquido (aceite o silicona, como medio aislante y refrigerante) o bien de tipo secos (refrigerados por aire).

A su vez, los sumergidos en aceite pueden ser de llenado integral (sin depósito de expansión) o bien con depósito de expansión.

En el primer caso, la protección utilizada para este tipo de trafos es el DGPT2, que quiere decir Detector de Gas, Presión y Temperatura (2 umbrales, alarma y disparo).



*Figura 11: Rele DGPT2*

La detección de "pequeños" defectos internos en el trafo se basa en que estos provocan una descomposición del aceite (o silicona) que a su vez genera un desprendimiento de gas, siendo detectado por un sistema de flotadores en el interior del dispositivo de protección del transformador (Letra G del DGPT2).

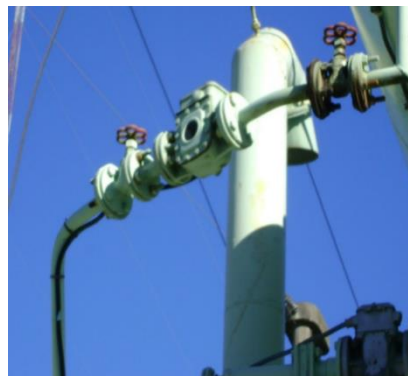
Un defecto interno violento (cortocircuito entre espiras p ej.), provoca un aumento brusco de la presión interna del transformador debido a una descomposición masiva del medio aislante, que es detectado por un presostato contenido en el dispositivo de protección del transformador (letra P del DGPT2). Este presostato viene preregulado por el constructor del transformador, normalmente a 200 mbar, y al superar dicho umbral provoca el disparo inmediato del transformador para evitar que pueda llegar a explotar.

La detección de la temperatura interna del líquido aislante en la capa superior del transformador se realiza mediante un termostato a doble contacto, uno de alarma regulado normalmente a 90°C y otro de disparo regulado a 100°C, contenido en el interior del dispositivo mencionado (Letras T2 del DGPT2).

Para el caso de los transformadores con tanque de expansión, la protección utilizada es el relé Buchholz en el depósito de expansión, y un termostato a doble contacto para la detección de la temperatura interna del medio aislante, generalmente zonda PT 100 de temperatura. La filosofía es la misma que en el caso anterior, pero en este caso el Buchholz realizará las funciones del DGP



*Figura 12: Relé de Buchholz*



*Figura 13: Montaje Relé Buchholz*

Dependiendo del modelo, el relé puede detectar varios tipos de fallos del transformador. En caso de acumulación lenta de gas, posiblemente debida a una ligera sobrecorrientes, el gas producido por la descomposición química del aceite aislante se acumula en la parte superior del relé y provoca el descenso del nivel de aceite. Un interruptor de nivel en el relé se usa para disparar una señal de alarma. Este mismo interruptor también puede servir para detectar cuando el nivel de aceite es bajo, como en el caso de una pequeña fuga del refrigerante.

Si se forma un arco la acumulación de gas es repentina y el aceite fluye rápidamente hacia el depósito de expansión. Este flujo de aceite actúa sobre el interruptor accionado por una veleta situada en la trayectoria del aceite en movimiento. Este contacto normalmente activa un interruptor para desconectar el aparato antes de



---

que el fallo cause daños adicionales.

El relé de Buchholz tiene una compuerta de pruebas que permite que el gas acumulado sea retirado para realizar ensayos (habitualmente por cromatografía de gases). Las proporciones relativas de gases permite diagnosticar el tipo de falla que produjo la descomposición del aceite. En caso de que se encuentre aire, significa que el nivel de aceite es bajo, o bien que existe una pequeña pérdida.

Para el caso de los transformadores secos, tal como se mencionó anteriormente, solo se debe controlar el parámetro de temperatura, es por esto que este tipo de transformadores incorporan un sistema de detección de temperatura un poco más sofisticado que los sumergidos, y se basa en las sondas PT100 (o PTC) que son llevadas a un controlador de temperatura local (en trafo) para las sondas PT100 y a un convertidor para el caso de las PTC, en el cual se regulan los umbrales de alarma y disparo.

#### 1.5. Protecciones contra sobretensiones y sobrecorrientes en transformadores: Protecciones Eléctricas

La protección de transformadores es esencial para la integridad y la fiabilidad del sistema eléctrico. Entre las amenazas más comunes están las sobretensiones y las sobrecorrientes, que pueden causar daños significativos si no se gestionan adecuadamente. Normalmente, estos dispositivos de protección monitorean los equipos en forma externa y en caso de existir una falla, envían señales de apertura a los interruptores asociados a fin de aislarlo eléctricamente. A continuación, se detallan los mecanismos y dispositivos utilizados para proteger los transformadores contra estas amenazas.

##### 1.5.1. Protecciones contra Sobretensiones

Las sobretensiones son picos de voltaje que pueden ser causados por eventos como descargas atmosféricas (rayos), maniobras de conmutación, o fallos en el sistema eléctrico. La protección contra sobretensiones es crucial para evitar el daño al aislamiento del transformador y otros componentes sensibles.

Generalmente, en las subestaciones transformadoras de campo, el elemento de



---

protección contra sobretensiones es el descargador de sobretensión



*Figura 14: Montaje de Descargadores en Cabezal de Subestación*

Los descargadores de sobretensión están diseñados para derivar a tierra las tensiones peligrosas que puedan afectar la aislación de los equipos protegidos.

Cuando una sobretensión (como un rayo o una maniobra de conmutación) afecta la red eléctrica, el descargador detecta el aumento de voltaje y proporciona un camino de baja resistencia hacia la tierra. Al hacerlo, protege los equipos conectados aguas abajo al evitar que la sobretensión llegue a niveles peligrosos.

Los Descargadores de sobretensión utilizados en las subestaciones de campo son de tipo Oxido de Cinc (ZnO) los cuales utilizan varistores de óxido de zinc para absorber la energía de la sobretensión y desviarla a tierra.

#### 1.5.2. Protecciones contra Sobrecorrientes

Las sobrecorrientes, causadas por cortocircuitos, sobrecargas o fallos en el sistema, pueden dañar severamente los transformadores y otros componentes del sistema eléctrico. Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes son esenciales para detectar y desconectar rápidamente estas corrientes peligrosas.

En las subestaciones que se instalan a campo, o que normalmente se instala como protección contra sobrecorrientes son Fusibles XS de Media Tensión.



*Figura 15: Seccionadores Fisibles XS Montados sobre Cabezal de Subestación*



*Figura 16: lamina Fusible Positrol 10 A*

Estos contienen una lámina fusible calibrada, la cual protegen a la instalación al fundirse y desconectar el circuito cuando la corriente excede un nivel predeterminado, previniendo daños por sobrecorrientes.

El seccionador fusible es un aparato de maniobra y de “protección “que como seccionador no opera con corriente de carga o corriente de falla. El que actúa ante una falla es el fusible que esta puesto como elemento de unión entre los dos polos, interrumpiendo el circuito. Es un elemento de maniobra porque permite abrir un circuito en forma visible, sin carga y es un elemento de protección porque tiene un fusible.





---

## CAPÍTULO 2: OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

### 2.1 Definición del Problema

La subestación Eléctrica, por medio de su Transformador es la encargada de Reducir la tensión de la línea (que puede ser generalmente de 33 Kv, 13.2 Kv o 10,4 Kv) a valores de Baja tensión para la alimentación de los motores eléctricos de los equipos de bombeo.

Durante el tiempo de operación, los transformadores eléctricos de potencia están propensos a esfuerzos mecánicos y eléctricos que degradan su sistema de aislamiento. Las principales causas de degradación son: temperatura excesiva, esfuerzos eléctricos y fallas que combinadas con los esfuerzos eléctricos aceleran el proceso de degradación.

El proceso de degradación del aislamiento se desarrolla gradualmente hasta llegar al punto de que se presente la falla, que pueden ser fallas leves o llegar a ser fallas catastróficas, que implican la destrucción de los transformadores. La oportuna detección de una falla o degradación del aislamiento hacen la diferencia entre exponer al transformador a una reparación grande o solamente sustituir una pieza en mal estado.

Las subestaciones Transformadoras de Tensión de Campo son muchas veces instalaciones montadas en lugares alejados dentro de los Yacimientos productores de Petróleo y Gas.

A estas locaciones Alejadas, solo llegan los servicios básicos para la producción del Pozo, tales como la Línea Eléctrica de Media Tensión, las salidas de las líneas de Producción (cañerías que transportan el producto) y por supuesto el camino de acceso a la locación o Instalación.

Estos tipos de Subestaciones Eléctricas pueden ser de variadas potencias en función de la cantidad de Equipos que alimenten, encontrando así potencias desde los 50 KVA (Instalaciones para pozos únicos por locación de baja producción) hasta los 500 KVA para las locaciones de hasta 8 pozos por locación (sistema de Pozos tipo PAD en zona No Convencional).



*Figura 17: Vista de una SET de campo de Pozo único*



*Figura:2: Vista de una SET de campo de 3 Pozos*

Generalmente, estas instalaciones, al encontrarse alejadas, no cuentan con ningún



---

sistema de monitoreo de estado y/o señales. En su lugar, son visitadas por personal recorridor u operadores que verifican su funcionamiento, pero no se realiza ningún tipo de verificación del estado de la Subestación Transformadora.

Esta falta de monitoreo provoca que se originen fallas en transformadores y elementos de maniobra de la Subestación Eléctrica de Transformación (SET), como seccionadores, descargadores, interruptores, cajas seccionadoras, tableros, etc. Dichas fallas, de haber sido detectadas con antelación, podrían evitar problemas graves en la instalación.

Por otro lado, cuando el operador detecta alguna falla en el equipo o subestación, muchas veces, debido a que se trata de personal no idóneo, no puede determinar a simple inspección si la instalación está operando en modo normal o no. Esto implica también un alto riesgo para este personal, ya que en numerosas ocasiones han ocurrido incidentes cuando personal no idóneo intenta medir variables eléctricas (tensiones, corrientes, potencias, etc.) e ingresa a la subestación eléctrica.

Otro aspecto y problema importante que se presenta en estas instalaciones es que, si en la instalación actúa la protección de sobretensión (descargadores de sobretensión en media o alta tensión), la instalación puede quedar en servicio nuevamente, pero sin protección hasta que se detecta visualmente la apertura del desligador. En este tiempo muerto, si se produce una nueva sobretensión (como la caída de un rayo, por ejemplo), la instalación sufrirá una descarga que dañará indefectiblemente el transformador



*Figura 19: Descargador de sobretensión*



## 2.1 Solución Propuesta

Si bien existen sistemas de monitoreo y control de subestaciones, estos se aplican normalmente en instalaciones de mayor envergadura, tales como centros de distribución y máquinas de más de 1 MVA de potencia.

Con el trabajo propuesto en esta tesis, se busca implementar un sistema de monitoreo de variables eléctricas para transformadores y subestaciones eléctricas alejadas o instaladas en campos remotos dentro de los yacimientos.

Esta acción se basa en la creación de un sistema de monitoreo local. Básicamente, se tratará de un sistema que deberá realizar la medición de las variables críticas de un transformador y, mediante un microcontrolador, logrará la comunicación del estado de la subestación eléctrica de transformación (SET) a un dispositivo portátil cercano del usuario.

A continuación, se presenta un esquema explicativo de las funciones que desarrollará este sistema de monitoreo:

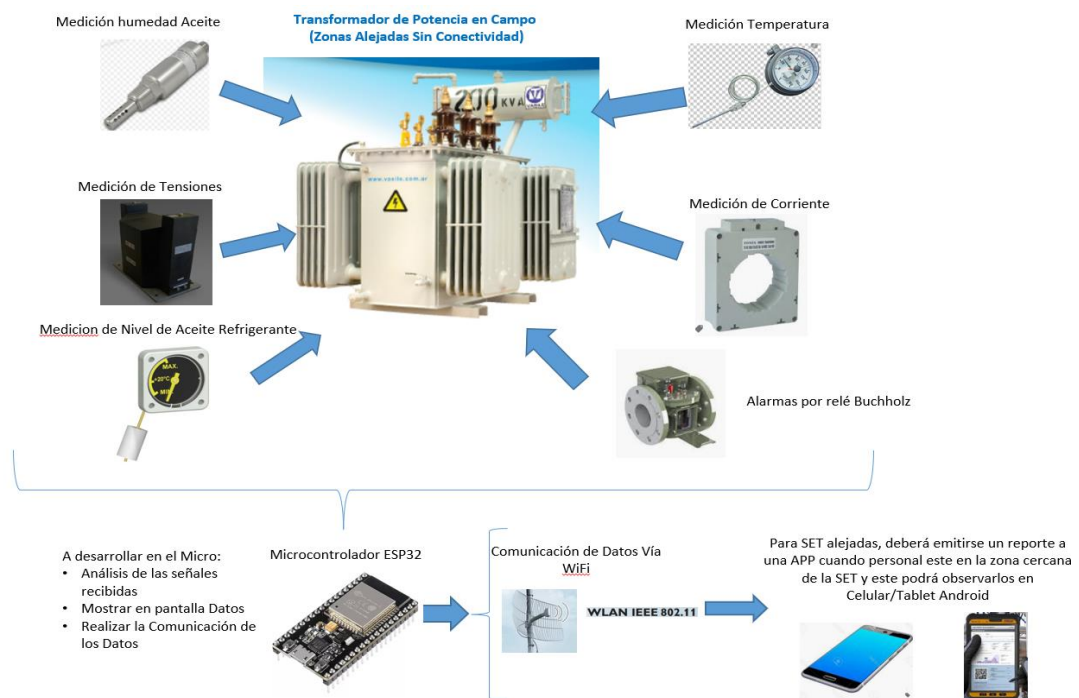


Figura 20: Esquema de Sistema Propuesto



Esquemáticamente, se tienen sensores de variables físicas (temperatura, nivel, movimiento, etc.) y eléctricas (tensiones y corrientes) cuyos valores medidos son concentrados en un ESP32. Este microcontrolador será el encargado de gestionar toda la lógica de medición, acondicionamiento de señal y transmisión de datos mediante señal de Wifi.

Además, se generará una interfaz con el usuario donde se mostrarán todas las variables medidas y las distintas alarmas generadas ante la actuación de algunos de los sistemas de protección con los que cuente la subestación eléctrica.



---

## CAPÍTULO 3: HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS

### 3.1 Introducción

En este capítulo se describirán los distintos elementos de hardware y software desarrollados para este proyecto. En primer lugar, se especificarán los elementos de hardware utilizados, realizando una breve descripción de la funcionalidad y descripción de los mismos.

### 3.2 Hardware

#### 3.2.1 Microcontrolador ESP 32

El microcontrolador ESP-32 es una herramienta muy potente para el diseño de prototipos con IoT (Internet de las cosas). Integra en una placa el SoM ESP-WROOM-32 que tiene como base al SoC ESP32, el conversor USB-serial CP2102 necesario para programar por USB el ESP32, reguladores de voltaje y leds indicadores.

La ESP32 es la evolución del ESP8266 mejorando sus capacidades de comunicación y procesamiento computacional. A nivel de conectividad permite utilizar diversos protocolos de comunicación inalámbrica como WiFi y Bluetooth.



*Figura 21: ESP 32*



En cuanto a procesamiento, cuenta con una CPU 32-bit de dos núcleos de hasta 240 Mhz que se pueden controlar independientemente. Además, incluye internamente una gran cantidad de periféricos para la conexión con sensores táctiles capacitivos, sensor de efecto Hall, amplificadores de bajo ruido, interfaz para tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I2S e I2C. Aplicado en Mini Servidores Web, Procesamiento digital, Webcams, Cámara IP, Robótica móvil, Domótica y más.

Los pines de entradas/salidas (GPIO) trabajan a 3.3V por lo que para conexión a sistemas de 5V es necesario utilizar convertidores de nivel.

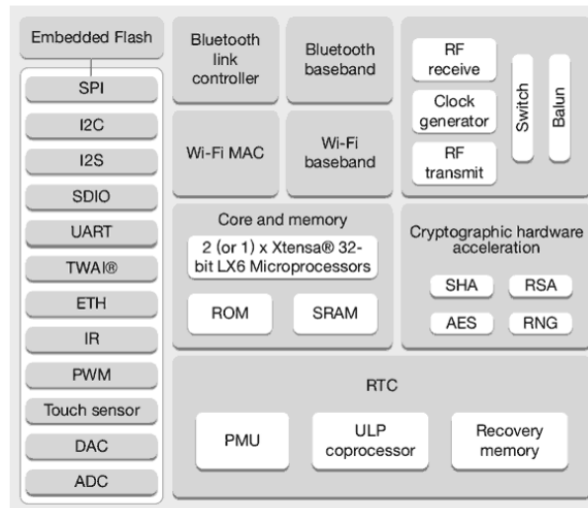
La plataforma ESP32 permite el desarrollo de aplicaciones en diferentes lenguajes de programación, frameworks, librerías y recursos diversos.

Los ESP32 poseen un alto nivel de integración. En su pequeño encapsulado se incluyen:

- interruptores de antena
- balun de RF
- amplificador de potencia
- amplificador de recepción de bajo ruido
- filtros y módulos de administración de energía

Además, logra un consumo de energía muy bajo a través de funciones de ahorro de energía que incluyen sincronización de reloj y múltiples modos de operación. Esto hace que sea una muy buena herramienta para proyectos energizados con baterías o aplicaciones IoT.





*Figura 22: Arquitectura Interna ESP 32*

El chip cuenta con conectividad WiFi, siendo compatible con 802.11 b/g/n en la banda de los 2.4GHz, alcanzando velocidades de hasta 150 Mbits/s. También incluye comunicación Bluetooth compatible con Bluetooth v4.2 y Bluetooth Low Energy (BLE).

Luego vemos el bloque de radio, el cual está estrechamente ligado a los módulos de comunicación inalámbricos, siendo el que realmente transmite y recibe la información.

Es decir que este bloque es el que se encarga de tomar los datos digitales provenientes de los módulos Wifi y Bluetooth, y los convierte en señales electromagnéticas que viajan por el aire para comunicarse con un teléfono móvil o router. También realiza la operación inversa, es decir que puede traducir las ondas electromagnéticas generadas por otros dispositivos en datos digitales que los módulos Wifi y Bluetooth son capaces de interpretar.

Como ya mencionamos, el ESP32 cuenta con dos microprocesadores de bajo consumo Tensilica Xtensa de 32 bits LX6, pero además cuenta con un co-procesador de ultra bajo consumo que es utilizado para realizar conversiones analógico-digital y otras operaciones mientras el dispositivo se encuentra funcionando en el modo de bajo consumo deep sleep. De esta forma, se consigue un consumo muy bajo por parte del SoC.





---

Estos procesadores ofrecen grandes ventajas típicas de un procesador digital de señales: Sistema de monitoreo para heladas

- Frecuencia de operación: 240 MHz (ejecuta instrucciones 15 veces más rápido que una placa Arduino UNO)
- Permite realizar operaciones con números reales (números con coma) de forma muy eficiente.
- Permite realizar multiplicaciones de números grandes de forma instantánea.

En cuanto a las memorias del ESP32, podemos encontrar dos tipos de memorias que se clasifican como memorias internas y memorias externas. Las memorias internas son aquellas que se encuentran ya incluidas en el SoC, y las memorias externas son aquellas que se pueden adicionar para expandir la capacidad del sistema.

Muchas placas de desarrollo basadas en ESP32 añaden memorias externas para lograr un sistema con mejores prestaciones. Las memorias internas del ESP32 son:

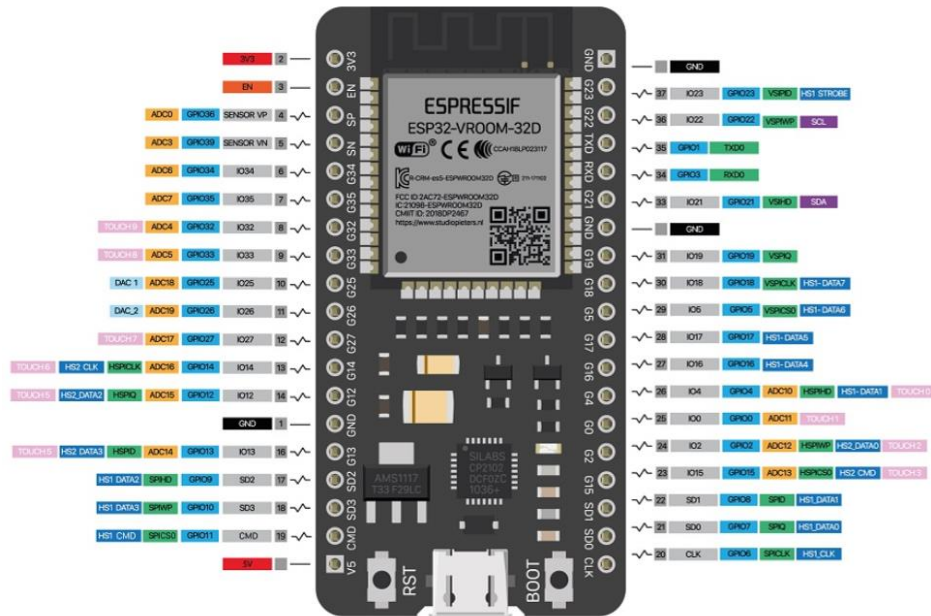
- Memoria ROM (448 KB): esta memoria es de solo escritura, es decir que no se puede reprogramar. En esta memoria se almacenan los códigos que manejan la pila Bluetooth, el control de la capa física de la Wifi, algunas rutinas de propósito general y el cargador de arranque (bootloader) para iniciar el código de la memoria externa.
- Memoria SRAM interna (520 KB): esta memoria es utilizada por el procesador para almacenar tanto datos como instrucciones. Su ventaja es que, para el procesador, es mucho más fácil acceder a esta que a la SRAM externa.
- RTC SRAM (16 KB): esta memoria es utilizada por el co-procesador cuando el dispositivo opera en modo deep sleep.
- Efuse (1 Kbit): 256 bits de esta memoria son utilizados por el propio sistema y los 768 bits restantes están reservados para otras aplicaciones.
- Flash empotrada (Embedded flash): esta memoria es donde se almacena el código de nuestra aplicación. La cantidad de memoria varía en dependencia del chip utilizado.

Para los ESP32 que no poseen memoria empotrada o simplemente cuando la memoria es insuficiente para la aplicación que se desea diseñar, es posible adicionar



más memoria de forma externa. Se pueden agregar hasta 16 MiB de memoria flash externa y también admite hasta 8 MiB de memoria SRAM externa.

En la siguiente figura, se puede observar el esquema de los diferentes pines a los cuales tenemos acceso en la placa:





utilizado para medir la tensión de fase en tensión Alterna. El sensor de voltaje AC está diseñado a partir de un transformador, por lo que solo se puede utilizar para medir tensiones de tipo Alterna

Proporciona un aislamiento eléctrico entre el circuito de alta tensión y el circuito de baja tensión.

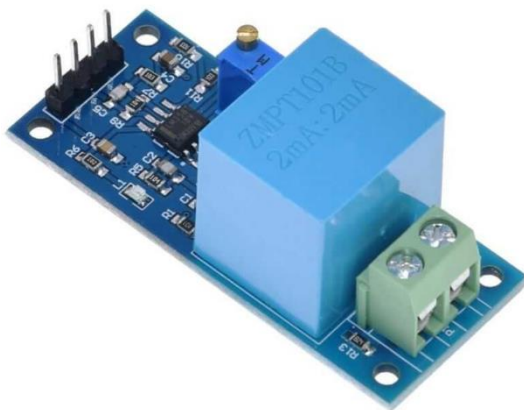


Figura 24: Sensor de Tensión AC ZMPT101B



Figura 25: Diagrama Conexiones Sensor ZMPT101B

Incluye un amplificador operacional (op-amp) para amplificar y ajustar la señal a niveles utilizables para un microcontrolador o ADC (Convertidor Analógico-Digital). El módulo generalmente tiene una salida analógica que representa el valor del voltaje AC medido.

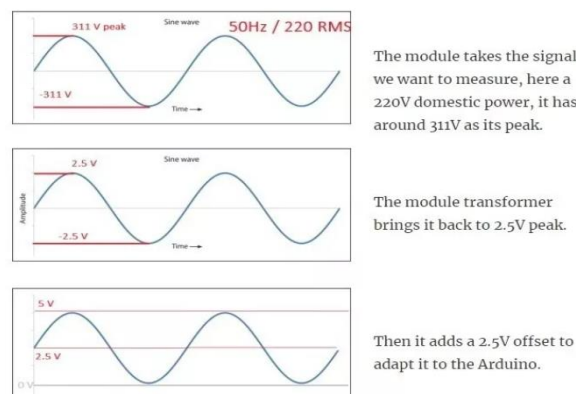


Figura 26: Señal Entrada/Salida de Sensor ZMPT



### Especificaciones Técnicas

- Tensión de entrada: 0 - 250V AC.
- Tensión de salida: Proporcional al voltaje de entrada, rango de 0 - 5V
- Precisión: Alta precisión en la medición del voltaje.
- Aislamiento: Proporciona aislamiento galvánico entre el circuito de medición y el microcontrolador.
- Alimentación: Generalmente requiere una fuente de alimentación de 5V DC.

Electrical Specification	
Primary Current	2mA
Secondary Current	2mA
Turns Ratio	1000:1000
Phase Angle Error	$\leq 20'$ (50 $\Omega$ )
Current Range	0 ~ 3mA
Linearity	0.1%
Accuracy Class	0.2
Rated Burden	$\leq 200 \Omega$
Frequency Range	50 ~ 60Hz
Dielectric Level	3000VAC/min
DC Resistance at 20°C	110 $\Omega$

Tabla 1: Especificaciones Técnicas Sensor ZMPT 101

Para el proyecto se utilizaron 3 Sensores de este Tipo. Uno por cada fase de tensión.

### 3.2.3 Sensor de Corriente ACS 712 -20 Amp

El sensor ACS712 es un sensor de corriente basado en efecto Hall que se utiliza para medir la corriente tanto en aplicaciones de corriente continua (DC) como de corriente alterna (AC).

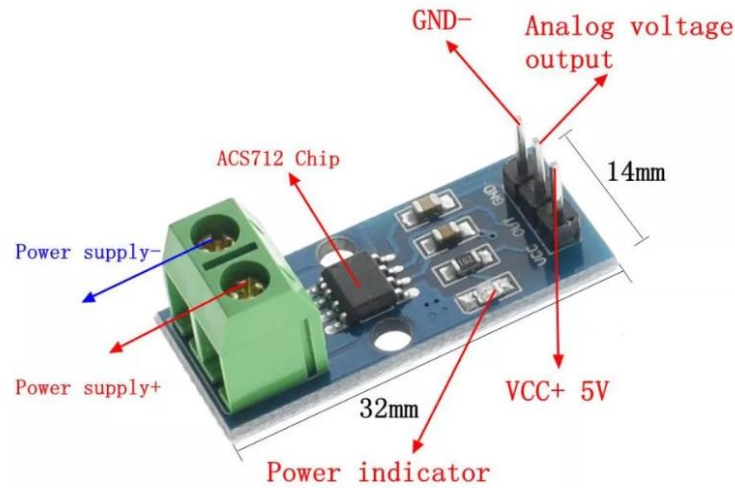


Figura 27: Diagrama Conexiones Sensor Corriente ACS 71

El ACS712 funciona basándose en el efecto Hall. Este es un fenómeno que ocurre cuando un conductor transporta corriente y se coloca en un campo magnético perpendicular. La corriente induce un voltaje transversal en el conductor, que puede ser medido.

La corriente que se desea medir pasa a través del conductor en el sensor. El sensor produce un campo magnético proporcional a la corriente que fluye a través del conductor.

Un dispositivo de efecto Hall dentro del sensor detecta el campo magnético generado. Este dispositivo convierte el campo magnético en una tensión. Esta tensión es proporcional a la corriente medida.

#### Características Técnicas

- Voltaje de Operación: 5V
- Corriente máx: 30A
- Sensibilidad: 185 mV/A



- Señal analógica de bajo ruido
- Tiempo de respuesta de la salida: 5us
- Error:  $\pm 1.5\%$  (@25 °C) ajustado en fábrica
- Resistencia del conductor: 1.2 Mohm
- Mide tanto corrientes AC como DC
- Offset de salida sumamente estable
- Histéresis magnética próxima a cero

Para el proyecto se utilizaron 3 Sensores de este Tipo. Uno por cada fase de corriente.

#### 3.2.4 Sensor de Temperatura y Humedad DHT 22

El DHT22 es un sensor del tipo capacitivo que releva la humedad y la temperatura de manera digital. Posee una alta fidelidad y una excelente estabilidad a largo plazo.

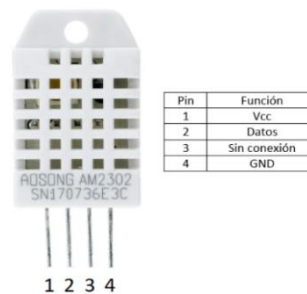


Figura 28: Sensor de Temperatura y Humedad DHT

El DHT22 utiliza un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir la humedad y la temperatura del aire, respectivamente. Estos valores son convertidos a una señal digital que puede ser leída por un microcontrolador

El sensor de humedad capacitivo mide la humedad relativa del aire. La capacidad del sensor varía con la humedad, lo que se convierte en una señal eléctrica.



El termistor mide la temperatura del aire. La resistencia del termistor varía con la temperatura, lo que se convierte en una señal eléctrica.

Las señales analógicas de humedad y temperatura se convierten en datos digitales mediante un convertidor dentro del sensor. El sensor envía los datos a través de una interfaz de un solo cable (1-wire) al microcontrolador.

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+/-0.3%RH
Long-term Stability	+/-0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

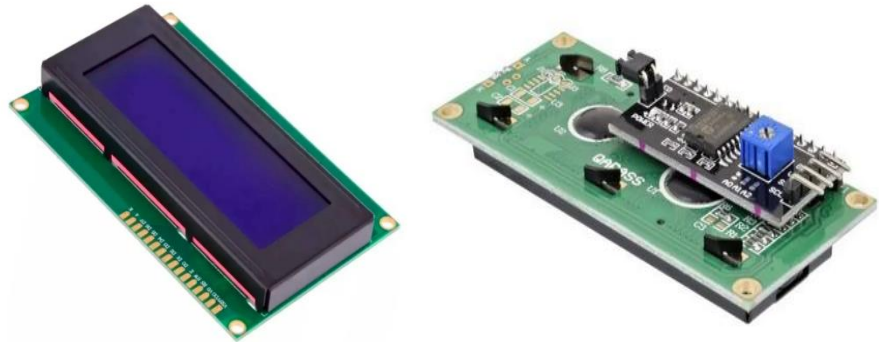
Tabla 2: especificaciones técnicas Sensor de Temperatura DHT22

Para este proyecto, se utilizó un elemento DHT22, el cual mide la temperatura y Humedad a fin de emular la medición de estos parámetros en un transformador

### 3.2.5 Display LCD 20x4

El display LCD 20x4 con interfaz I2C permite la visualización de hasta 80 caracteres organizados en 4 líneas de 20 caracteres cada una. La interfaz I2C reduce significativamente la cantidad de pines necesarios para controlar el display, simplificando el diseño del circuito y la conexión con el microcontrolador.





*Figura 29: Display LCD 20x4 con Interfaz I2C*

El Display LCD 20×4 LCD2004 I2C cual es un expansor de entradas y salidas digitales a través de la comunicación serial. Con el controlador i2c se logra controlar y comunicar el LCD con dos pines del ESP 32 (SDA y SCL). Donde el SDA (Serial Data) es la línea de datos que transporta la información entre el microcontrolador y el display y el SCL (Serial Clock) sería la Línea de reloj que sincroniza la transferencia de datos.

El contraste de la pantalla entre los dígitos y el fondo es controlado a través del potenciómetro incluido en el módulo.

Los caracteres para mostrar se envían en formato ASCII al display. El controlador HD44780 maneja la conversión de estos caracteres y la actualización de la pantalla.

#### Características Técnicas:

- Tipo: Pantalla LCD Monocromática
- Modelo: LCD 20×4 con I2C LCD2004
- Voltaje de alimentación: 5V DC
- Dispositivo base del módulo I2C: PCF8574
- Dispositivo base de la LCD: HD44780
- Corriente de entrada: 125 mA





- Color de fondo disponible:
- Fondo azul y texto blanco
- Fondo amarillo y texto negro
- Comunicación: I2C (0X27 por Default)
- Ajuste de Brillo: Si, por potenciómetro

Para este proyecto se utilizó un LCD 20x4 en el que se muestra la temperatura, tensiones y corrientes medidas por el sistema.

### 3.2.6 Microcontrolador dedicado ESP 32 – CAM

El ESP32-CAM es un módulo basado en el microcontrolador ESP32 que incluye una cámara integrada, ofreciendo capacidades de procesamiento de imágenes y video junto con conectividad Wi-Fi y Bluetooth. Este módulo es ideal para aplicaciones de monitoreo, vigilancia, proyectos de Internet de las Cosas (IoT) y más. El ESP32-CAM combina las capacidades de un microcontrolador ESP32 con una cámara, permitiendo capturar y procesar imágenes y video, así como transmitir estos datos a través de Wi-Fi. La cámara OV2640 captura imágenes y videos. Las imágenes pueden ser procesadas y comprimidas en varios formatos (por ejemplo, JPEG).

Utiliza Wi-Fi para transmitir imágenes y videos a través de una red local o Internet. Puede enviar datos a un servidor, aplicación web, o almacenarlos en una tarjeta microSD.

Ofrece varios pines GPIO que permiten la conexión de sensores adicionales, actuadores, y otros periféricos. Compatible con comunicación UART, SPI, e I2C para interactuar con otros dispositivos y módulos.



Figura 30: Microcontrolador Dedicado ESP32 - CAM

El ESP32-CAM tiene 16 pines en total. Para mayor comodidad, los pines con funciones similares se agrupan. La distribución de pines es la siguiente

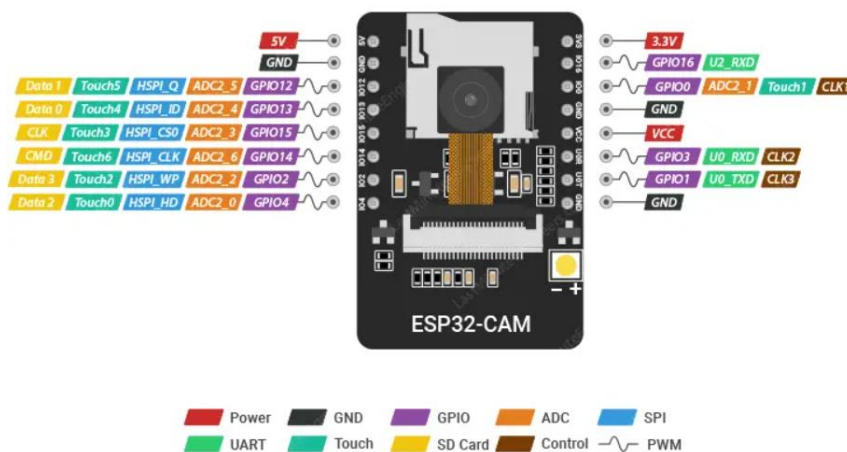


Figura 31: Diagrama de Pines y Conexionado ESP32 - CAM

El chip ESP32-S tiene 32 pines GPIO en total, pero como muchos de ellos se utilizan internamente para la cámara y la PSRAM, el ESP32-CAM solo tiene 10 pines GPIO disponibles. A estos pines se les pueden asignar diversas funciones periféricas, como UART, SPI, ADC y Touch, programando los registros apropiados.



La placa tiene 10 canales (todos pines GPIO) de pines PWM controlados por un controlador PWM. La salida PWM se puede utilizar para controlar motores digitales y LED. El controlador PWM consta de temporizadores PWM, el operador PWM y un submódulo de captura dedicado. Cada temporizador proporciona temporización en forma sincrónica o independiente, y cada operador PWM genera una forma de onda para un canal PWM. El submódulo de captura dedicado puede capturar eventos con precisión mediante temporización externa.

Para el caso de este proyecto este ESP se utilizó como sensor de movimiento, a fin de lograr la detección de desplazamiento de deslizador de descargador de sobretensión en la Subestación Transformadora. Se desarrollará más adelante en este documento, esta aplicación específica para este elemento (ver inciso 5.2.6 Bloque 6: Etapa de Detección de Movimiento EPS32 CAM)

### 3.2.7 Fuente 220 VAC / 5 VCC

Como alimentación de todo el sistema se utilizó una fuente de alimentación aislada switching, (fuente conmutada), la cual convierte la energía de corriente alterna (AC) de la red eléctrica en una corriente continua (DC) estabilizada de 5V.



*Figura 32: Fuente tensión Auxiliar 220 VCA / 5*



---

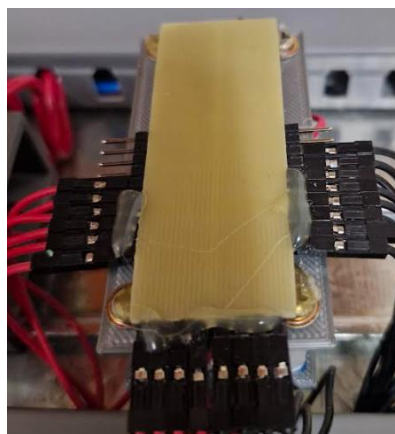
Mantiene un voltaje de salida constante de 5V con variaciones mínimas (ruido menor a 50 m Vpp).

Aísla eléctricamente el lado de entrada del lado de salida, lo que proporciona seguridad y protección contra descargas eléctricas. La tensión de aislamiento es de aproximadamente 3000V AC entre entrada y salida.

Posee protección contra sobrecorrientes (limita la corriente de salida a un máximo seguro para evitar daños) y contra sobretensión (desconecta la salida si el voltaje supera un umbral seguro). También tiene protección contra cortocircuito, desactivando la salida en caso de un cortocircuito para evitar daños en la fuente y los dispositivos conectados y contra sobre temperatura.

Tiene una eficiencia superior al 80% y un consumo en reposo de aproximadamente 0.5 W

En el contexto de este proyecto, esta fuente se utilizó para la alimentación de todos los componentes en CC (ESP32, ESP32-CAM, sensores de tensión, corriente y DHT22, leds, etc.). Por sobre esta fuente se diseñó e implemento un circuito expensor de pines a fin de facilitar la interconexión de todos los elementos detallados.



*Figura 33: Fuente tensión Auxiliar 220 VCA / 5 VCC con Plaqueta de Distribución de Tensiones*



### 3.3 Herramientas de desarrollo de Software

Para la aplicación de este proyecto de utilizaron varias herramientas de desarrollo de software.

#### 3.3.1 Visual Studio Code (Editor de código)

Visual Studio Code (también llamado VS Code) es un editor de código fuente desarrollado por Microsoft para Windows, Linux, macOS y Web. Incluye soporte para la depuración, control integrado de Git, resaltado de sintaxis, finalización inteligente de código, fragmentos y refactorización de código. También es personalizable, por lo que los usuarios pueden cambiar el tema del editor, los atajos de teclado y las preferencias. Es gratuito y de código abierto, aunque la descarga oficial está bajo software privativo e incluye características personalizadas por Microsoft.

```
1 #include <Arduino.h>
2 #include <WiFi.h>
3 #include <ESPAsyncWebServer.h>
4 #include <SPIFFS.h>
5 //-----Esclavo-----
6 #include <HardwareSerial.h>
7 #include <driver/adc.h>
8 #include <Wire.h>
9 #include <liquidCrystal_I2C.h>
10 //Declara los pines ESP32-2
11 #define TXD2 17 // (GPIO 17 Pin 28-Placa) UART2
12 #define RXD2 16 // (GPIO 16 Pin 27-Placa) UART2
13 const int alarmPin = 12; // Pin para la señal de alarma de descargador
14 const int bucholzAlarma = 14; // Pin Para pulsador de la Alarma de bucholz
15 const int bucholzDisp = 27; // Pin Para disparo de bucholz
16 const int sobrepres = 26; // Pin Para alarma de sobrepresion
17 const int nivelaceite = 25; // Pin de Alarma bajo Nivel de Aceite
18 int pin_led_alarmbucholz = 33; // Pin para encender led de alarma de bucholz
19 int pin_led_disparobucholz = 32; // Pin para encender led de disparo de bucholz
20 int pin_led_sobrepres = 13; // Pin para encender led de sobrepresion en tanque de expansion
21 int pin_led_aceite = 04; // Pin Para encender led de alarma de bajo nivle de aceite //***** prueba
22
23
24 //HardwareSerial Serial2(2); // use UART2
25 uint32_t delayMS;
26 AsyncWebServer server(80);
27 IPAddress local_ip(10, 10, 10, 10);
28 IPAddress gateway(10, 10, 10, 1);
29 IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);
30
31
```

Figura 34: Print Pantalla Visual Studio Code



---

Visual Studio Code se basa en Electron, un framework que se utiliza para implementar Chromium y Node.js como aplicaciones para escritorio, que se ejecuta en el motor de diseño Blink. Aunque utiliza el framework Electron, el software no usa Atom y en su lugar emplea el mismo componente editor (Monaco) utilizado en Visual Studio Team Services (anteriormente llamado Visual Studio Online).

VS Code tiene una interfaz minimalista y altamente personalizable que permite a los desarrolladores ajustar la disposición de las ventanas, paneles y barras de herramientas según sus preferencias. Proporciona funciones avanzadas de autocompletado de código, basadas en el contexto del lenguaje de programación que estás utilizando, lo que mejora la productividad al escribir código.

Permite depurar aplicaciones directamente desde el editor, con soporte para puntos de interrupción, inspección de variables y seguimiento del flujo de ejecución. Es altamente extensible mediante extensiones desarrolladas por la comunidad. Estas extensiones permiten agregar soporte para nuevos lenguajes de programación, herramientas de control de versiones como Git, temas visuales, entre otros.

Viene integrado con Git, lo que facilita la gestión de repositorios directamente desde el editor. Incluye una terminal integrada que permite ejecutar comandos directamente desde VS Code, lo que es útil para tareas como la ejecución de scripts, instalación de dependencias, entre otros. Permite el uso de snippets predefinidos y plantillas de código que aceleran el proceso de escritura al insertar fragmentos de código comúnmente utilizados con solo unos pocos caracteres de activación.

Como entorno de desarrollo dentro de Visual Studio Code, se utilizó PlatformIO el cual es un ecosistema de desarrollo integrado (IDE) y entorno de construcción de software.

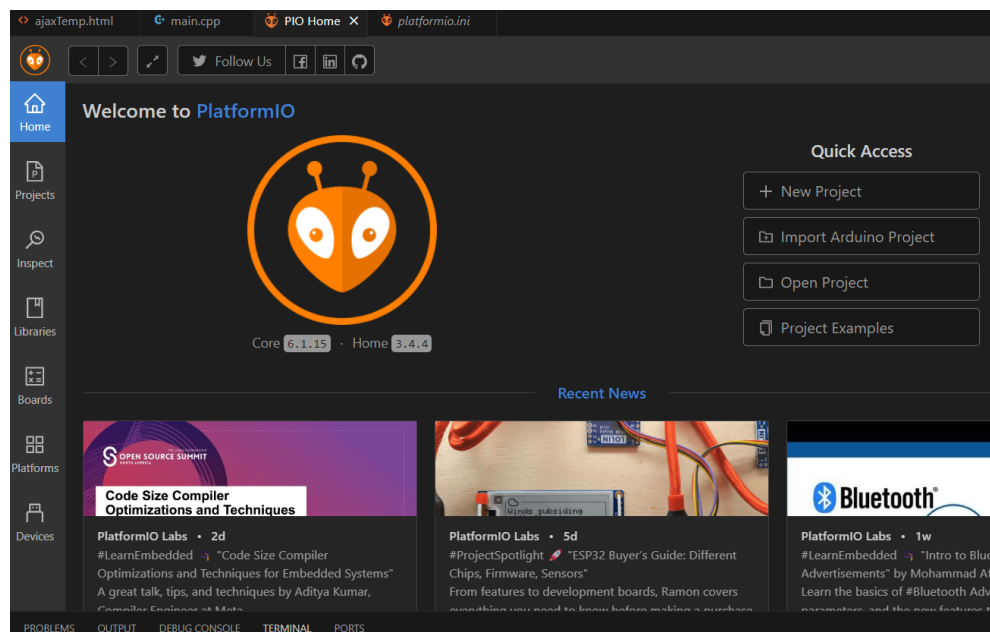


Figura 35: Print Pantalla entorno PlatformIO para programación ESP32

PlatformIO soporta múltiples plataformas de hardware, frameworks de software y sistemas operativos, facilitando el desarrollo, la depuración y la implementación de proyectos embebidos en microcontroladores tales como Arduino, ESP8266, ESP32, STM32, AVR, ARM, etc.

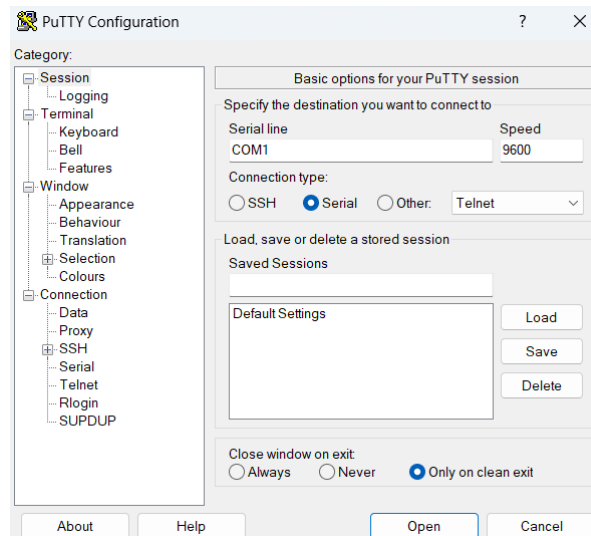
Incluye un gestor de bibliotecas que permite buscar, instalar y gestionar bibliotecas de manera eficiente. Además, facilita la actualización de las bibliotecas utilizadas en los proyectos. Soporta diferentes frameworks de software como Arduino, ESP-IDF, Zephyr, mbed OS, y otros, lo que permite a los desarrolladores trabajar con el framework que mejor se adapte a sus necesidades. Ofrece herramientas de depuración avanzadas que permiten la inspección en tiempo real de las variables, el seguimiento del flujo del programa y la configuración de puntos de interrupción. Incluye un sistema de scripts que permite la automatización de tareas repetitivas, como la compilación, la carga de firmware y la ejecución de pruebas. Utiliza un sistema de compilación avanzado que es rápido y eficiente, soportando la compilación incremental y permitiendo la personalización del proceso de compilación.



### 3.3.2 PuTTY

PuTTY es un cliente de terminal y de red gratuito y de código abierto que se utiliza para realizar conexiones seguras entre computadoras a través de protocolos de red como SSH (Secure Shell), Telnet, rlogin y serial. Es una herramienta ampliamente utilizada por administradores de sistemas, desarrolladores y profesionales de TI para acceder y gestionar remotamente servidores y otros dispositivos de red.

En el desarrollo del proyecto, esta herramienta fue utilizada para gestionar y visualizar los puestos series del ESP32 y el CPU.



*Figura 36: Print Pantalla Entorno PuTTY para Visualización / Comunicación Serial*

PuTTY está disponible principalmente para Windows, pero también hay versiones no oficiales para Linux y macOS. PuTTY soporta una variedad de protocolos de red, incluyendo:

- SSH (Secure Shell): Para conexiones seguras y cifradas a sistemas remotos.
- Telnet: Para conexiones no cifradas.
- rlogin: Otro protocolo de conexión no cifrada.
- Serial: Para conexiones directas a dispositivos a través de puertos serie.

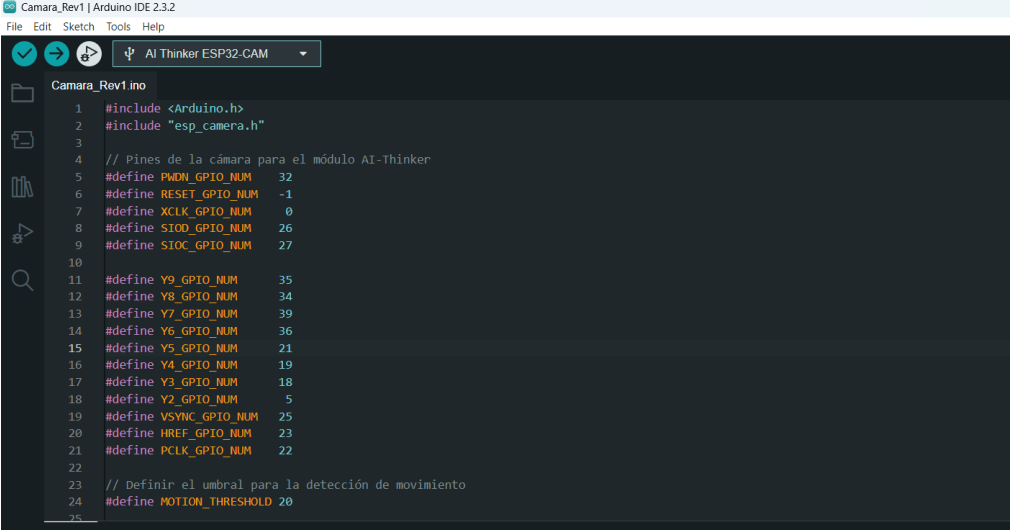




PuTTY proporciona una interfaz gráfica fácil de usar, donde los usuarios pueden configurar y guardar perfiles de conexión, ajustar parámetros de la sesión y ejecutar comandos.

### 3.3.3 Arduino IDE

El entorno de programación Arduino IDE (Integrated Development Environment) es una plataforma de desarrollo integral utilizada para programar y cargar código en placas de desarrollo Arduino y otras compatibles. Es una herramienta clave para desarrolladores de hardware, ingenieros, educadores y entusiastas del DIY (Do It Yourself) que trabajan con microcontroladores.



```
Camara_Rev1 | Arduino IDE 2.3.2
File Edit Sketch Tools Help
AI Thinker ESP32-CAM
Camara_Rev1.ino
1 #include <Arduino.h>
2 #include "esp_camera.h"
3
4 // Pines de la cámara para el módulo AI-Thinker
5 #define PWDN_GPIO_NUM 32
6 #define RESET_GPIO_NUM -1
7 #define XCLK_GPIO_NUM 0
8 #define SIOD_GPIO_NUM 26
9 #define SIOC_GPIO_NUM 27
10
11 #define Y9_GPIO_NUM 35
12 #define Y8_GPIO_NUM 34
13 #define Y7_GPIO_NUM 39
14 #define Y6_GPIO_NUM 36
15 #define Y5_GPIO_NUM 21
16 #define Y4_GPIO_NUM 19
17 #define Y3_GPIO_NUM 18
18 #define Y2_GPIO_NUM 5
19 #define VSYNC_GPIO_NUM 25
20 #define HREF_GPIO_NUM 23
21 #define PCLK_GPIO_NUM 22
22
23 // Definir el umbral para la detección de movimiento
24 #define MOTION_THRESHOLD 20
25
```

Figura 37: Print Pantalla Entorno Arduino IDE

Proporciona un editor de texto simple y limpio con características básicas como el resaltado de sintaxis y la indentación automática. Muestra mensajes de compilación, errores y advertencias para ayudar en la depuración del código. Permite la comunicación en serie entre el ordenador y la placa Arduino, útil para depurar y monitorear la salida del programa.

Incluye una amplia colección de bibliotecas estándar que facilitan el acceso a funciones y componentes comunes, como sensores, motores, pantallas y comunicaciones.



Soporta una gran variedad de placas Arduino y microcontroladores compatibles.

Permite la instalación de "cores" adicionales para soportar placas de terceros a través del gestor de placas.

Este entorno se utilizó para la programación e integración del ESP32-CAM. El cual se utiliza en este proyecto como cámara y sensor de movimiento.



## CAPÍTULO 4: ALGORITMOS DE CONTROL

### 4 Introducción

En el siguiente capítulo se desarrollará el flujo de programación y control diseñado para la realización de este proyecto. Básicamente, a través de diagramas de flujo, se presentarán las distintas etapas desarrolladas para la programación de los ESP32 y ESP-CAM

#### 4.1 Diagramas de Flujo de algoritmo de ESP32 #1

El ESP32 numero 1, se implementó como un Hub o punto concentrador de todas las variables de medición de los sensores: sensores de corrientes, sensores de tensiones, temperatura, humedad, etc.

Se muestra a continuación un diagrama de flujos de la programación desarrollada para este Microcontrolador

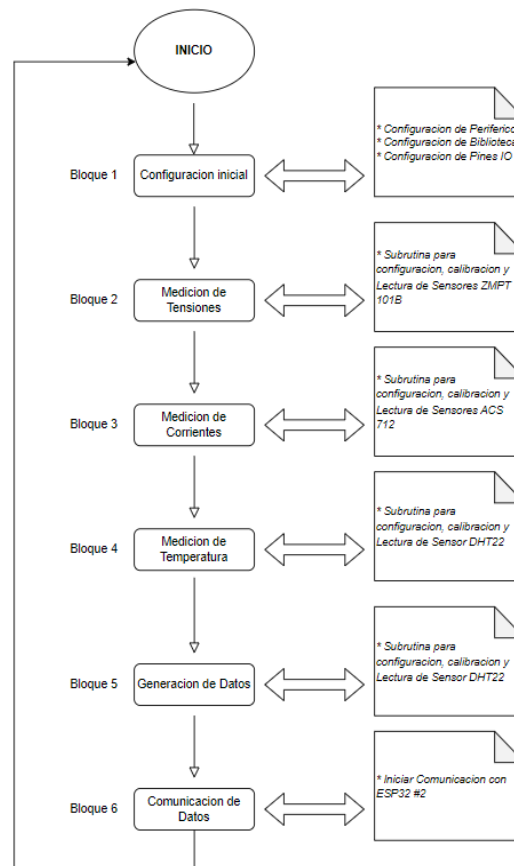


Diagrama 1: Diagrama Flujo Algoritmo



Como se puede ver en el diagrama, inicialmente se realiza la configuración de todos los periféricos, Pines y bibliotecas necesarias. También aquí se configura la comunicación serial.

Entre los Bloques 2, 3 y 4 se desarrollan las subrutinas de inicialización, comunicación y calibración de los sensores de Tensiones (ZMPT 101B), Corrientes (ACS 712) y Temperatura (DHT 22). Los valores de Tensiones (V1, V2 y V3) se filtran y almacenan en las variables correspondientes. Las Corrientes se almacenan y filtran en las variables (I1, I2 e I3). La temperatura se lee y se realiza subrutina de verificación de lectura correcta del sensor. En caso correcto se almacena en variable “Temp”.

En el Bloque 5 se realiza la verificación y transformación (de valores de tipo Float a Char) de todas las variables censadas. Se origina aquí también la cadena concatenada de los datos en un string, que luego será comunicado mediante usart al ESP32 #2.

En el bloque 6 se realiza la comunicación y envío de los datos al ESP32 #2. La cadena datos es enviada mediante USART 2 de los ESP (pines RXD2 y TXD2).

#### 4.2 Diagramas de Flujo de algoritmo de ESP32 #2

El ESP32 será quien realice la recepción de los valores pasados por el ESP32 #1 y el segregado de la cadena string recibida en los valores originales de tensiones, corrientes y temperaturas.

También se realiza con este programa las funcionalidades configuración de red Wifi, configuración y visualización de los valores de los sensores en LCD, lectura y muestreo de valores de alarmas, generación de servidor web para proporcionar los valores de los sensores y alarmas en página web.

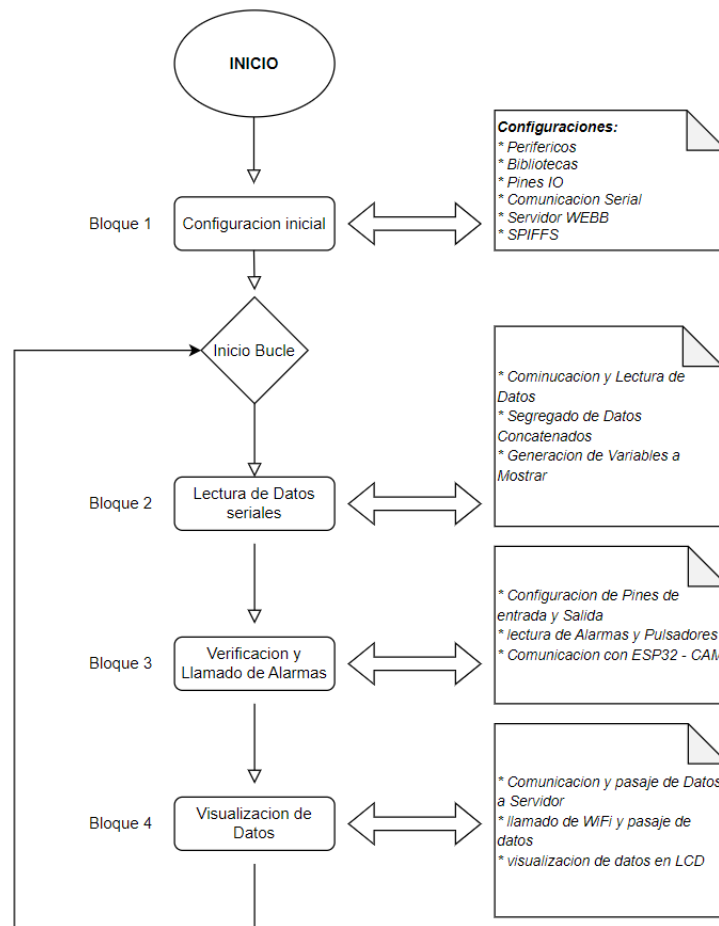


Diagrama 2: Diagrama Flujo Algoritmo ESP32 #2

En el bloque número 1, inicialmente, se realiza la configuración de todos los pines de Entrada/salida y de distintas bibliotecas que se necesitan. Se realiza también la configuración del servidor wifi y de la comunicación serial con ESP32 #1. También se realiza aquí la configuración del SPIFFS (SPI Flash File System). Que se utiliza para embeber la página web en la memoria flash del ESP32

En el bloque Numero 2, se realiza el segregado de los datos recibidos desde ESP32 #1. Se asignan los valores a distintas variables par alugo ser enviados al servidor web.

En el bloque Numero 3 se realizan todas las acciones para la atención de las alarmas del sistema (alarmas de buchholz, alarmas de descargadores de sobretensión, alarmas de presión, etc.). Se desarrollan en este bloque, las acciones para la lectura de los pines



---

de entrada y seteo de los pines de alarmas. Estos datos son también enviados a la página web para sean muestreados en la misma mediante señales de alarmas.

En el bloque Numero 4 se realiza el llamado y pasaje de variables al servidor Web embebido en la memoria flash. Se desarrollará a continuación el algoritmo y diagrama de flujo de la programación de la página web embebida en la memoria flash del ESP32 #2

#### 4.2.1 Algoritmo de Servidor Web Embebido en ESP32 #2

Tal como se mencionó, dentro de la memoria flash de este microcontrolador (ESP32 #2) se desarrolló una página web que será la interfaz con el usuario, mediante comunicación Wifi.

Para lograr esto se utilizó el sistema SPIFFS (SPI Flash File System) es un sistema de archivos específicamente diseñado para dispositivos embebidos con memoria flash. Este sistema permite el almacenamiento y ejecución de archivos HTML, CSS, JavaScript, imágenes y otros recursos utilizados en aplicaciones web servidas desde el microcontrolador ESP32. En el ESP32 #2 el SPIFFS se utilizó para servir archivos estáticos desde el servidor web configurado.

El programa desarrollado en HTML (HyperText Markup Language). Se enfoco en las funciones principales y las solicitudes XMLHttpRequest realizadas periódicamente para actualizar los valores y verificar las alarmas.

Para este proyecto, se utilizó XMLHttpRequest (XHR) para realizar las solicitudes a la página web, a fin de que la pagina actualice solamente los valores de los indicadores sin tener que recargar toda la página, es decir usando como interactividad entre el microcontrolador y la pagina el tipo AJAX (Asynchronous JavaScript and XML).

Para programar y configurar el comportamiento dinámico de la página Web (a través de gadget) se utilizó JavaScript.

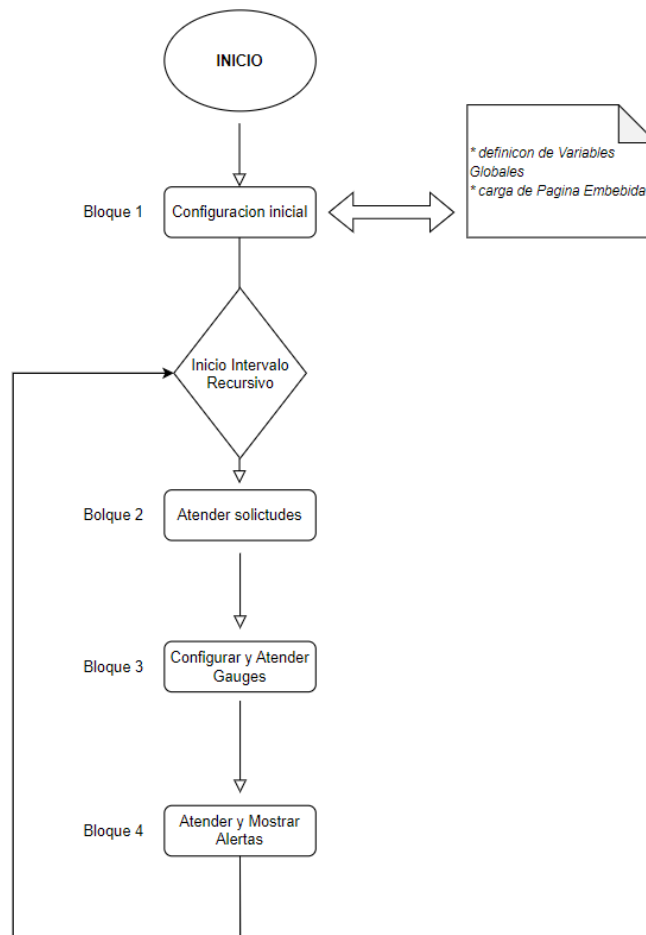
Por último, mediante CSS (Cascading Style Sheets) se les dio el estilo y diseño



a los elementos HTML.

Mediante este código combinado de estos lenguajes, se creó la página web que muestra medidores interactivos y realiza solicitudes periódicas al servidor para actualizar sus valores y verificar las alarmas.

Se muestra a continuación el diagrama de flujo de este programa:



*Diagrama 3: Diagrama Flujo Pagina Web Embebida en ESP32 #2*

En el bloque 1, se inicia con la carga de los elementos HTML y CSS. También se direcciona aquí el archivo “gauge.min.js” (también embebido en la memoria flash del ESP32), el cual contiene los gauges usados en la interfaz gráfica del usuario.

Los gauges o medidores son instrumentos utilizados para mostrar valores de



---

medición de manera visual. En el contexto de este programa, los gauges son los medidores gráficos (medidor radial de tensión, corriente, termómetro, et). Estas representaciones gráficas muestran los datos en tiempo real.

También en este bloque se definen todas las variables locales que se utilizan en el algoritmo como variables de alarmas (v3\_alarm, cam\_alarm, alar\_buch, etc).

A partir del bloque 2 (ya dentro del ciclo recursivo del programa, que se estableció en 500 ms), se realiza la creación y envío de las solicitudes XMLHttpRequest de las distintas variables (get\_temp, get\_fase1, get\_fase2, etc.).

En el bloque 3 se realiza la configuración, atención y redireccionamiento de los valores obtenidos de las distintas solicitudes, a los gauges correspondientes. En el bloque 4 se realiza la atención de las distintas alarmas, también realizando solicitudes XMLHttpRequest (get\_alarbucholz, get\_alarmdescargador, etc). Se generar también los avisos de las distintas alarmas que serán mostradas al usuario en la página web.

#### 4.2.2 Algoritmo de ESP32 – CAM

Tal como se mencionó, se utiliza un microcontrolador ESP32 – CAM como detector de movimiento. Básicamente se realiza la toma de dos fotografías separadas 100 ms y luego se compran entre ellas. Si existen diferencias, se asume que se realizó un movimiento y se emite la alarma solicitada. Esta alarma es comunicada al ESP32 #2 y con ello se realiza una solicitud XMLHttpRequest y de genera un mensaje de alarma en la interfaz de usuario.

Se detalla a continuación el diagrama de flujo de este algoritmo:



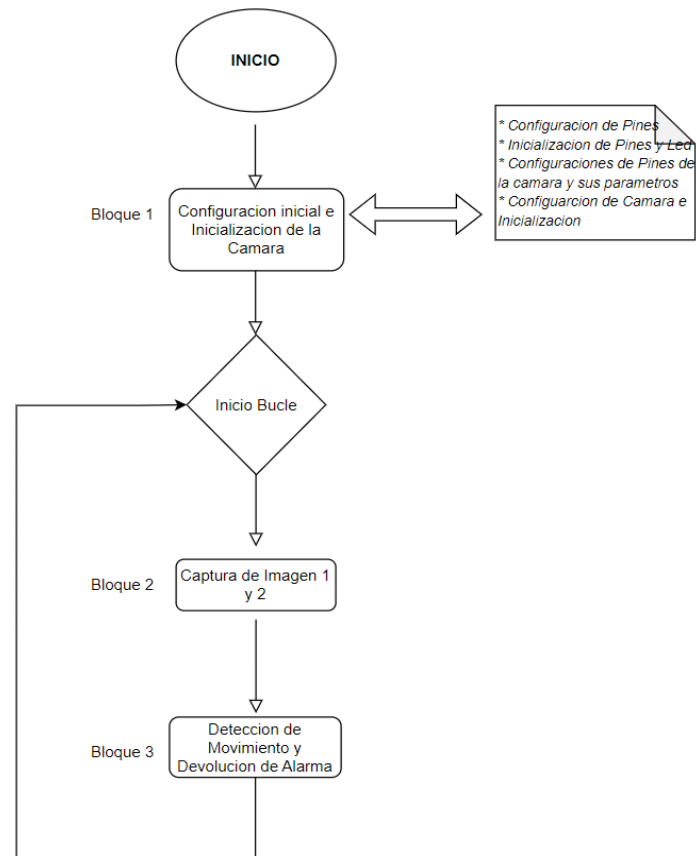


Diagrama 4: Diagrama Flujo Algoritmo ESP32 - CAM

El programa comienza configurando los pines y la cámara. En bloque 1, se inicializan los pines para la alarma y el flash LED. También se configuran los pines de la cámara y sus parámetros (si la inicialización falla, se muestra un error, si es exitosa, se muestra un mensaje de cámara inicializada).

Ya dentro del bucle principal, en el bloque 2, la cámara captura la primera imagen (frame1), se esperan 100 ms y luego se realiza la captura de la segunda imagen (frame 2).

En el bloque 3, se compran las dos imágenes y, si son distintas, se asume que se ha detectado movimiento. Se activa la alarma y el flash LED durante 5 segundos y luego se desactivan. Si no se detecta movimiento (las imágenes son iguales), se continúa con el bucle.

Se repite este proceso indefinidamente (bucle principal).



## CAPÍTULO 5: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

### 5.1 Introducción

En este capítulo se desarrollará y explicará el funcionamiento del sistema implementado para la telemetría de Subestaciones Transformadoras de Yacimientos comenzando por la descripción de los bloques constitutivos del hardware y luego continuando con la descripción del funcionamiento del software e interfaz del usuario

### 5.2 Montaje del Hardware y descripción del funcionamiento

Se presenta a continuación un esquema general de la disposición de los distintos componentes del hardware montado

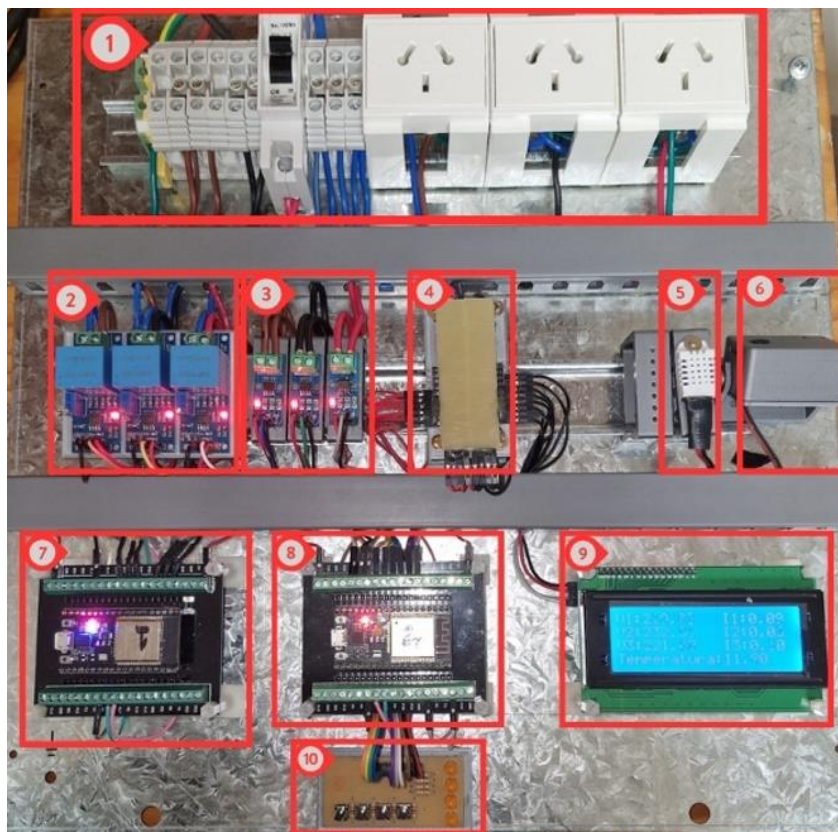


Figura 38: Maqueta General de Proyecto Montado



### 5.2.1 Bloque 1: Etapa de Potencia

En el primer bloque, se encuentra la etapa de potencia, donde se reciben todas las señales de la red eléctrica de 220V / 50 Hz. Las tres fases de tensión se dirigen hacia los sensores de tensión y corriente. Cada una de las fases está identificada por un color: la fase 1 con marrón, la fase 2 con negro y la fase 3 con rojo.



*Figura 39: Etapa de Potencia de Ingreso/salida de señales de tensión*

Estas señales de tensión se reciben a través de borneras, y una de las fases (V3) tiene un interruptor termomagnético instalado para simular una falta de fase. El neutro está identificado con el color azul y se distribuye a las distintas partes del sistema a través de una bornera.

En la parte derecha de este bloque, se encuentran las salidas a través de tres tomacorrientes de 10A cada uno. Estas salidas están en serie con los sensores de corriente ACS 712, de manera que las fases que ingresan pasan por estos sensores y luego se dirigen hacia los tomacorrientes, donde se conectará la carga para medir la corriente que consumen.

Una de las fases también alimenta la fuente switching para obtener los 5 volts en tensión continua, necesarios para la alimentación de todos los componentes del sistema (microcontroladores, sensores, display LCD, LEDs de alarmas, etc.).



### 5.2.2 Bloque 2: Sensores de Tensión

En el bloque 2, están ubicados los sensores de tensión ZMPT 101B, los cuales reciben las señales de tensión desde las borneras del bloque de potencia.

En las salidas de estos sensores hay tres pines: alimentación de 5 volts proveniente de la fuente, referencia de masa (GND), también tomada de la fuente, y el pin de salida de datos (PIN OUT), que se conecta al ESP32 #1.

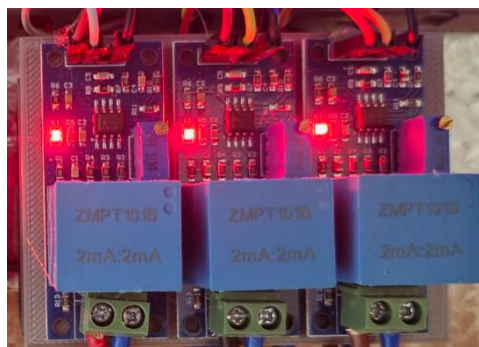


Figura 40: Bloque 2- Sensores de Tensión

La tensión de salida de estos sensores es de 5 volts pico a pico como máximo, mientras que los pines de entrada/salida del ESP32 admiten una tensión máxima de 3.3 volts. Por esta razón, se implementó un divisor resistivo para asegurar que la tensión máxima sea de 3.3 Vpp. Este divisor se calculó para obtener una tensión media de 1.65 volts, de modo que la excursión simétrica máxima de la señal senoidal no supere los 3.3 Vpp.

Los soportes de estos sensores, que los sujetan al riel DIN, fueron fabricados mediante impresión 3D.

### 5.2.3 Bloque 3: Sensores de Corriente

En el bloque 3, se encuentran ubicados los sensores de corriente ACS 712, los cuales se alimentan desde el bloque de potencia. Cada fase cuenta con un sensor en serie con la carga, ya que, al ser de tipo efecto Hall, necesitan que las corrientes de



carga que se quieran medir circulen a través de ellos.

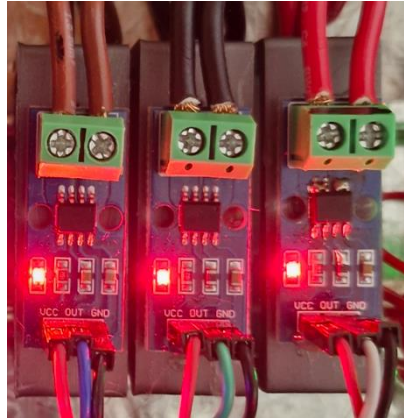


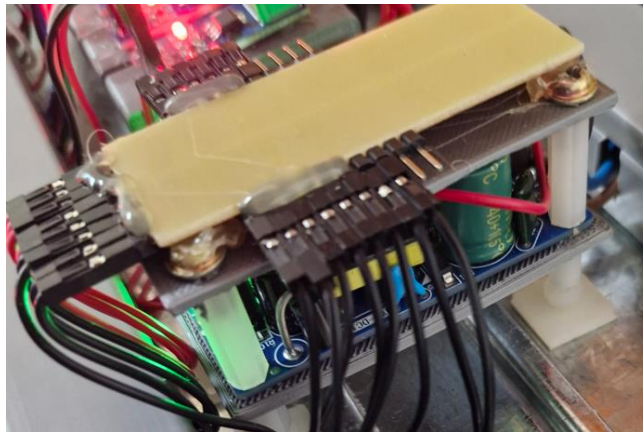
Figura 41: Bloque 3- Sensores de Corriente ACS 712

La salida de estos sensores requiere una alimentación de 5 volts y una conexión a tierra (GND), conectadas a la fuente switching del bloque 4. La señal de salida de los sensores también es de 5 volts como máximo, por lo que se implementó un divisor resistivo para limitar la señal a un máximo de 3.3 V y evitar dañar los pines de entrada/salida de los microcontroladores.

La salida de los sensores de corriente está conectada al ESP32 número 1. Los soportes de estos sensores, para su sujeción en el riel DIN, fueron impresos mediante técnicas de impresión 3D.

#### 5.2.4 Bloque 4: Fuente de Tensión 220 VCA / 5 VCC

En el bloque 4, se ubica la fuente de corriente switching, la cual es alimentada a través de la Fase 1 y el Neutro. La salida de esta fuente proporciona 5 volts de corriente continua (CC) y una referencia de tierra (GND).



*Figura 42: Bloque 4- Fuente 220 VCA / 5 VCC con Plaqueta de Distribución de tensiones*

Sobre esta fuente, se diseñó y montó una placa redistribuidora de tensión, en la cual se soldaron pines para poder alimentar todos los bloques que necesitan esta tensión continua (sensores, microcontroladores, LEDs, etc.).

Mediante impresión 3d, se diseñaron las placas soportes y separadoras de esta fuente y placa de distribución de tensiones para su montaje en el riel DIN.

### 5.2.5 Bloque 5: Sensor de Temperatura

En el bloque 5, se encuentra el sensor de temperatura DHT22, el cual está conectado al ESP32 #1 y proporciona el dato de temperatura del transformador.



*Figura 43: Bloque 5- Sensor de Temperatura DHT22*





Este sensor simula la medición de la temperatura del aceite de un transformador. Con valores apropiados establecidos, se emiten alarmas al usuario (alarmas y disparos de protecciones por altas temperaturas).

El DHT22 requiere una alimentación de 5 volts en corriente continua (pin 1 del sensor) y una referencia de masa o GND (pin 4). Entre el pin 1 y el pin 2, se colocó una resistencia de 10k en pull-up para asegurar el correcto funcionamiento del sensor. Esta resistencia se soldó directamente sobre los pines del sensor. La salida de datos (pin 2) se conectó al pin 14 del ESP32 #1.

Para su montaje en la maqueta, también se utilizaron soportes impresos en 3D.

#### 5.2.6 Bloque 6: Etapa de Detección de Movimiento (ESP32 CAM)

En el bloque 6, se encuentra el ESP32 dedicado, con cámara incorporada. Este ESP32 se utiliza para detectar el movimiento del desligador del descargador de sobretensión instalado en la subestación transformadora.



Figura 44: Bloque 6- Sensor de Temperatura de movimiento ESP32 -CAM



---

El objetivo es resolver un problema común en el campo: cuando hay una sobretensión en la instalación eléctrica, el descargador actúa y los desligadores se separan, liberando la instalación para que pueda ser reenergizada. Normalmente, esta reenergización se realiza automáticamente a través de reconectores de línea, los cuales están programados para esperar aproximadamente 30 milisegundos ante una falla antes de intentar la restitución de la energía. Estadísticamente, la mayoría de las fallas en las líneas eléctricas son homopolares y no permanentes, por lo que la instalación vuelve a energizarse, pero sin la protección del descargador, ya que el desligador ha abierto la fase.

Dado que estas instalaciones a menudo están alejadas de los centros de distribución, la apertura de los descargadores puede pasar desapercibida, lo que puede resultar en nuevas sobretensiones en la línea, especialmente durante tormentas con muchas descargas de rayos. Sin la protección del descargador, los transformadores, tableros y otros elementos pueden resultar destruidos.

Detectar la apertura de los desligadores de los descargadores es un desafío, ya que las descargas por rayos generan picos de corriente muy altos y de muy corta duración. Se consideraron varios métodos para sensar esta apertura, y finalmente se optó por detectar el movimiento del desligador del descargador.

El ESP32-CAM está diseñado para detectar el movimiento del desligador. Cuando el desligador se separa del descargador, el ESP32-CAM emite una alarma al operador, indicando que se ha detectado la apertura.

Se diseñó un soporte y estuche protector para el ESP32-CAM mediante impresión 3D.

### 5.2.7 Bloque 7: ESP32 #1

En el bloque 7, se encuentra ubicado el ESP32 #1. Este dispositivo es responsable de recibir todas las señales de sensores y detectores. A través de sus puertos de conversión analógico-digital, se reciben las señales de corriente, tensión y temperatura, y se realiza la lógica interna para luego transmitir estos datos al ESP32 #2.



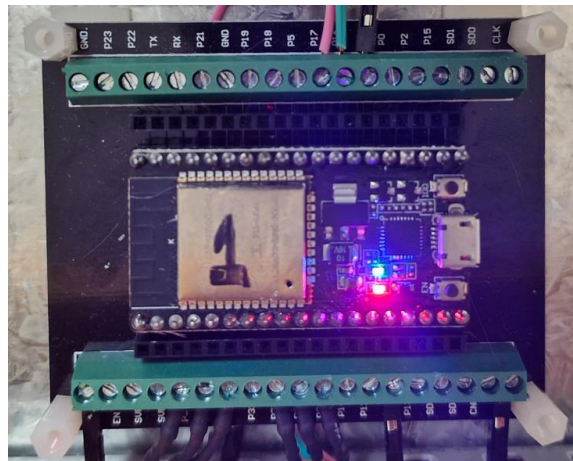


Figura 45: Bloque 7- microcontrolador ESP32 #1

La separación de funciones entre los dos ESP32 se realizó debido a una limitación interna del microcontrolador: cuando se utilizan muchos puertos de conversión analógico-digital, se pierde la capacidad de emitir señales Wi-Fi. Por esta razón, se utilizan dos ESP32: uno como concentrador de señales y el otro para generar la señal Wi-Fi y representar los datos al usuario. Ambos ESP32 están comunicados a través de la USART 2.

Para el montaje del ESP32 en la maqueta del proyecto, se utilizó una placa madre de 38 pines, que permite el montaje y conexión de los pines de los microcontroladores mediante regleta de pines o borneras.



Figura 46: Placa Base para ESP 32



### 5.2.8 Bloque 8: ESP32 #2

En el bloque 8, encontramos el ESP32 #2. Este dispositivo recibe los datos desde el ESP32 #1 y también las señales de alarma desde los pulsadores y el ESP32 CAM (bloques 7 y 10, respectivamente).

Como se mencionó anteriormente, el ESP32 #2 contiene la página web embebida y genera la señal Wi-Fi para mostrar la interfaz gráfica de lectura de sensores y alarmas al usuario. Además, es responsable de controlar y mostrar los datos de tensiones, corrientes y temperatura en el display LCD dispuesto en el proyecto (Bloque 9).

Este ESP32 también se montó sobre una placa base para la redistribución de los pines de conexión

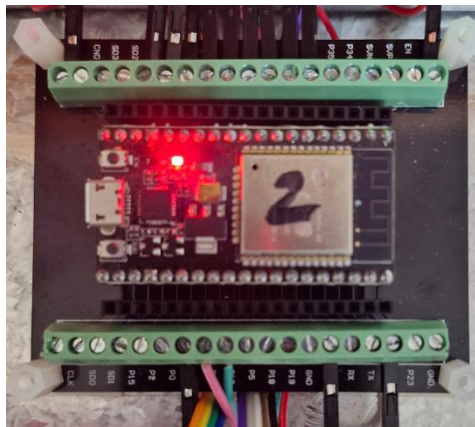


Figura 47: Bloque 8 -ESP 32 #2

### 5.2.9 Bloque 9: Display LCD

En el bloque número 9, se encuentra el display LCD de 4 x 20, donde se muestran las tensiones, corrientes y temperaturas censadas por el sistema. Este display está conectado al ESP32 (bloque 8) por medio de un bus serie de datos I2C.



Figura 48: Bloque 9 - Display LCD

#### 5.2.10 Bloque 10: Plaqueta de simulación de Alarmas

En el bloque 10, encontramos una placa diseñada y fabricada con pulsadores y LEDs.

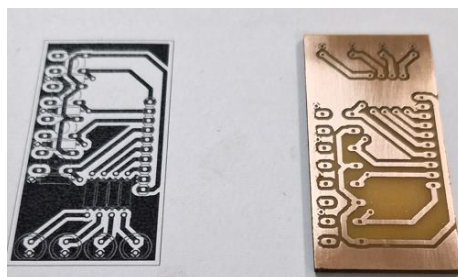
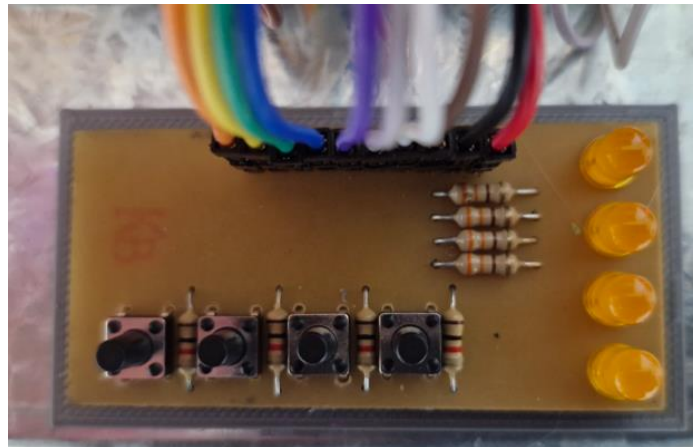


Figura 49: Diseño Plaqueta Alarmas

Estos pulsadores estimulan las entradas del ESP32, simulando señales de alarma. Estas señales se muestran al usuario a través de mensajes de alarma en la página web y también activan posibles alarmas acústicas y luminosas, representadas por LEDs.



*Figura 50: Bloque 10- Placa de simulación de Activación de alarmas e indicadores*

Se han simulado cuatro alarmas distintas:

**Alarma de relé Buchholz:** Cuando se produce una descarga interna en el transformador, se generan gases que suben por el aceite hacia el tanque de expansión, formando burbujas que activan los flotadores mecánicos del relé Buchholz. Esto puede generar alarmas que indican una descarga interna. Si la descarga es intensa, otros flotadores pueden activar la apertura del reconectador o interruptor aguas arriba de la instalación eléctrica.

**Alarma de sobrepresión en el tanque de expansión:** Esta alarma se activa debido a posibles cortocircuitos en la bobina del transformador, que generan gases dentro del sistema de refrigeración.

**Alarma de bajo nivel de aceite:** Indica al usuario una posible pérdida de refrigerante en el transformador, simulando las alarmas emitidas por un relé Buchholz o un relé de tipo GPTo2 (si el transformador es de llenado completo).

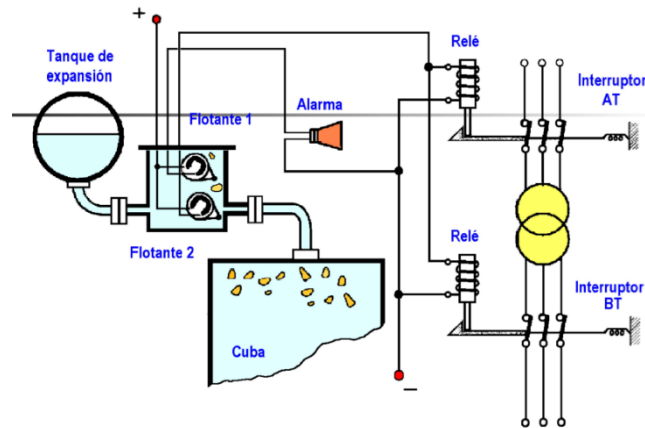


Figura 51: Esquema Conexionado Relé Buchholz

**Alarma por presencia de tensión en tierra:** Algunos transformadores poseen un transformador de intensidad que mide la corriente a tierra.



Figura 52: Transformador de Intensidad para sensado de Corriente de Fuga a Tierra

Cuando se detecta una descarga, esta señal se envía al ESP32 para emitir una alarma vía Wi-Fi. Esta alarma es crucial para la seguridad, ya que la presencia de tensión en el suelo puede indicar riesgo de accidentes por tensión de paso o tensiones de contacto directo.

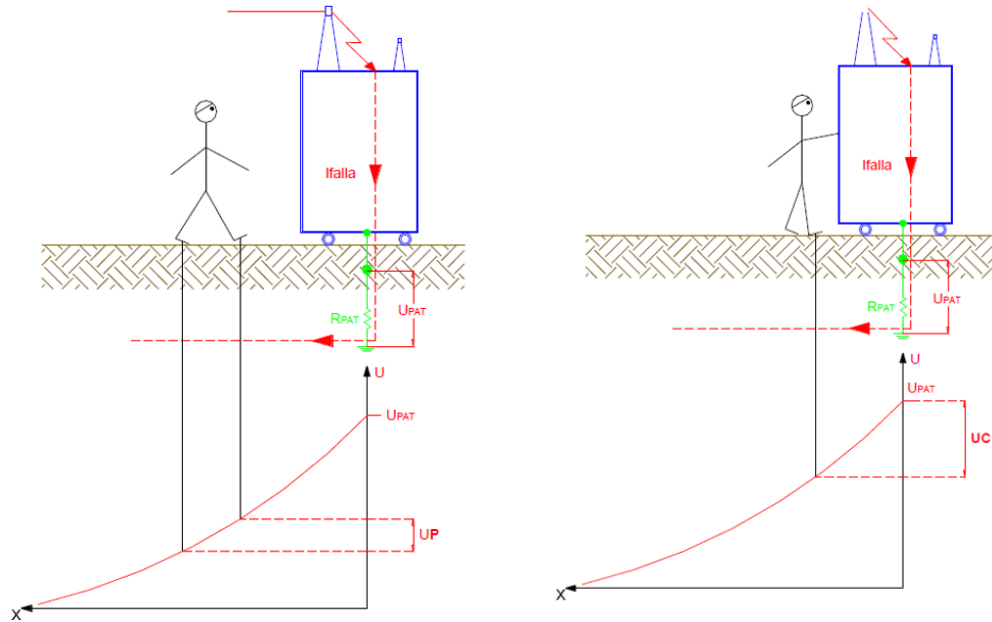


Figura 53: esquemas de Tensiones de Paso y Contacto

La activación de esta alarma también incluye una señal acústica y luminosa para alertar al operador, advirtiéndole que no se acerque al área peligrosa.

### 5.3 Interfaz con el Usuario

En esta sección se describe la interfaz de usuario desarrollada y los distintos elementos que la componen.

El operador deberá conectarse a la red WiFi emitida por el sistema, utilizando un usuario y una contraseña. Al acceder a esta red, podrá visualizar la página web embebida en el ESP32 y acceder a la interfaz general que muestra los valores sensados de la Subestación Eléctrica.

La interfaz de usuario, desarrollada en HTML, utiliza gadgets como visualizadores gráficos tipo reloj para mostrar de manera clara y precisa los diferentes parámetros monitoreados en la Subestación Transformadora, incluyendo:



- Tensiones por fase
- Corrientes por fase
- Temperaturas
- Alarmas

El propósito de este sistema es proporcionar al operador una herramienta o interfaz donde pueda visualizar el funcionamiento y estado de la Subestación sin necesidad de ingresar físicamente al recinto. Esto se realiza con el objetivo de prevenir accidentes eléctricos y proteger la integridad del operador.

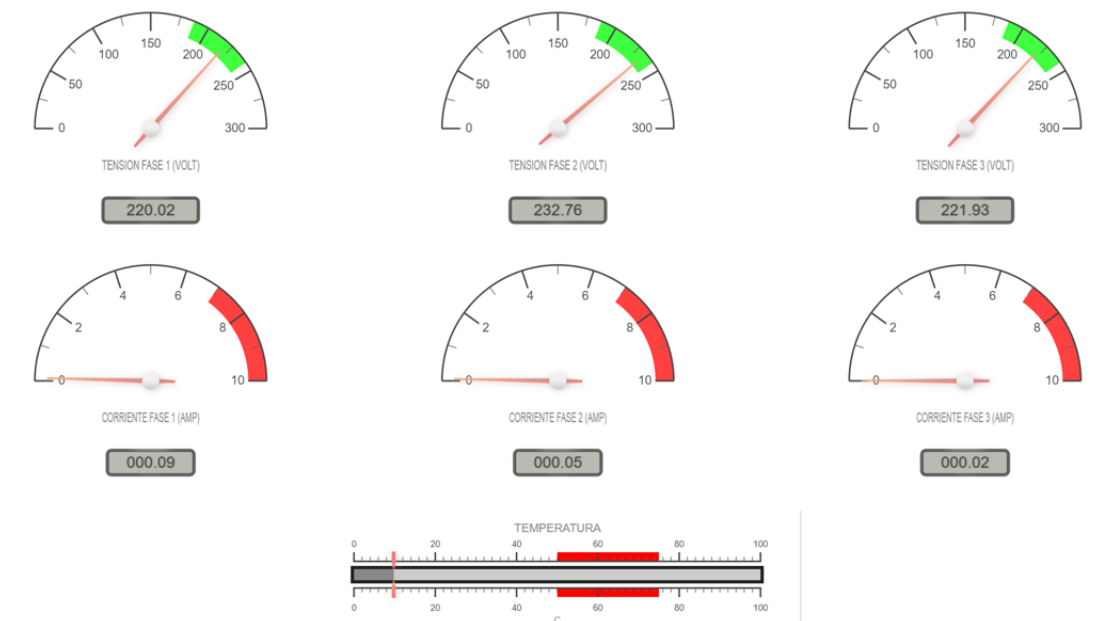


Figura 54: Vista Principal de Interfaz de Usuario.

Se desarrollan a continuación los distintos elementos que componen este desarrollo.

### 5.3.1 Visualización de Valores de Tensiones

Las tensiones se visualizan mediante un reloj radial que muestra el valor tanto en formato analógico (con agujas) como en formato digital. Sobre los valores marcados en el reloj, se identifica una zona de color verde correspondiente a  $220\text{ V} \pm 15\%$  ( $198\text{ V} - 253\text{ V}$ ) para que el operador pueda visualizar rápidamente si la tensión entregada



por el transformador de la subestación está dentro de los parámetros normales.



*Figura 55: Interfaz Gráfica de Tensiones.*

En caso de que alguna de las tensiones caiga por debajo de esta zona verde, se activará una alarma indicando falta de fase o bajo nivel de tensión. De manera similar, si la tensión supera estos niveles, se activarán alarmas de nivel elevado de tensión.

Cada fase cuenta con un elemento visualizador individual para garantizar que todas las tensiones se monitoreen de manera precisa y efectiva.

### 5.3.2 Visualización de valores de Corrientes

Las corrientes también se visualizan mediante un reloj radial, medido en Amper. En este caso, el valor máximo a sensar está establecido en 10 Amper por fase, según los sensores de corriente y tomas utilizados.





Figura 56: Interfaz Gráfica de Corriente

En el gráfico, se ha destacado una zona roja que indica que la corriente está superando el 70% del valor máximo que puede emitir el transformador. Esta comparación entre los tres valores de corriente medidos simultáneamente también puede proporcionar indicaciones sobre si el sistema está desbalanceado en corriente, lo que permitirá que el operador realice las correcciones al sistema para equilibrar las cargas entre las distintas fases.

### 5.3.3 Visualización de Temperatura

La medición de temperatura se muestra mediante un indicador lineal con una escala de 0 a 100 grados centígrados. En este indicador, hay una zona roja que se activa cuando la temperatura excede el límite inferior, disparando una alarma. Si la temperatura supera el valor superior de esta zona roja, se debe activar el disparo de la protección para desconectar la instalación del servicio.

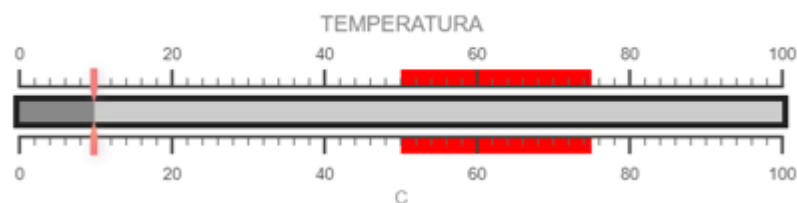


Figura 57: Interfaz Gráfica de Temperatura



En caso de que la subestación no cuente con protección automática, esta medición proporcionará los datos necesarios al operador para que tome las acciones adecuadas y retire del servicio la subestación transformadora.

#### 5.3.4 Alarmas

- Alarma de Falta de Detección de Falta de Fase

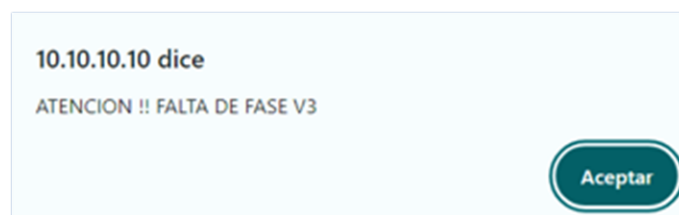


Figura 58: Alarma Falta de Fase

- Alarma de Apertura de desligador en descargador

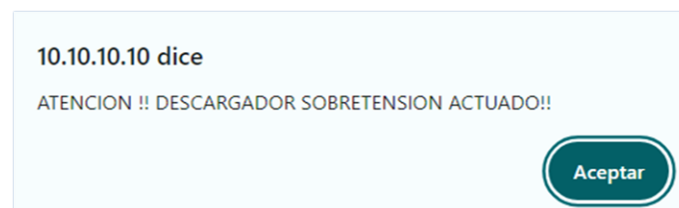


Figura 59: Alarma De Actuación de Descargador de Sobretensión

- Alarma De Relé Buchholz

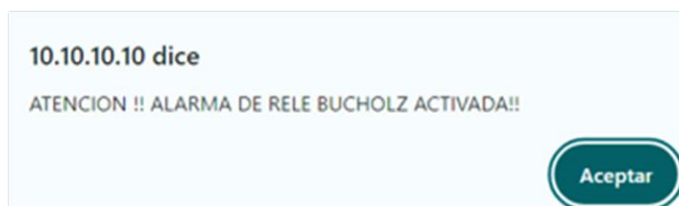


Figura 60: Alarma De Actuación de Alarma de Relé Buchholz

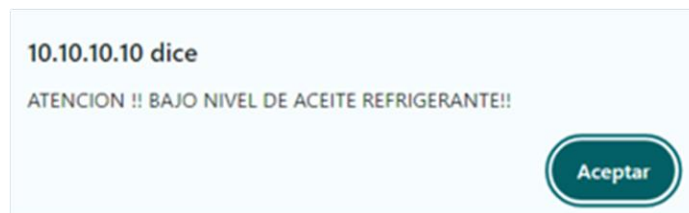


- Alarma de Sobrepresión en tanque



*Figura 61: Alarma De Sobrepresión en Tanque de expansión*

- Alarma de Bajo Nivel de aceite



*Figura 62: Alarma De Actuación por bajo Nivel de Aceite*

- Alarma de peligro por Tensión de Paso/Contacto



*Figura 63: Alarma Posible Peligro por Tensión de Paso*



---

## 5.4 Mejoras Futuras para el Sistema de telemetría y Seguridad en Subestaciones Transformadora

Para maximizar el potencial y adaptabilidad de este proyecto a las diversas condiciones operativas, es esencial considerar una serie de mejoras futuras que pueden ampliar su funcionalidad y robustez. A continuación, se destacan algunas de las mejoras más significativas que podrían incorporarse al sistema:

**Incorporación de Batería de Respaldo:** Una de las mejoras clave es la incorporación de una batería de respaldo. Esto garantizaría la operatividad del sistema incluso durante cortes de energía o fluctuaciones en el suministro eléctrico. La batería de respaldo no solo proporcionaría energía temporal, sino que también permitiría un cierre controlado del sistema en caso de apagones prolongados, evitando la pérdida de datos críticos y asegurando que las alarmas y notificaciones se mantengan activas hasta que se restablezca el suministro normal.

**Historial de Fallas en Memoria No Volátil:** Este historial permitiría registrar todas las anomalías y eventos significativos en el sistema, incluso después de una pérdida de energía o un reinicio. La memoria no volátil aseguraría que los datos históricos permanezcan intactos y accesibles para análisis posteriores, facilitando así la identificación de patrones de fallas y el desarrollo de estrategias de mantenimiento preventivo.

**Integración de un Reloj de Tiempo Real (RTC):** El reloj de tiempo real (RTC) es fundamental para sincronizar eventos y proporcionar marcas de tiempo precisas para cada alarma o evento registrado por el sistema. Con un RTC, el sistema podría ofrecer informes detallados que incluyan la hora exacta de ocurrencia de cada evento, mejorando así la precisión en el seguimiento de incidentes y permitiendo una respuesta más efectiva. Esto es particularmente útil para coordinar acciones correctivas y mantener registros consistentes de la actividad de la subestación.

**Menú de Configuración de Usuario:** Desarrollar un menú de configuración accesible para los usuarios permitiría una personalización más detallada del sistema según las necesidades específicas de cada instalación. Este menú podría incluir opciones para ajustar los umbrales de alarma, seleccionar tipos de sensores, y



---

configurar notificaciones. Proporcionar a los usuarios la capacidad de personalizar el sistema directamente mejoraría su usabilidad y adaptabilidad, permitiendo que el sistema se ajuste a las condiciones operativas únicas de cada subestación.

**Adaptabilidad a Sistemas de Tensión Continua (CC):** Expandir la adaptabilidad del sistema para incluir la supervisión de instalaciones que operan con corriente continua es una mejora importante. Un ejemplo de esto es adaptar el sistema a Bancos de baterías de Sistemas de respaldo de energía, entornos muy utilizados en la industria. Adaptar el sistema de telemetría para trabajar con estos entornos permitiría una cobertura más amplia y aseguraría que se pueda implementar en una variedad de aplicaciones más allá de las subestaciones de corriente alterna.

**Integración de Tecnología IoT y Análisis de Datos Avanzados:** Mirando hacia el futuro, la integración de tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y análisis de datos avanzados podría proporcionar capacidades adicionales de monitoreo y análisis. El uso de sensores IoT habilitaría la recopilación de datos en tiempo real de manera más granular, permitiendo una supervisión continua y detallada de las condiciones operativas. Además, los algoritmos de análisis de datos podrían identificar patrones de comportamiento y prever problemas potenciales antes de que ocurran, mejorando aún más la seguridad y la eficiencia operativa.

**Alarmas de Robo/Hurto o Vandalización:** La incorporación de sistemas de vigilancia y sensores de movimiento podría ayudar a prevenir el robo, hurto o vandalización en la subestación. Las alarmas de seguridad podrían activarse ante la presencia de intrusos, enviando notificaciones instantáneas a las autoridades locales o al personal de seguridad para tomar acciones inmediatas. Estos sistemas no solo protegerían el equipamiento físico, sino que también salvaguardarían la integridad de la infraestructura eléctrica

**Conectividad y Comunicación Mejorada:** Incorporar opciones de comunicación avanzadas, como redes de área amplia de baja potencia (LPWAN), 4G/5G o LoRaWAN, mejoraría la conectividad del sistema, especialmente en ubicaciones remotas. Estas tecnologías permitirían un acceso más fiable y rápido a los datos del sistema desde cualquier ubicación, facilitando la gestión remota y el



diagnóstico en tiempo real. Esto podría incluir la integración de aplicaciones móviles para alertas instantáneas y control remoto de configuraciones, asegurando que los equipos de mantenimiento puedan responder rápidamente a cualquier incidente.

**Interfaz de Usuario Mejorada:** El desarrollo de una interfaz de usuario más intuitiva y gráfica facilitaría la interacción con el sistema, permitiendo a los operadores y técnicos navegar fácilmente por las diferentes funcionalidades y opciones de configuración. Una interfaz de usuario bien diseñada podría incluir gráficos en tiempo real de los parámetros monitoreados, informes automáticos y resúmenes de estado, mejorando así la experiencia del usuario y facilitando la toma de decisiones informadas.

La implementación de estas mejoras futuras no solo optimizará la funcionalidad del sistema de telemetría, sino que también ampliará su alcance y aplicación en diversas industrias. La incorporación de características como batería de respaldo, historial de fallas en memoria no volátil, reloj de tiempo real, y adaptabilidad a sistemas de corriente continua, fortalecerá la capacidad del sistema para ofrecer una supervisión precisa y confiable. Estas mejoras permitirán una gestión más eficiente de las subestaciones eléctricas y otras instalaciones críticas, asegurando que se mantenga la seguridad y el rendimiento óptimo en todo momento.



---

## CONCLUSIONES

El proyecto de implementación de un sistema de telemetría para subestaciones eléctricas alejadas en yacimientos petroleros tuvo como objetivo principal mejorar la seguridad de los operadores y el personal encargado de verificar el estado de funcionamiento de dichas instalaciones. La experiencia en campo ha demostrado que estas instalaciones presentan un alto riesgo eléctrico debido a su lejanía de los centros urbanos y a la falta de sistemas de seguridad adecuados para el personal. Aunque cuentan con elementos básicos de protección, como fusibles, descargadores de sobretensión e interruptores, estos dispositivos están diseñados principalmente para proteger la instalación misma, no al personal.

Estas subestaciones eléctricas representan aproximadamente el 97% del total de subestaciones en los yacimientos petroleros. Un ejemplo claro es la zona de Loma Campana, en el yacimiento de YPF, donde existen 256 subestaciones eléctricas que alimentan todo el sistema, pero solo 9 cuentan con algún sistema de medición y telemetría. Este proyecto se centra precisamente en estas subestaciones sin sistemas adecuados de monitoreo, con el objetivo de prevenir accidentes eléctricos del personal.

La implementación de este sistema de telemetría podría lograr una mejora sustancial en la seguridad del personal, así como en el seguimiento y supervisión de estas instalaciones eléctricas. Aunque existen en el mercado diversas soluciones de telemetría para subestaciones y transformadores, el sistema desarrollado aquí es modular, de bajo costo, y adaptable a las distintas necesidades de las subestaciones, considerando variables como el tipo de transformador, los dispositivos de seccionamiento, y los elementos de protección presentes.

Se considera que los objetivos iniciales del proyecto se han cumplido satisfactoriamente. El sistema desarrollado proporciona un método de inspección y monitoreo de instalaciones eléctricas, reduciendo la necesidad de ingreso de personal operativo no especializado en entornos energizados. Esto es especialmente importante para trabajadores como recorredores, plantistas y operadores, quienes frecuentemente se encuentran expuestos a riesgos eléctricos.



---

El sistema de telemetría desarrollado ha demostrado ser capaz de simular diversas alarmas que podrían ocurrir en subestaciones eléctricas. Esta capacidad de simulación permite adaptar el sistema a la realidad específica de cada subestación, ajustándose a sus características particulares. Por ejemplo, se pueden considerar diferentes tipos de transformadores, como aquellos de llenado completo, con tanque de expansión o con sistemas de refrigeración por aire. Esta flexibilidad del sistema representa una gran ventaja, ya que permite su aplicación no solo en subestaciones eléctricas, sino también en una variedad de otras instalaciones.

La versatilidad del sistema de telemetría es una de sus características más destacadas. Puede ser configurado para trabajar con distintos tipos de transformadores y sistemas de seccionamiento, adaptándose así a las necesidades específicas de cada instalación. Por ejemplo:

**Transformadores de Llenado Completo:** El sistema puede monitorear los niveles de aceite y la temperatura, generando alertas en caso de detectar cambios que puedan indicar un problema potencial.

**Transformadores con Tanque de Expansión:** Aquí, el sistema puede supervisar la presión y el estado del tanque de expansión, alertando sobre posibles fugas o anomalías en el funcionamiento.

**Sistemas de Refrigeración por Aire:** El sistema puede controlar la eficiencia de la refrigeración, asegurándose de que el transformador opere dentro de los parámetros óptimos.

Además de su aplicabilidad en subestaciones eléctricas, el sistema es **extremadamente adaptable** para su uso en otros tipos de instalaciones, lo que lo hace una solución versátil y amplia para diversas necesidades industriales. Algunas de estas aplicaciones incluyen:

**Bancos de Baterías:** El sistema puede monitorear el estado de carga, la temperatura y la integridad de las baterías, proporcionando alertas para el mantenimiento preventivo y evitando fallos críticos que podrían interrumpir el suministro de energía.

**Shelters de Tableros:** En estos recintos, el sistema puede supervisar las





---

condiciones ambientales internas, como la temperatura y la humedad, así como detectar accesos no autorizados, garantizando la seguridad de los equipos alojados.

**Sistemas de Energía Renovable:** El sistema puede ser adaptado para el monitoreo de instalaciones solares o eólicas, verificando la eficiencia de generación y detectando problemas en tiempo real para optimizar el rendimiento.

#### Beneficios de la Adaptabilidad

La adaptabilidad del sistema a diferentes tipos de instalaciones ofrece varios beneficios significativos:

**Reducción de Costos:** Al ser un sistema modular, se puede personalizar según las necesidades específicas de cada instalación, evitando gastos innecesarios en equipos adicionales.

**Mayor Seguridad:** La capacidad de generar alarmas específicas según el tipo de instalación permite una respuesta más rápida y efectiva ante situaciones de riesgo, mejorando así la seguridad operativa.

**Escalabilidad:** La facilidad de integración con diversos sistemas y tecnologías permite escalar el uso del sistema en diferentes contextos industriales, asegurando su relevancia y utilidad a largo plazo.

**Facilidad de Implementación:** Su diseño modular y adaptable facilita la implementación en diferentes tipos de instalaciones, reduciendo los tiempos de puesta en marcha y minimizando las interrupciones operativas.

Durante la realización del proyecto, uno de los principales desafíos fue la integración con los sistemas existentes. Aunque se lograron simular señales de diversos componentes utilizados en la industria, el sistema debe ser capaz de procesar estas señales para generar las alarmas y mediciones correspondientes. Surgieron problemas de incompatibilidad con algunos sensores, los cuales se solucionaron exitosamente, aunque se reconoce la necesidad de realizar más pruebas y evaluaciones en campo para verificar su funcionamiento in situ.



Este proceso de identificación y resolución de problemas nos ha permitido entender mejor las posibles mejoras futuras del sistema. Se podrían considerar desarrollos adicionales en áreas como la generación de historiales de fallas y alarmas y la implementación de notificaciones de alarmas a través de sistemas GCM.

En resumen, el proyecto ha cumplido con éxito sus objetivos de desarrollar un sistema de telemetría que mejora significativamente la seguridad y el monitoreo de subestaciones eléctricas en yacimientos petroleros. Las capacidades de adaptación y modularidad del sistema lo convierten en una solución viable y eficiente para su implementación en diversas condiciones operativas. Sin embargo, el proyecto también subraya la importancia de continuar refinando el sistema, realizar pruebas adicionales, y explorar oportunidades de mejora tecnológica para asegurar su efectividad y confiabilidad a largo plazo.



---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Protección de Transformadores  
[http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/transformadores/m\\_Cap10\\_protecciones\\_del\\_transformador\\_19.pdf](http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/transformadores/m_Cap10_protecciones_del_transformador_19.pdf)
- [2] Seccionadores y Elementos de maniobra de Media Tensión  
[https://www.epen.gov.ar/wp-content/uploads/2019/09/3-Elementos\\_de\\_maniobra\\_en\\_MT\\_-\\_PROTECCION\\_CON\\_RECONNECTADORES-NOV\\_2017.pdf](https://www.epen.gov.ar/wp-content/uploads/2019/09/3-Elementos_de_maniobra_en_MT_-_PROTECCION_CON_RECONNECTADORES-NOV_2017.pdf)
- [3] Transformadores MT/BT Refrigerados por Aire  
<https://www.siemens-energy.com/global/en/home/press-releases/siemens-energy-presents-innovative-pole-mounted-dry-type-transformer-american-grid.html>
- [4] Sensor de corriente lineal basado en efecto Hall ACS 712  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>
- [5] Datasheet LCD 20x4.
- [6] Relés de protección de Transformadores DGPT2®  
<https://www.automation2000.com/wp-content/uploads/2019/03/DGPT2-es-7.pdf>
- [7] Sensor de Temperatura DHT22  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [8] Datasheet ESP 32 Serie  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- [9] Módulo ESP32Cam  
<https://loboris.eu/ESP32/ESP32-CAM%20Product%20Specification.pdf>
- [10] Ficha Técnica Puesto Electricista de Estaciones Transformadoras (ET) y Subestaciones Transformadoras (SET)  
[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ft\\_ipetset\\_nov2022.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ft_ipetset_nov2022.pdf)
- [11] Módulo de temperatura: sistemas de medición con una amplia gama de accesorios.  
[https://www.reinhausen.com/fileadmin/downloadcenter/products/indicators/temperature\\_monitoring/thermometer/messko\\_trasy2/flyer/flyer\\_trasy2\\_en.pdf](https://www.reinhausen.com/fileadmin/downloadcenter/products/indicators/temperature_monitoring/thermometer/messko_trasy2/flyer/flyer_trasy2_en.pdf)



[12] Transformadores de Distribución: Teoría, Calculo y Ensayos

[https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788429193589\\_A40901253/preview-9788429193589\\_A40901253.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9788429193589_A40901253/preview-9788429193589_A40901253.pdf)

[13] Protecciones Eléctricas en MT

[https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/3415/mod\\_resource/content/0/PT071-Protecciones\\_en\\_MT.pdf](https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/3415/mod_resource/content/0/PT071-Protecciones_en_MT.pdf)

[14] Sensor de medición de Tensión ZMPT 101B

<https://5nrorwxhmqjijk.leadongcdn.com/ZMPT101B+specification-aidijBqoKomRilSqqokpjkp.pdf>