

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **IMPLEMENTACIÓN DE UN ANALIZADOR DE RED TRIFASICO Y SEÑALIZACIÓN PARA EL NUEVO TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DEL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL.**

#### **TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA**

**BRAULIO FRANCISCO QUISHPE TOCACHI**

braulio.quishpe@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. PABLO ANDRES PROAÑO CHAMORRO, MSC.**

pablo.proaño@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA, MSC.**

carlos.romo@epn.edu.ec

**Quito, Enero 2021**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Señor Braulio Francisco Quishpe Tocachi como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:



---

**Ing. Pablo Andrés Proaño Chamorro**

DIRECTOR DEL PROYECTO



---

**Ing. Carlos Orlando Romo Herrera**

CODIRECTOR DEL PROYECTO

## DECLARACIÓN

Yo, Quishpe Tocachi Braulio Francisco con CI:172178730-5 declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entrego toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Braulio Francisco Quishpe Tocachi

CI: 172178730-5

Teléfono: 3412-860 - 0995831718

Correo: braulio.quishpe@epn.edu.ec

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mi madre Francisca Tocachi y hermanos, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí.

Braulio Quishpe

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por brindarme fortaleza y bendiciones en todo momento, por ser el apoyo en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Agradezco a mi madre y hermanos, que con su aliento y motivación nunca dejaron de apoyarme en cada momento durante todo mi periodo académico.

Agradezco a mi director de proyecto el Ing. Pablo Proaño, por su calidad humana, predisposición y tiempo brindado para culminar con satisfacción mi trabajo final.

Agradezco a mi codirector de proyecto Ing. Carlos Romo, por el tiempo brindado. Agradezco a la ESFOT, profesores de la Institución por todo el conocimiento y consejos impartidos a lo largo de mi paso por tan noble institución.

Braulio Quishpe

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Objetivo general .....	1
1.2	Objetivos específicos.....	1
1.3	Fundamentos.....	2
2	METODOLOGÍA.....	5
2.1	Descripción de la metodología usada .....	5
3	EJECUCIÓN Y RESULTADOS.....	7
3.1	Requerimientos del sistema.....	8
3.2	Implementación del sistema de visualización.....	21
3.3	Implementación del sistema de medición de red .....	26
3.4	Pruebas de funcionamiento y análisis de resultados.....	36
3.5	Manual de uso y mantenimiento .....	43
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	45
4.1	Conclusiones .....	45
4.2	Recomendaciones .....	46
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Analizador de red SENTRON PAC 3100.....	2
<b>Figura 1.2</b>	Transformador de corriente toroidal. ....	3
<b>Figura 1.3</b>	Partes del transformador de corriente. ....	3
<b>Figura 3.1</b>	Elementos instalados en la puerta del tablero .....	7
<b>Figura 3.2</b>	Elementos instalados dentro del tablero.....	8
<b>Figura 3.3</b>	Espacio libre, vista frontal. ....	10
<b>Figura 3.4</b>	Dimensiones del Tablero.....	11
<b>Figura 3.5</b>	Ubicación de luces piloto, canaletas y el analizador de red.....	11
<b>Figura 3.6</b>	Ubicación de los TC's y las protecciones. ....	12
<b>Figura 3.7</b>	Canaleta 25 x 25 (mm).....	15
<b>Figura 3.8</b>	Terminal tipo ojal.....	16
<b>Figura 3.9</b>	Disyuntor monopolar 2 (A). ....	16
<b>Figura 3.10</b>	Medidor multifunción SENTRON PAC3100.....	17
<b>Figura 3.11</b>	Transformador de corriente Clase: 0.5, 1.0. ....	18
<b>Figura 3.12</b>	Luz piloto color verde. ....	19
<b>Figura 3.13</b>	Luz piloto color amarillo.....	19
<b>Figura 3.14</b>	Toma de medidas para ubicar las luces piloto.....	21
<b>Figura 3.15</b>	Colocación de las luces piloto. ....	22
<b>Figura 3.16</b>	Ubicación de la canaleta ranurada. ....	22
<b>Figura 3.17</b>	Colocación de los cables en la canaleta.....	23
<b>Figura 3.18</b>	Diagrama de conexión Laboratorio de Control Industrial. ....	23
<b>Figura 3.19</b>	Diagrama de conexión Laboratorio de Análisis Instrumental. ....	24
<b>Figura 3.20</b>	Diagrama de conexión instalaciones eléctricas. ....	24
<b>Figura 3.21</b>	Diagrama de conexión instalación mecánica.....	24
<b>Figura 3.22</b>	Diagrama de conexión tablero principal.....	25
<b>Figura 3.23</b>	Conexión de las luces piloto.....	25
<b>Figura 3.24</b>	Diagrama eléctrico para probar el equipo.....	26
<b>Figura 3.25</b>	Corrientes de línea.....	27
<b>Figura 3.26</b>	Voltajes (Línea -Neutro). ....	27
<b>Figura 3.27</b>	Voltajes (Línea -Línea).....	28
<b>Figura 3.28</b>	Instalación de los TC's. ....	28
<b>Figura 3.29</b>	Las 3 fases atraviesan los TC's .....	29
<b>Figura 3.30</b>	Montaje del Analizador de Red. ....	30
<b>Figura 3.31</b>	Posición de montaje.....	30

<b>Figura 3.32</b> Analizador de red montado en el panel. ....	31
<b>Figura 3.33</b> Rotulación de bornes. ....	31
<b>Figura 3.34</b> Designación de conexiones.....	32
<b>Figura 3.35</b> Conexión del voltaje de alimentación. ....	33
<b>Figura 3.36</b> Conexión del voltaje de medición. ....	34
<b>Figura 3.37</b> Conexión de la corriente de medición. ....	34
<b>Figura 3.38</b> Conexión a los bornes de entrada de corriente. ....	35
<b>Figura 3.39</b> Etiquetado de cables.....	35
<b>Figura 3.40</b> Funcionamiento de las luces piloto.....	41
<b>Figura 3.41</b> Mantenimiento del sistema de medición y visualización. ....	43
<b>Figura 3.42</b> Manual de uso.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1</b> Medición de voltajes y corrientes. ....	9
<b>Tabla 3.2</b> Voltaje en las barras de cobre. ....	10
<b>Tabla 3.3</b> Corrientes y diámetro del cable ....	14
<b>Tabla 3.4</b> Cantidad de cables que almacena la canaleta. ....	15
<b>Tabla 3.5</b> Especificaciones técnicas y características del analizador de red. ....	17
<b>Tabla 3.6</b> Características del transformador de corriente. ....	18
<b>Tabla 3.7</b> Características luz piloto verde ....	19
<b>Tabla 3.8</b> Características luz piloto amarillo. ....	20
<b>Tabla 3.9</b> Características del cable 14 AWG. ....	20
<b>Tabla 3.10</b> Identificación de bornes. ....	32
<b>Tabla 3.11</b> Interruptores termomagnéticos. ....	36
<b>Tabla 3.12</b> Magnitudes medidas por el analizador de red. ....	37
<b>Tabla 3.13</b> Voltajes y corrientes sin carga (tablero de distribución). ....	38
<b>Tabla 3.14</b> Voltajes y corrientes con carga (tablero de distribución). ....	39
<b>Tabla 3.15</b> Voltajes medidos en la mesa 3 (multímetro) ....	40
<b>Tabla 3.16</b> Voltajes en la mesa 3 y el analizador de red. ....	40
<b>Tabla 3.17</b> Variación del factor de potencia. ....	40
<b>Tabla 3.18</b> Luces piloto encendidas ....	41
<b>Tabla 3.19</b> Encendido y apagado de las luces piloto. ....	42

## RESUMEN

El presente proyecto plantea la implementación de un sistema de medición y visualización en el tablero de distribución, ubicado en el Laboratorio de Tecnología Industrial.

El sistema de medición, se logra a través de un analizador de red conectado a las líneas principales y a tres transformadores de corriente, cuya función principal es medir y mostrar en la pantalla del instrumento los diferentes parámetros eléctricos.

Mediante luces indicadoras, conectadas a los bornes de salida de los disyuntores e instaladas en la parte externa del gabinete, se puede visualizar cuando los laboratorios se encuentran energizados.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos para su ejecución, los cuales se detallan a continuación:

El primer capítulo contiene la introducción, objetivo general, objetivos específicos y fundamentos, en el cual se detalla el propósito de implementar estos sistemas.

El segundo capítulo se refiere a la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto y describe las actividades realizadas para la implementación del sistema de medición de red y señalización.

En el capítulo tres se detalla el análisis de requerimientos para la implementación del sistema de medición y visualización en el nuevo tablero de distribución, la ubicación de los dispositivos eléctricos, conexiones, diagramas eléctricos, manual de mantenimiento, por último, las pruebas realizadas y el análisis de resultados.

En el cuarto capítulo se muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la ejecución y funcionamiento del proyecto.

Finalmente se incluyen fuentes bibliográficas y anexos que proporcionan información para entender mejor sobre el funcionamiento de los sistemas.

**PALABRAS CLAVE:** monitoreo, fases, parámetros, distribución.

# ABSTRACT

This project proposes the implementation of a measurement and visualization system, on the distribution board, located in the Industrial Technology Laboratory.

The measurement system is achieved through a network analyzer connected to the main lines and three current transformers, whose main function is to measure and display the different electrical parameters on the instrument screen.

By means of indicator lights, connected to the output terminals of the circuit breakers and installed outside the cabinet, it is possible to visualize when the laboratories are energized.

This work consists of four chapters for its execution, which are detailed below:

The first chapter contains the introduction, general objective, specific objectives and fundamentals, in which the purpose of implementing these systems is detailed.

The second chapter refers to the methodology used for the development of the project and describes the activities carried out for the implementation of the network measurement and signaling system.

Chapter three details the analysis of requirements for the implementation of the measurement and visualization system in the new distribution board, the location of the electrical devices, connections, electrical diagrams, maintenance manual, finally, the tests carried out and the analysis of results.

The fourth chapter shows the conclusions and recommendations obtained from the execution and operation of the project.

Finally, bibliographic sources and annexes are included that provide information to better understand the functioning of the systems.

**KEY WORDS:** monitoring, phases, parameters, distribution.

# 1 INTRODUCCIÓN

Un sistema de monitoreo de energía brinda información del comportamiento actual de la red eléctrica a través del monitoreo de: voltaje, corriente, factor de potencia, potencia activa, reactiva y aparente. El medidor multifunción SIEMENS SENTRON PAC3100 es un analizador de red que permite visualizar las magnitudes eléctricas básicas en una distribución de energía eléctrica en baja tensión. Puede realizar mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas.

El sistema de visualización y el analizador de red SIEMENS PAC 3100 han sido instalados en el nuevo tablero de distribución principal que se encuentra ubicado en el Laboratorio de Tecnología Industrial.

El motivo de realizar la medición de los parámetros eléctricos, es porque en los diferentes laboratorios se realizan prácticas y una correcta medición de voltaje garantiza el trabajo y estabilidad de los equipos, estos datos se pueden visualizar de forma directa en la pantalla del analizador de red.

Las luces indicadoras instaladas en el panel frontal del tablero y conectadas a cada una de las fases de los cinco disyuntores existentes en el tablero, cumplen un propósito, el cual es indicar si algún tablero o línea se encuentra energizada, por lo que es de suma importancia saber interpretar este tipo de señalización.

En el ANEXO 1 se adjunta el certificado de funcionamiento el cual avala que este proyecto se encuentra funcionando de forma correcta.

## 1.1 Objetivo general

Implementar un analizador de red trifásico y señalización para el nuevo tablero de distribución del Laboratorio de Tecnología Industrial.

## 1.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de requerimientos del sistema.
- Implementar el sistema de señalización.
- Implementar el sistema de medición.
- Realizar pruebas y análisis de resultados.
- Manual de uso y mantenimiento.

## 1.3 Fundamentos.

### Analizador de red multifunción Siemens SENTRON PAC3100.

El instrumento de medición SENTRON PAC 3100 es un dispositivo compacto que se lo utiliza para la medición y visualización de diferentes parámetros eléctricos, está instrumento está diseñado para poder conectarse en redes monofásicas o trifásicas.

Antes de manipular el dispositivo, es importante tocar un armario o tablero eléctrico que se encuentre conectado a tierra, para descargar el cuerpo de posible electricidad estática. (Figura 1.1)



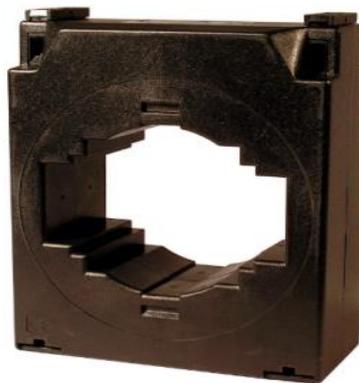
Figura 1.1 Analizador de red SENTRON PAC 3100.

#### Finalidad del PAC3100:

- El equipo de medición SIEMENS SENTRON PAC 3100, detecta valores energéticos, del tablero principal, como también de los diferentes tableros que se derivan del mismo.
- Las entradas de medición de corriente pueden soportar 10 (A) y máximo 300 (V).
- El dispositivo se lo utiliza únicamente para medir voltajes y corrientes alternas.
- El dispositivo puede realizar mediciones directas o a través de transformador de voltaje.
- El instrumento de medición, está diseñado para admitir tensiones de entrada de hasta 277 (V) respecto al neutro y 480 (V) entre fase y línea de salida.
- Dispone de entradas indirectas de corriente, o a través de transformadores de corriente.

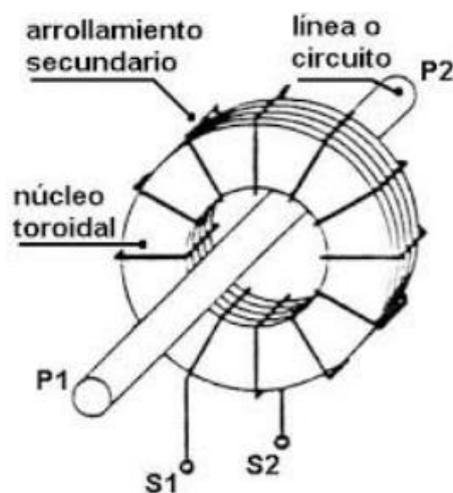
## Transformador de corriente toroidal

Este transformador no posee un devanado primario y es de baja tensión, tiene forma de anillo y esta recubierto por una caja de plástico. La línea principal que transporta la corriente, pasa por medio de la abertura del transformador toroidal, obteniendo en el secundario del transformador corrientes bajas, las cuales son utilizadas para el funcionamiento de instrumentos de medición. Muchos de los transformadores de corriente tienen una relación estándar, significa que cuando 100 (A) fluyen en el devanado primario, se tienen 5 (A) fluyendo en el secundario, es decir que la relación de transformación es de 100/5. (Figura 1.2)



**Figura 1.2** Transformador de corriente toroidal. [1]

Para que exista una precisión en la corriente que entrega el secundario del transformador, el cable que transporta la corriente primaria debe ir centrado en la abertura. (Figura 1.3)



**Figura 1.3** Partes del transformador de corriente. [1]

### **Seguridad al momento de conectar el transformador de corriente (TC's)**

Mientras esté fluyendo una corriente en el primario, el secundario del transformador no debe desconectarse de la carga o funcionar en circuito abierto, ya que el devanado secundario genera una corriente que supera su rigidez dieléctrica, poniendo en riesgo la seguridad de la operación, como también afectar la precisión del transformador o incluso destruirlo.

La forma de detectar que el transformador de corriente está funcionando en circuito abierto, es por el ruido que genera.

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Descripción de la metodología usada**

Se instaló un sistema de medición trifásico y un sistema de visualización en el nuevo tablero de distribución principal ubicado en el área de control del Laboratorio de Tecnología Industrial. El analizador de red está conectado a la red trifásica y a su vez a 3 transformadores de corriente (TC's). Al energizar el nuevo tablero de distribución, en la pantalla del analizador se puede observar información y datos exactos de los diferentes parámetros eléctricos.

Para verificar la presencia o ausencia de energía eléctrica en los tableros de control que se derivan del principal, se instaló 3 luces piloto por cada disyuntor, una por fase (R-S-T).

#### **Realizar un estudio de requerimientos del sistema**

Se realizó la medición de voltaje y corriente que llegan al nuevo tablero de distribución principal, Se eligió los elementos que trabajen correctamente con las magnitudes medidas, se calculó el calibre del cable y dependiendo de la cantidad de cables necesarios para realizar las conexiones se dimensionó la canaleta. Se procedió a realizar un estudio de las condiciones del nuevo tablero de distribución principal, de esta manera se fijó el lugar donde se encuentran instalados, el analizador de red, las luces piloto y los tres transformadores de corriente de 100/5 (A), estos últimos, están instalados dentro del tablero, mientras que los dos primeros están ubicados en el panel frontal. Se realizó un estudio del analizador de red a implementar, ya que debía ser apto para ir inmerso en el tablero de distribución.

#### **Implementar el sistema de señalización.**

Se realizó planos y diagramas unifilares para ubicar correctamente la señalización. El dimensionamiento de los cables se lo hizo teniendo en cuenta los diferentes parámetros tales como el voltaje, la corriente y el espacio, se hicieron perforaciones de acuerdo al diámetro de la luz piloto, en total se colocaron 15 luces piloto en el panel frontal del tablero de distribución, tres de color verde por cada interruptor termomagnético que alimentan los tableros derivados, mientras que, para el breaker principal se instaló 3 luces piloto color amarillo. Una vez ubicados en sus respectivos sitios, se efectuó las conexiones respectivas.

### **Implementar el sistema de medición de red.**

Una vez seleccionando el analizador de red se procedió a dimensionar los cables y las protecciones. Se tomó medidas para ubicar el lugar en donde irá instalado. Se tuvo en cuenta que no interfiera con ningún elemento eléctrico instalado dentro del tablero, se hizo una perforación en la tapa del tablero y se insertó el analizador de red dentro de esta abertura, se realizó un diagrama eléctrico para la conexión y una vez aprobado, se procedió a realizar las conexiones.

### **Realizar pruebas de funcionamiento y análisis de resultados.**

- Se configuró el analizador de red para realizar pruebas de medición de parámetros eléctricos.
- Se comprobó la información que se plasma en la pantalla del analizador, utilizando un multímetro.
- Se realizó pruebas, para verificar el estado en el que se encuentran las protecciones implementadas en el sistema de medición.
- Se realizó la conexión y desconexión de los disyuntores, para verificar que las luces correspondientes a cada laboratorio se activen y desactiven.

### **Realizar manual uso y mantenimiento.**

Se elaboró varias tablas en las cuales se especificaron: las tareas de mantenimiento, cronograma de actividades, fallas más comunes, posibles soluciones, los materiales y las herramientas a utilizar.

### 3 EJECUCIÓN Y RESULTADOS

En el nuevo tablero de distribución principal, ubicado en el área de control del Laboratorio de Tecnología Industrial, está instalado el sistema de visualización y medición, los elementos que se instalaron en el panel frontal del tablero se los puede observar en la Figura 3.1, mientras que en la Figura 3.2 se puede apreciar los elementos que están instalados en el interior del tablero, este conjunto de elementos permiten verificar si los laboratorios que se derivan del tablero principal están energizados, así como también la lectura de los diferentes parámetros eléctricos de forma directa.

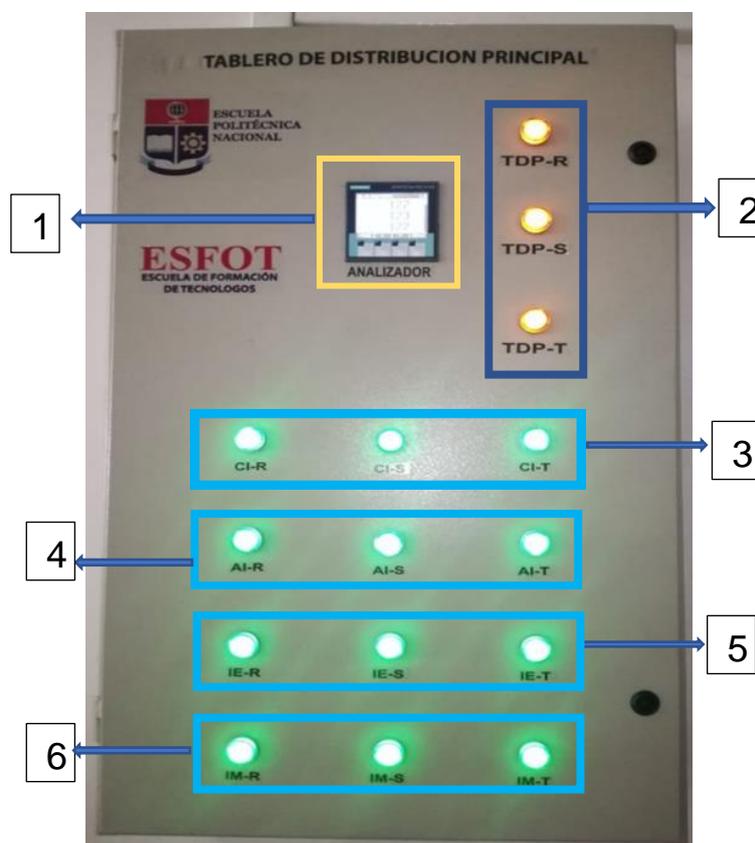


Figura 3.1 Elementos instalados en la puerta del tablero

#### Elementos del tablero

1. Analizador de red SENTRON PAC 3100.
2. Luces piloto color amarillo (Tablero de Distribución Principal).
3. Luces piloto color verde (Laboratorio de Control Industrial).
4. Luces piloto color verde (Laboratorio de Análisis Instrumental).
5. Luces piloto (Instalaciones Eléctricas).
6. Luces piloto (Instalaciones Mecánicas).

7. Transformadores de corriente (TC's).
8. Interruptores termomagnéticos de 2 (A).

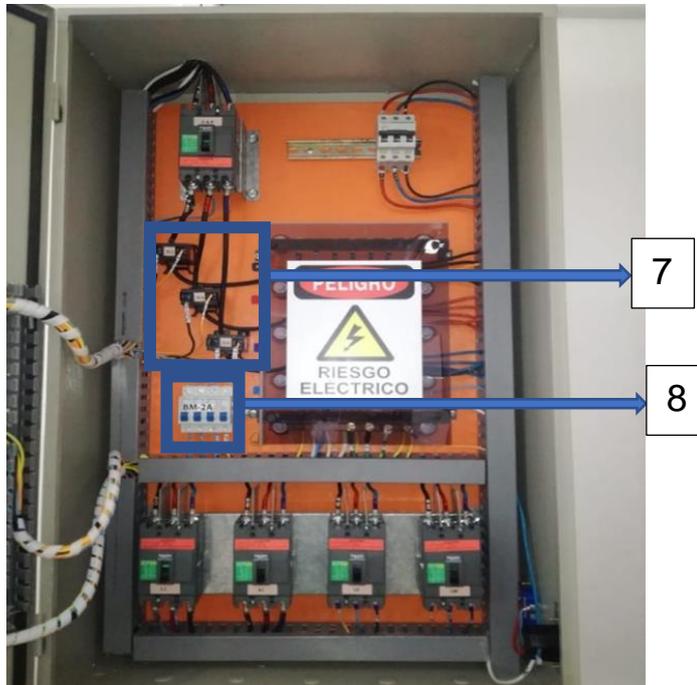


Figura 3.2 Elementos instalados dentro del tablero.

### 3.1 Requerimientos del sistema.

En esta sección se hace referencia a aspectos fundamentales que fueron tomados en consideración para la implementación del sistema de medición y visualización en el tablero de distribución como son: parámetros eléctricos, dimensiones del tablero, canaletas, calibre del conductor, ubicación de los transformadores de corriente y de las protecciones.

- **Inspección del nuevo tablero de distribución.**

A continuación, se muestran las magnitudes obtenidas según las mediciones realizadas. Estos valores fueron tomados en los cinco disyuntores que se encuentran instalados dentro del tablero de distribución principal y en las barras de cobre.

En la Tabla 3.1 se muestran los valores de voltajes y corrientes, que se tomaron con el multímetro, en las ramas que alimentan los laboratorios de análisis instrumental, control industrial, Instalaciones eléctricas, Instalaciones mecánicas y en el disyuntor que alimenta el tablero principal, una vez realizado este paso se comprobó que se

encuentran funcionando correctamente y se cuenta con voltajes y corrientes necesarias para el funcionamiento de los dispositivos eléctricos a ser instalados.

**Tabla 3.1** Medición de voltajes y corrientes.

<b>Voltaje (F - N)</b>	<b>R</b> <b>(V<sub>AC</sub>)</b>	<b>S</b> <b>(V<sub>AC</sub>)</b>	<b>T</b> <b>(V<sub>AC</sub>)</b>
Tablero Principal	122.7	122.8	126.6
Control industrial	122.3	122.7	122.7
Análisis Instrumental	122.5	122.7	122.8
Instalaciones Eléctricas	122,7	122,9	122.8
Instalaciones Mecánicas	122.5	122.7	122.7
<b>Voltaje (F - F)</b>	<b>R-S</b> <b>(V<sub>AC</sub>)</b>	<b>S-T</b> <b>(V<sub>AC</sub>)</b>	<b>T-R</b> <b>(V<sub>AC</sub>)</b>
Tablero Principal	212.9	213.1	211.4
Control Industrial	214.6	214.5	212.6
Análisis Instrumental	214.8	213.9	212.6
Instalaciones Eléctricas	213.2	213.0	211.4
Instalaciones Mecánicas	212.5	212.8	211.5
<b>Corrientes (Fases)</b>	<b>R</b> <b>(A)</b>	<b>S</b> <b>(A)</b>	<b>T</b> <b>(A)</b>
Tablero Principal	0.1	1.7	1.3
Control Industrial	0.1	1.6	1.2
Análisis Instrumental	0.1	0.4	0.3
Instalaciones Eléctricas	0.0	0.0	0.0
Instalaciones Mecánicas	0.0	0.0	0.0

En la Tabla 3.2 se muestran los valores de voltajes medidos en las barras de cobre, estos datos son importantes para la puesta en marcha del dispositivo, ya que desde estos puntos identificados como (R-S-T-N), se derivan las conexiones hacia los bornes de medición y alimentación del analizador de red.

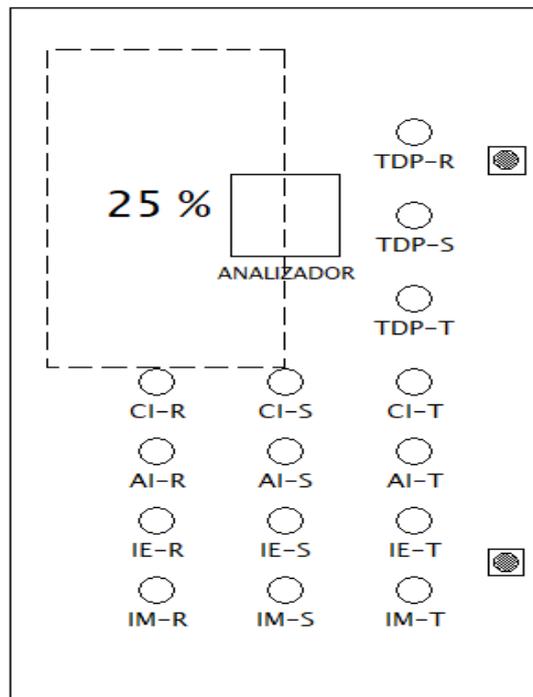
Se puede observar, que los voltajes son adecuados para el funcionamiento del dispositivo.

**Tabla 3.2** Voltaje en las barras de cobre.

Voltaje (F-N)	R (V <sub>AC</sub> )	S (V <sub>AC</sub> )	T (V <sub>AC</sub> )
Barras de cobre	122.6	122.7	122.8
Voltaje (F-F)	R-S (V <sub>AC</sub> )	S-T (V <sub>AC</sub> )	T-R (V <sub>AC</sub> )
Barras de cobre.	213.4	212.6	211.2

**Esquemas para la distribución de los diferentes elementos.**

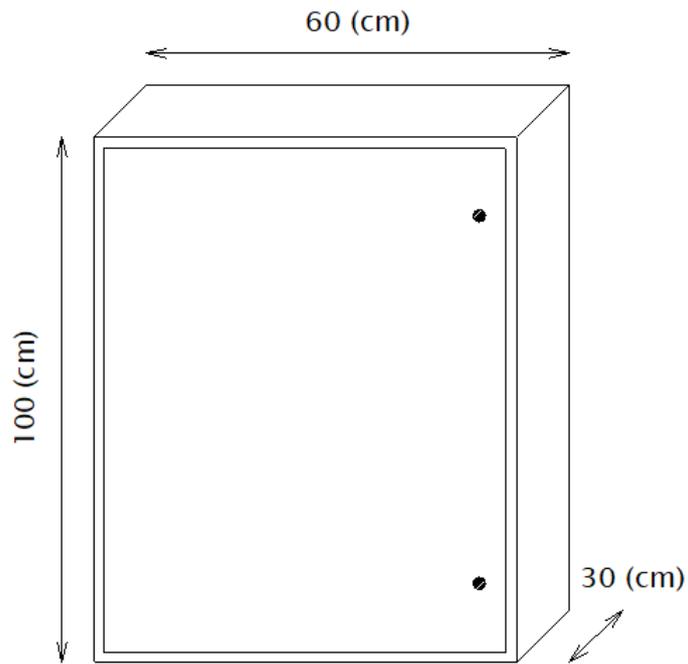
Se elaboraron los siguientes esquemas con el objetivo de identificar y señalar el lugar donde se ubicarán los diferentes elementos, tanto en el panel frontal, como dentro del tablero de distribución principal, tomando en cuenta la norma (NCh 4 ELEC 6.2.1.8) [2] que plantea dejar un 25 % de espacio libre para ampliaciones. (Figura 3.3)



**Figura 3.3** Espacio libre, vista frontal.

- **Dimensiones del tablero eléctrico.**

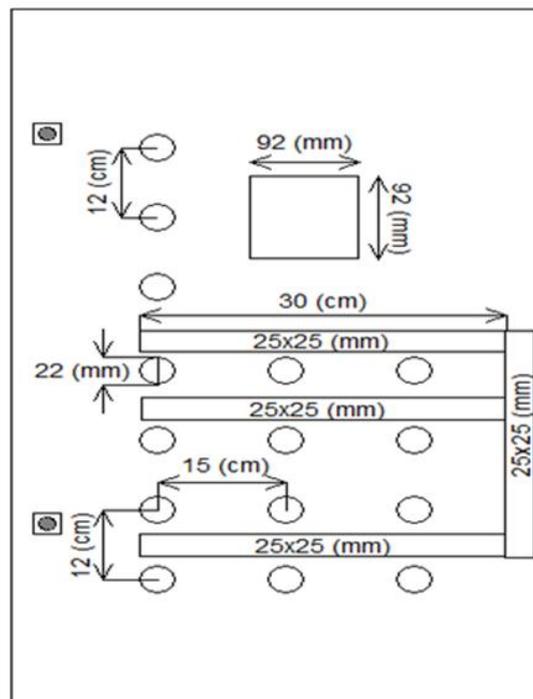
Se cuenta con un tablero metálico cuyas dimensiones son de 100 (cm) de largo x 60 (cm) de ancho y 30 (cm) de profundidad. (Figura 3.4)



**Figura 3.4** Dimensiones del Tablero

- **Ubicación de las luces piloto y el analizador de red.**

A continuación, se muestra una gráfica con la distribución de los diferentes elementos: el analizador de red, las luces piloto y las canaletas, estos elementos están ubicados en el panel frontal del tablero. (Figura 3.5)

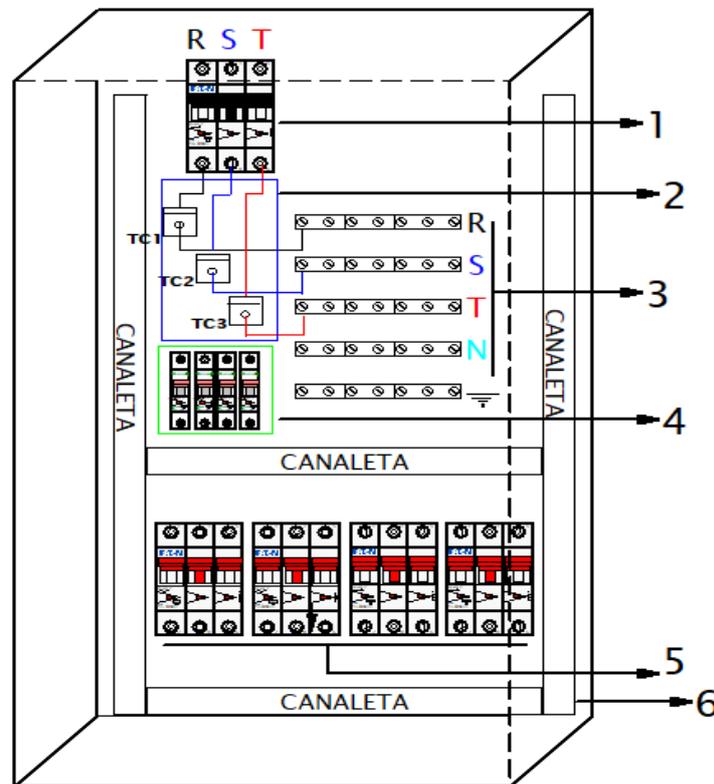


**Figura 3.5** Ubicación de luces piloto, canaletas y el analizador de red.

Las luces piloto están separadas, la una de la otra, una distancia de 12 (cm) en sentido vertical, mientras que en sentido horizontal tienen una separación de 15 (cm). El largo de las tres canaletas es de 30 (cm), el analizador de red está ubicado en el centro en sentido horizontal, mientras que, en sentido vertical se encuentra separado de arriba hacia abajo una distancia de 25 (cm) considerando que el dispositivo requiere de ventilación.

- **Ubicación de los transformadores de corriente y las protecciones.**

Como primer paso, se tomó las dimensiones físicas (ancho, largo y altura) de los transformadores de corriente, después se realizó una gráfica del tablero de distribución con todos los elementos eléctricos que se encuentran ya instalados en su interior y se identificó el espacio disponible para ubicar los TC's y las protecciones. (Figura 3.6)



**Figura 3.6** Ubicación de los TC's y las protecciones.

1. Disyuntor Principal 80 (A)
2. Espacio para ubicar los tres transformadores de corriente.
3. Barras de cobre (R-S-T-N-tierra)
4. Espacio para ubicar las protecciones.
5. Disyuntores secundarios 40 (A)
6. Canaleta.

- **Aspectos importantes para ubicar los elementos.**

Al momento de ubicar los transformadores de corriente, se tomó en cuenta que no interfirieran en el trayecto de las líneas principales, por lo que, se los situó de forma escalonada.

Otro aspecto importante que se tuvo en cuenta al momento de situarlos, fue que las líneas principales atraviesen a los TC's por el centro.

Se ubicó el analizador de red en la parte superior del tablero para salvaguardar la integridad del dispositivo.

A las luces piloto, que indican si el tablero principal esta energizado, se las ubicó de forma vertical, con el propósito que se diferencien de los demás laboratorios.

La canaleta y los demás elementos están ubicados de tal forma que no afecten o intervengan en el funcionamiento normal de los elementos eléctricos que se encuentran ya instalados dentro del tablero.

Las protecciones, para salvaguardar el instrumento de medición, se ubicaron en un lugar de fácil acceso para la persona que realice el manejo o mantenimiento. (Figura 3.6)

**Materiales para la construcción del sistema.**

- **Cálculo del calibre del conductor.**

Las normas NEC recomiendan que la caída de voltaje máxima combinada para el alimentador más el circuito ramal no debe superar el 5% y el máximo en el circuito alimentador o ramal no debe superar el 3%. [3]

Caída de voltaje máxima para el alimentador más circuito ramal:  $\leq 5\%$

Para calcular la caída de voltaje máxima permitida se reemplazó los valores en la Ecuación 3.1, una vez obtenido este dato, se calculó la sección del conductor.

$$\Delta V = \% \cdot V_{nom}$$

**Ecuación 3.1** Caída de voltaje. [4]

Donde:

$\Delta V$	:	Caída de voltaje máxima permitida	?	(V <sub>AC</sub> )
%	:	Caída de voltaje máxima permitida	3	%
V <sub>nom</sub>	:	Voltaje nominal	120	(V <sub>AC</sub> )

$$\Delta V = 3\% \cdot 120 = 3.6 \text{ (V)}$$

Al obtener el resultado en la Ecuación 3.2, se eligió la sección inmediatamente normalizada (Tabla 3.3), para el caso pertinente es de 2.91 (mm<sup>2</sup>) y corresponde a un cable 14 AWG.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \rho}{\Delta V}$$

**Ecuación 3.2** Cálculo de la sección del conductor. [4]

**Donde:**

S	: Sección del conductor	?	(mm <sup>2</sup> )
L	: Longitud de la línea	3	(m)
I	: Corriente máxima del circuito	10	(A)
$\rho$	: Resistividad del cobre	0.0171	( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ).
V	: Caída de voltaje máxima permitida	3.6	(V <sub>AC</sub> ).

$$S \approx 0.29 \text{ (mm}^2\text{)} = 14 \text{ AWG}$$

Se eligió el calibre del conductor # 14 AWG, ya que el tamaño al ser lo suficientemente grande proporciona una eficiencia en el funcionamiento del equipo evitando que el dispositivo se caliente.

**Tabla 3.3** Corrientes y diámetro del cable

AWG	Amperaje (A)	Diámetro (mm)
10	35	3.67
12	25	3.28
14	20	2.91

- **Dimensionamiento de la canaleta y tipo de terminal.**

UL (*Underwriters Laboratories*) recomienda llenar las canaletas solo hasta el 50% de su capacidad total, a fin de evitar calentamiento de los cables por contacto. [5]

Una vez realizado el cálculo del calibre del conductor y de acuerdo con los datos proporcionados en la Tabla 3.4, se procedió a seleccionar la canaleta de 25 x 25 (mm), ya que su espacio está diseñado para almacenar 25 cables 14 AWG sin que sufran ningún tipo de calentamiento.

**Tabla 3.4** Cantidad de cables que almacena la canaleta. [5]

Altura (mm)	Dimensiones (mm)	12 AWG	14 AWG	16 AWG
25	25 x 25	19	25	31
40	25 x 40	30	38	48
	40 x 40	47	60	74
	60 x 40	86	110	134
60	25 x 60	43	60	70
	40 x 60	86	110	134
	60 x 60	128	165	201

La canaleta que se eligió es la adecuada, debido a que no es muy grande y por ende ocupa un espacio pequeño, permite un fácil mantenimiento del tablero y no obstruye los demás elementos. Las líneas de pre ruptura provistas en la canaleta facilitan el corte de los segmentos para acoplarlos con las otras canaletas, además de permitir el paso cómodo y seguro de los conductores. (Figura 3.7)



**Figura 3.7** Canaleta 25 x 25 (mm).

Se colocó terminales de conexión en las puntas de cada cable, con el fin de sujetar bien a los diferentes bornes de conexión.

El terminal que se utilizó fue de tipo ojal, ya que garantiza la conexión de forma precisa, a diferencia del terminal tipo horquilla que fácilmente puede soltarse del borne de conexión. (Figura 3.8)



**Figura 3.8** Terminal tipo ojal.

- **Protecciones para el analizador de red.**

De los datos de placa del instrumento de medición, se obtuvo la potencia 10 (W) y el voltaje 120 (V), para posteriormente calcular la corriente. (Ecuación 3.3)

$$I = \frac{P}{V}$$

**Ecuación 3.3** Cálculo de la corriente.

Una vez obtenida la corriente, se multiplico por un factor de protección de 125 %. (Ecuación 3.4)

$$I = 1.25 \times 0,083 \text{ (A)} = 0,10 \text{ (A)}$$

**Ecuación 3.4** Factor de protección.

Para salvaguardar el dispositivo de medición, ante posibles sobrecargas, se instaló cuatro disyuntores monopolares de 2 (A) (Figura 3.9), disyuntores más cercanos según los estándares comerciales, tres protecciones en las líneas que se conectan a los bornes de medición de voltaje del dispositivo V1, V2, V3 y una protección en la línea que se conecta en el borne de alimentación L/+.



**Figura 3.9** Disyuntor monopolar 2 (A).

## Características de los elementos.

- **Analizador de red SENTRON PAC3100.**

El dispositivo posee cuatro teclas que permiten una navegación directa. (Figura 3.10) No puede realizar mediciones superiores a 5 (A) sin tener transformadores de corriente conectados en los bornes asignados.



**Figura 3.10** Medidor multifunción SENTRON PAC3100.

En la Tabla 3.5 se muestra en detalle los rangos de voltajes y corrientes con los cuales el dispositivo de medición funciona correctamente y sus características físicas.

**Tabla 3.5** Especificaciones técnicas y características del analizador de red. [6]

Características			
Rango de voltaje	58-277	L-N (V <sub>AC</sub> )	Categoría de sobretensión: CAT III
Rango nominal	100-480	L-L (V <sub>AC</sub> )	Categoría de sobretensión: CAT III
Rango nominal	100-240	L-N (V <sub>AC</sub> )	Categoría de sobretensión: CAT III
Rango de corriente	5	(A)	Conexión a un sistema de corriente AC
Entradas digitales	2		
Salidas digitales	2		
Comunicación	Interfaz RS485 Modbus RTU		
Configuración	Cuatro teclas de función		
Dimensiones	96 x 96 x 56 (mm)		
Dimensiones recorte de panel	92 x 92 (mm)		
Pantalla	Pantalla	LC gráfica y monocristalina	
	Resolución	128 x 96 píxeles	
	Tamaño	72 (mm) x 54 (mm)	

- **Transformadores de corriente (TC's).**

Este transformador eléctrico denominado toroidal, en la parte superior dispone de cuatro terminales, dos de estos terminales se los debe cortocircuitar, mientras que los dos restantes se conectan directamente en el instrumento de medición en los respectivos puntos de conexión, además, posee un agujero interno de 22 (mm) por donde atraviesa el cable de la línea principal. (Figura 3.11)



**Figura 3.11** Transformador de corriente Clase: 0.5, 1.0. [1]

En la Tabla 3.6 se muestran las características del transformador de corriente, esta información es importante al momento de remplazar este componente.

**Tabla 3.6** Características del transformador de corriente. [1]

CARACTERÍSTICAS	
Número de modelo	Dx-20 transformador de corriente para amperímetro
Estructura de la bobina	Toroidal
Número de bobinas	Autotransformador
Temperatura de trabajo	- 10 C <sup>0</sup> – 50 C <sup>0</sup>
Frecuencia nominal	50/60 (Hz)
Corriente primaria	100 (A)
Corriente secundaria	5 (A)/1 (A)
Fase	Solo

**Luz indicadora color verde.**

Estos indicadores luminosos funcionan con 220 (V<sub>AC</sub>) o también con 110 (V<sub>AC</sub>), cumplen una función importante la cual es indicar el funcionamiento de los tableros eléctricos que se derivan del principal. (Figura 3.12)



**Figura 3.12** Luz piloto color verde.

En la Tabla 3.7 se detallan las características de la luz piloto color verde.

**Tabla 3.7** Características luz piloto verde

CARACTERÍSTICAS				
Código	Modelo	(V <sub>AC</sub> )	(mm)	Luz
GY0034	AD220S	220/110	22	Led
FT0050	AD220S	220/110	22	Led

- **Luz indicadora color amarillo.**

En la Figura 3.13 se muestra la luz piloto color amarillo, en total se han instalado tres luces de las mismas características (Tabla 3.8), las cuales al estar encendidas indican que el tablero principal esta energizado.



**Figura 3.13** Luz piloto color amarillo.

En la Tabla 3.8 se detallan las características de la luz piloto color amarillo, en la cual se menciona el modelo, voltaje de funcionamiento y sus dimensiones.

**Tabla 3.8** Características luz piloto amarillo.

CARACTERÍSTICAS				
Código	Modelo	(V <sub>AC</sub> )	(mm)	Luz
GY0034	AD220S	220/110	22	Led
FT0050	AD220S	220/110	22	Led

- **Cable número 14 AWG.**

El cable seleccionado posee un aislante que se encarga de aislar el flujo de corriente del exterior y evita cortocircuitos, está fabricado de material termoplástico. En la Tabla 3.9 se mencionan las características del cable utilizado.

**Tabla 3.9** Características del cable 14 AWG.

Control Implementado	Especificaciones
Características	Voltaje de servicio 600 (V <sub>AC</sub> )
Temperatura de trabajo	90 C <sup>o</sup>
Material principal	Cobre
Resistividad máxima	0,017241 (Ω x mm <sup>2</sup> /m)
Normativa	NTE INEN 2345 UL 83 ASTM B3

**Listado de elementos y materiales.**

- Medidor multifunción SIEMENS SENTRON PAC3100.
- Transformadores de corriente toroidal 100/5 (A<sub>AC</sub>).
- Disyuntores de 2 (A).
- Canaleta ranurada 25 x 25 (mm).
- Tres Luces Piloto color amarillo 220/110 (V<sub>AC</sub>).
- Doce luces piloto color verde 220/110 (V<sub>AC</sub>).
- Cable número 14 AWG.
- Terminales tipo ojal
- Caja metálica por intervenir (Tablero de distribución principal)

## 3.2 Implementación del sistema de visualización

- **Adecuación del espacio para ubicar las luces piloto.**

En la Figura 3.3 se realizó la distribución uniforme de las 15 luces led, en este punto se procedió a llevar estas medidas de forma física a la puerta del tablero principal, se marcaron los 15 puntos para posteriormente perforarlos, cada orificio de un diámetro de 22 (mm), teniendo en cuenta que la luz piloto ingrese en estos orificios sin tener que realizar ningún esfuerzo. (Figura 3.14)



**Figura 3.14** Toma de medidas para ubicar las luces piloto.

- **Herramientas utilizadas.**
  - Flexómetro
  - Lápiz
  - Taladro de pedestal
  - Broca escalonada 4-22 (mm)
- **Instalación de las luces piloto**

Desde la parte delantera se introdujeron las luces piloto en los orificios, estas luces indicadoras llevan incorporado un anillo roscado, con el cual se ajustó de modo que queden bien sujetos al panel. (Figura 3.15)

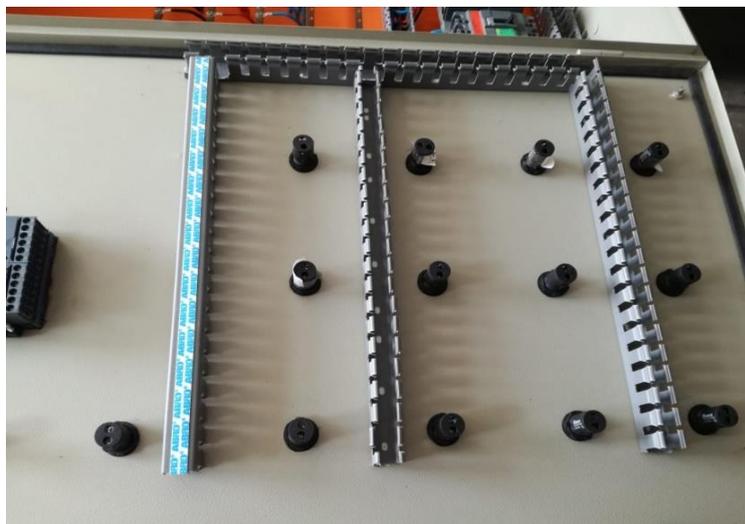
Se instaló las luces piloto de forma simétrica, manteniendo el espacio suficiente para realizar las conexiones, colocar las canaletas y hacer el mantenimiento o el remplazo

de uno de estos elementos de forma fácil y sencilla, en caso de que sufran algún desperfecto.



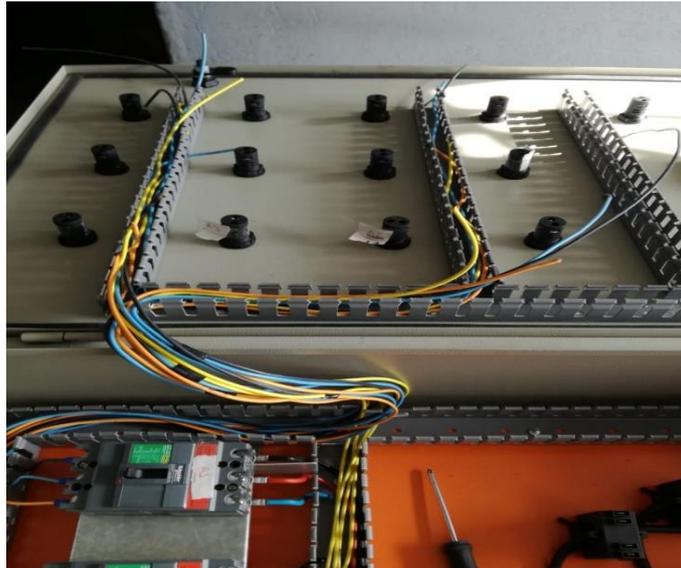
**Figura 3.15** Colocación de las luces piloto.

Se situó en la parte trasera de la puerta del tablero principal, cuatro canaletas ranuradas de 25 x 25 (mm), cada una de 30 (cm) de largo, las cuales se fijaron con cinta doble faz. (Figura 3.16)



**Figura 3.16** Ubicación de la canaleta ranurada.

Por el interior de estas canaletas se transportó los cables hacia los puntos de conexión de las luces piloto y el analizador de red. (Figura 3.17)



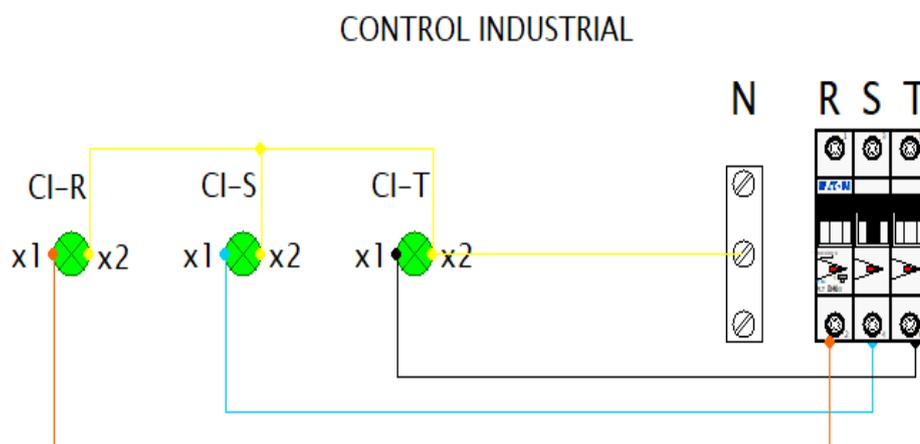
**Figura 3.17** Colocación de los cables en la canaleta.

- **Diseño y diagrama de conexión de las luces indicadoras.**

En la Figura 3.18 se muestra el diagrama de conexión del disyuntor que alimenta el laboratorio de control industrial a las luces indicadoras, las fases (R-S-T) se conectan a las luces led que están identificadas con las iniciales del laboratorio seguido de la fase.

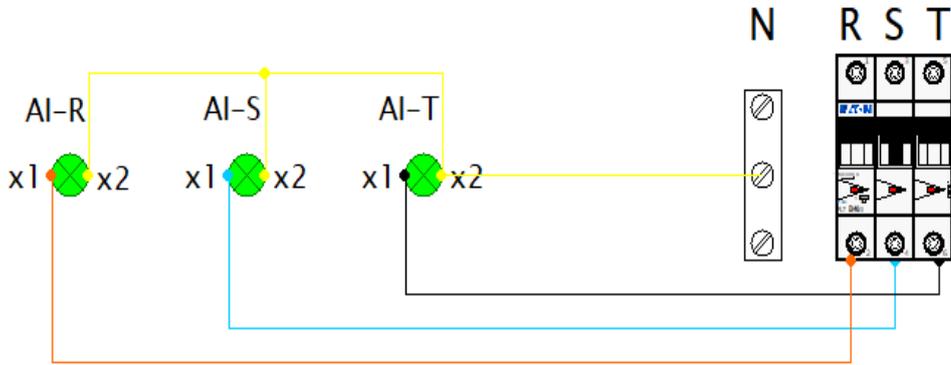
De igual forma en la Figura 3.19, Figura 3.20 y Figura 3.21 se muestran los diagramas eléctricos para la conexión de los laboratorios de: análisis instrumental, instalaciones eléctricas e instalaciones mecánicas a las luces indicadoras.

Dentro del tablero de distribución, se encuentra instalada una barra de cobre que esta identificada como neutro, desde la cual se derivaron varios cables para cerrar el circuito de las luces.



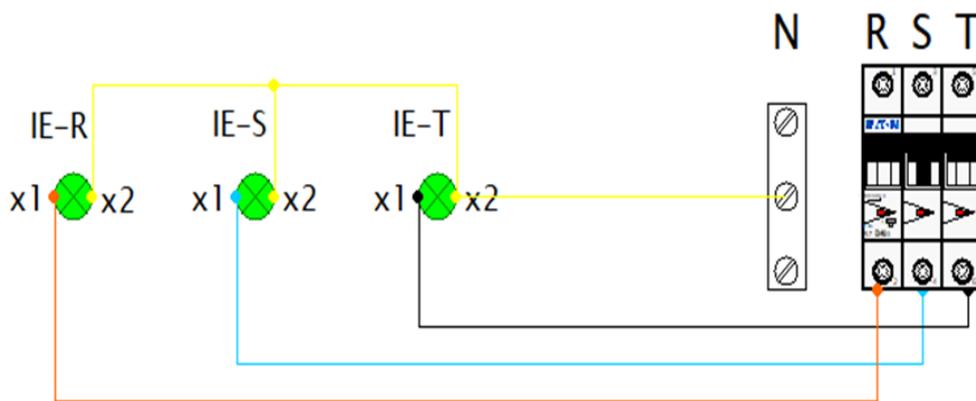
**Figura 3.18** Diagrama de conexión Laboratorio de Control Industrial.

### ANALISIS INSTRUMENTAL



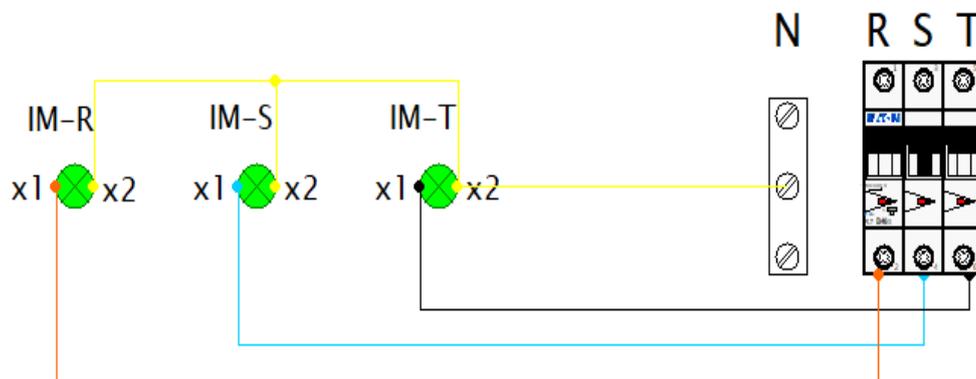
**Figura 3.19** Diagrama de conexión Laboratorio de Análisis Instrumental.

### INSTALACIONES ELÉCTRICAS



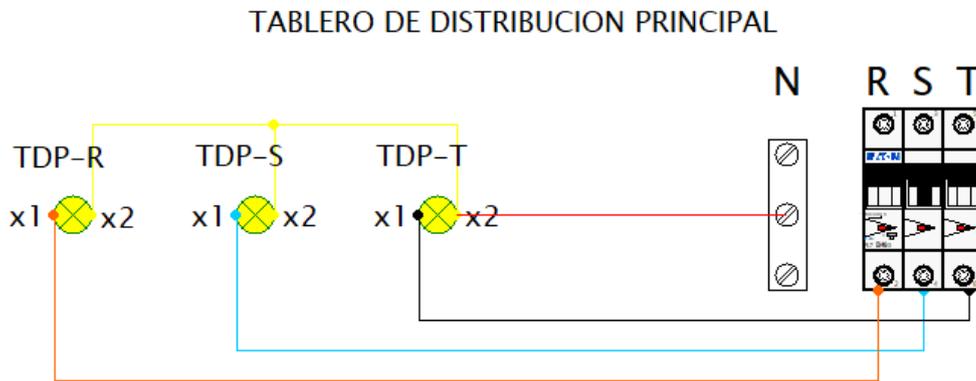
**Figura 3.20** Diagrama de conexión instalaciones eléctricas.

### INSTALACIONES MECANICAS



**Figura 3.21** Diagrama de conexión instalación mecánica.

La Figura 3.22 corresponde al diagrama de conexión del disyuntor que alimenta el tablero de distribución, es igual a los diagramas que se muestran en las figuras anteriores, la diferencia está en el color de las luces indicadoras que se utilizó, siendo estas de color amarillo para distinguirlo de los demás laboratorios.



**Figura 3.22** Diagrama de conexión tablero principal.

- **Conexión del sistema de visualización.**

Se conectaron, las borneras de salida de los cuatros disyuntores, a las luces indicadoras. Para una buena conexión se identificó las luces piloto con las iniciales de los laboratorios seguido de la fase a la que corresponde. Como se muestra en la Figura 3.23.



**Figura 3.23** Conexión de las luces piloto.

Las fases se conectaron en los puntos X1 de las luces indicadoras, para cerrar el circuito se derivó el cable desde la barra de cobre identificada como neutro hacía los puntos de conexión X2.

Según norma UNE 21089-1:2002 [7], para identificar las fases, los conductores pueden ser de cualquier color, diferente al de tierra (verde), Por lo que se utilizó cables de

diferentes colores con el propósito de identificar fácilmente a que fase pertenece y poder realizar algún tipo de modificación de manera segura.

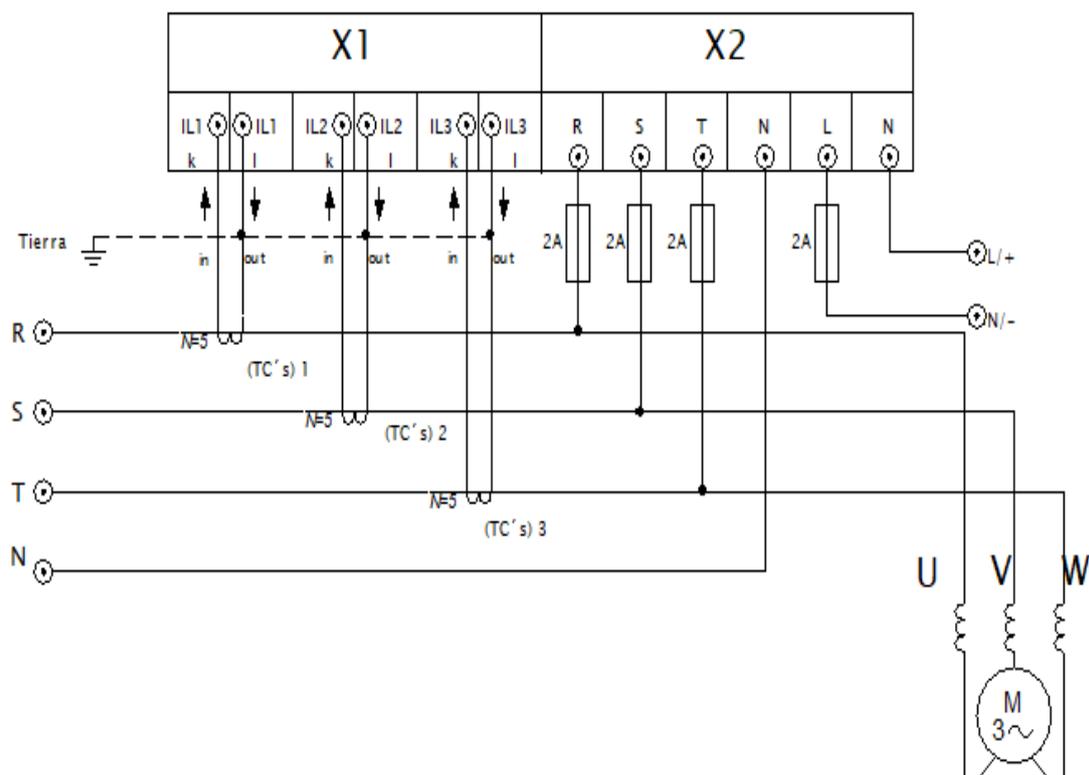
- Fase (R) : Cable anaranjado
- Fase (S) : Cable celeste
- Fase (T) : Cable negro
- Neutro (N) : Cable amarillo

### 3.3 Implementación del sistema de medición de red

- **Prueba para verificar el funcionamiento del analizador de red**

Antes de instalar el dispositivo de medición en el panel frontal del tablero, se realizó una prueba de funcionamiento para constatar que se encuentre en buen estado, la prueba consistió en conectar los secundarios de los transformadores de corriente en las entradas de medición de corriente, las fases R, S y T en los bornes de medición de voltaje y las líneas L/+, N/- en los bornes de alimentación del equipo.

Se conectaron las líneas R, S, T a un motor trifásico en conexión estrella, para observar cómo se comporta el equipo al conectar carga. (Figura 3.24)



**Figura 3.24** Diagrama eléctrico para probar el equipo.

Se procedió a energizar la mesa de trabajo y revisar que en la pantalla del instrumento se visualicen todos los parámetros eléctricos. En la Figura 3.25 se muestran las corrientes de línea, en la Figura 3.26 voltajes de línea con respecto al neutro y en la Figura 3.27 los voltajes de línea y línea.

Una vez realizado la prueba de funcionamiento del dispositivo y constatando que se encuentra configurado y funcionando de forma correcta, se lo instaló en el tablero.



**Figura 3.25** Corrientes de línea.



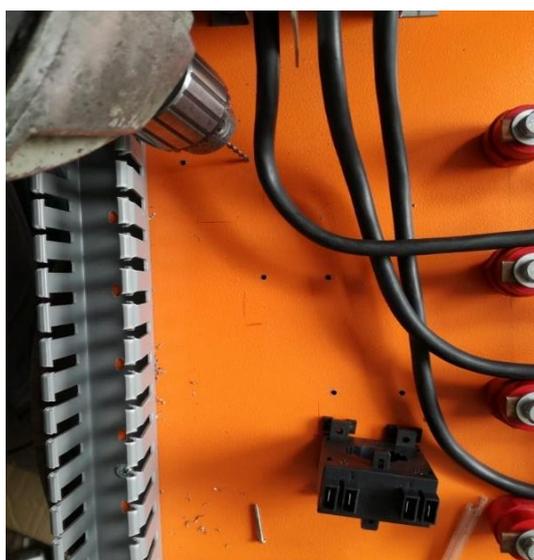
**Figura 3.26** Voltajes (Línea -Neutro).



**Figura 3.27** Voltajes (Línea -Línea).

- **Instalación de los transformadores de corriente.**

El instrumento de medición funciona en conjunto con tres transformadores de corriente. A continuación, se detalla el procedimiento que se siguió para el montaje de los TC's en el interior del tablero principal. En la Figura 3.6 se realizó un diseño del lugar donde se ubicarán los transformadores de corriente y la distancia de separación entre el uno y el otro. En este punto se procedió a plasmar esas medidas dentro del tablero. (Figura 3.28)



**Figura 3.28** Instalación de los TC's.

En la Figura 3.29 se observa que las fases R, S, T atraviesan los transformadores de corriente TC's 1, TC's 2 y TC'3 respectivamente, teniendo en cuenta la dirección de

entrada y salida de la línea principal, en los transformadores de corriente viene marcado la entrada como P1 y la salida como P2.



**Figura 3.29** Las 3 fases atraviesan los TC's

- **Adecuación del espacio para instalar el analizador de red.**

Se tomó medidas de las dimensiones del analizador de red, las cuales fueron 92 x 92 (mm), se marcó estas medidas en la tapa del tablero y con una amoladora se realizó el corte.

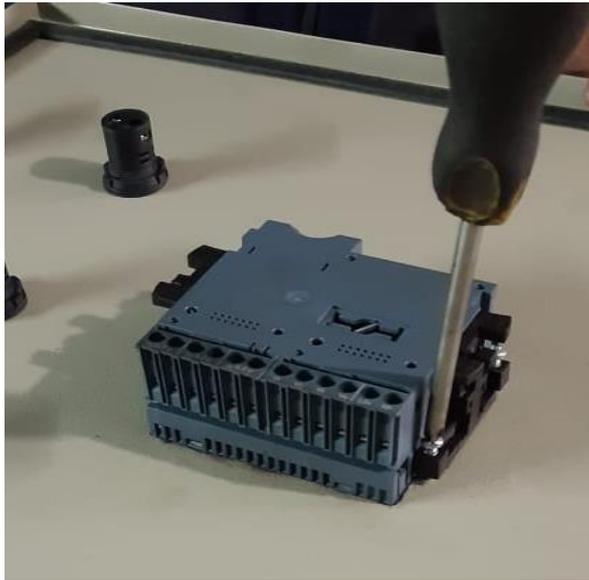
- **Herramientas**

1. : Amoladora para recorte de panel
2. : Destornillador tipo estrella

- **Instalación del analizador de red**

Se instaló el dispositivo desde fuera, por el orificio recortado anteriormente, se fijó el dispositivo al panel con los dos sujetadores que vienen incluidos. El mecanismo de enganche de ambos sujetadores permitió una fijación rápida del dispositivo en el panel sin necesidad de herramientas.

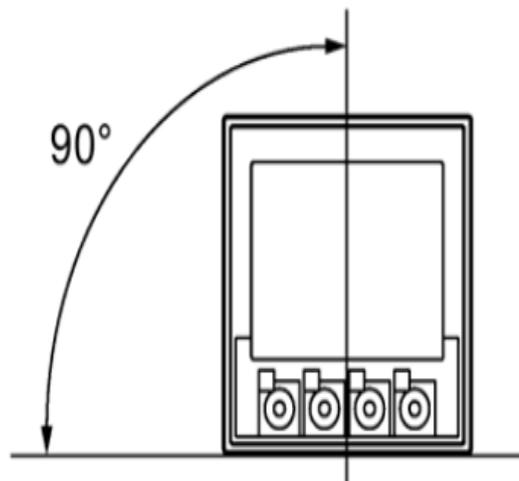
Por último, se apretó uniformemente los 4 tornillos en ambos soportes. Se examinó que la junta del recorte del panel quede bien sellada. (Figura 3.30)



**Figura 3.30** Montaje del Analizador de Red.

- **Posición de montaje.**

El dispositivo se colocó verticalmente, de modo que forme un ángulo de 90 grados como se muestra en la Figura 3.31.



**Figura 3.31** Posición de montaje. [8]

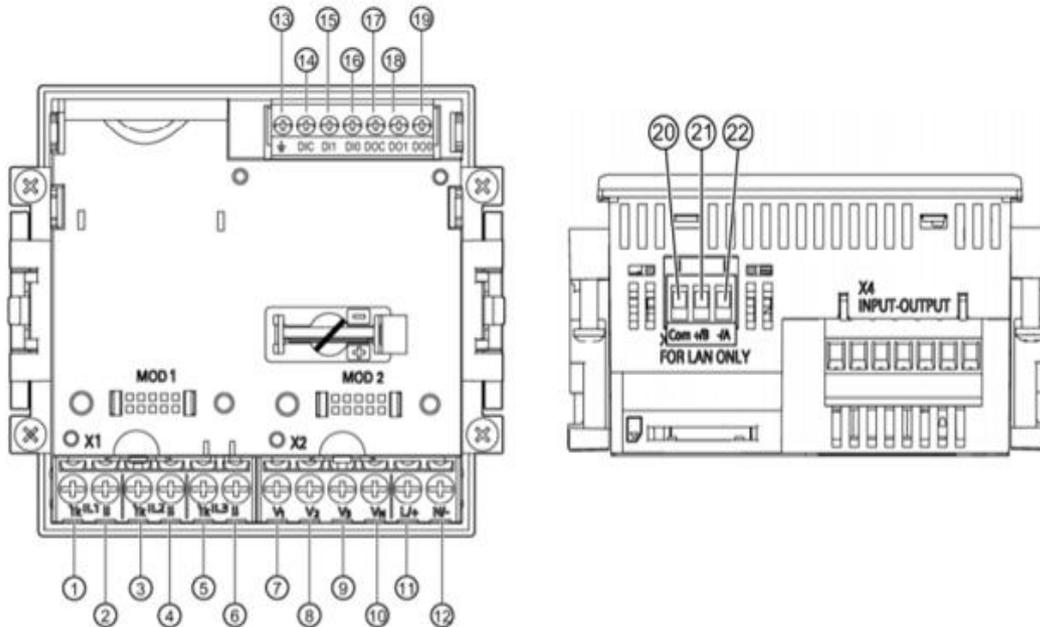
En la Figura 3.32 se muestra el instrumento de medición instalado en el panel frontal, la junta del recorte está bien sellada y la posición de montaje es correcta.



**Figura 3.32** Analizador de red montado en el panel.

- **Conexión del sistema de medición.**

Para empezar con las conexiones, primero se identificó los bornes del dispositivo, en la Figura 3.33 y Figura 3.34 se muestran los bornes y en la Tabla 3.10 las funciones que cumplen.



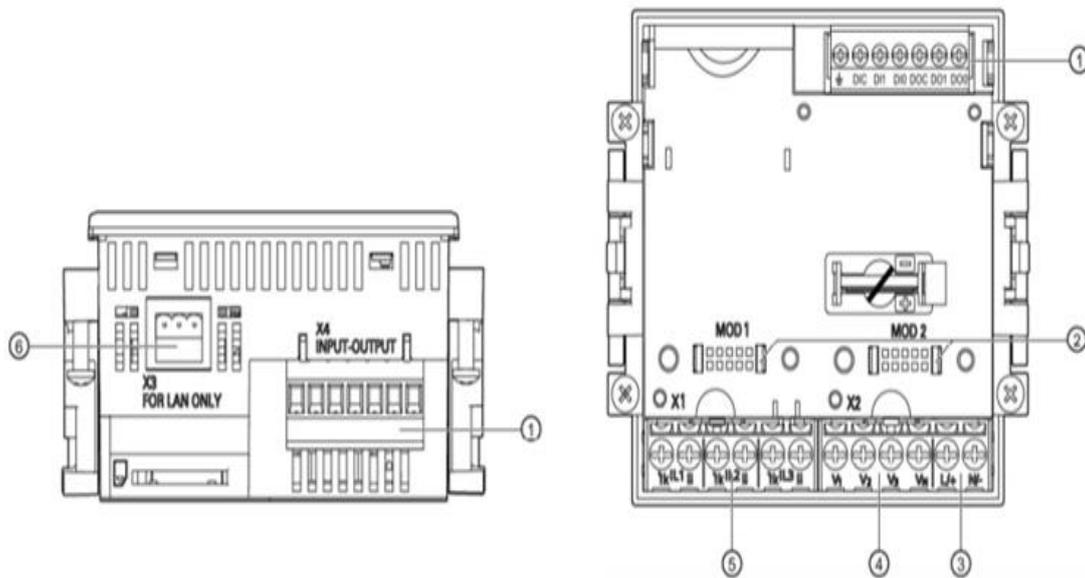
**Figura 3.33** Rotulación de bornes. [6]

En la Tabla 3.10 se detallan las funciones de cada uno de los bornes de conexión del analizador de red.

**Tabla 3.10** Identificación de bornes. [6]

N	Bornes	Función
1	IL1↑K Corriente IL1	Entrada
2	IL1↓ Corriente IL1	Salida
3	IL2↑K Corriente IL2	Entrada
4	IL2↓ Corriente IL2	Salida
5	IL3↑K Corriente IL3	Entrada
6	IL3↓ Corriente IL3	Salida
7	V1	Tensión UL1-N
8	V2	Tensión UL2-N
9	V3	Tensión UL3-N
10	VN	Neutro
11	L/+	Conexión positiva
12	N/-	Conexión neutra
20	COM	Común
21	+/B	Señal B; D1
22	-/A	Señal A; D0

En la Figura 3.34 se observa la vista superior, posterior y las diferentes funciones de cada uno de los bornes de conexión del dispositivo.



**Figura 3.34** Designación de conexiones. [6]

- 1 : Entradas y salidas digitales
- 2 : Conexiones ciegas
- 3 : Alimentación
- 4 : Entrada para medida de voltaje V1, V2, V3.
- 5 : Entrada para medida de corriente L1, L2, L3
- 6 : Conexión RS 485

- **Conexión de la tensión de alimentación.**

Se prolongó el cable desde la barra de cobre identificada como Fase (R), el cual, después de pasar por la protección de 2 (A) se conectó en la entrada de alimentación, específicamente en el borne L/+, del mismo modo desde la barra de cobre identificada como neutro se extendió el cable hacia el borne N/- del dispositivo. (Figura 3.35)



**Figura 3.35** Conexión del voltaje de alimentación.

- **Conexión del voltaje de medición**

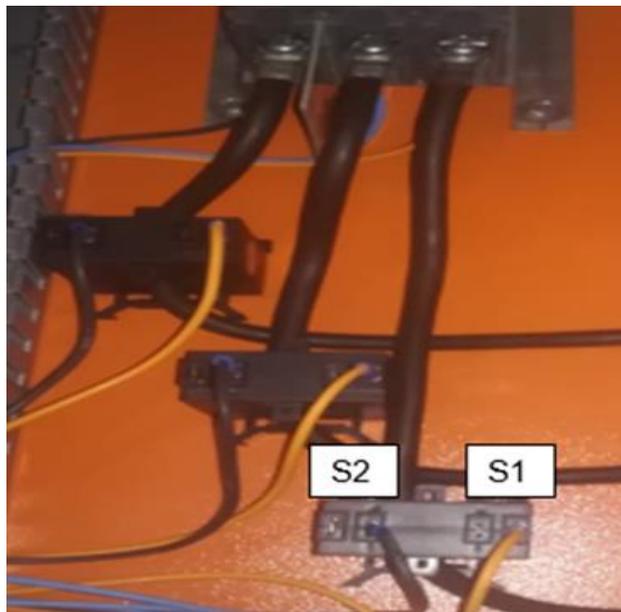
En el tablero de distribución se dispone de cuatro barras de cobre, las cuales están identificadas como R, S, T y N, en cada punto se conectó los terminales de los cables y se prolongó a los bornes de entrada de medición de voltaje del dispositivo V1, V2, V3 y N respectivamente, pasando por las protecciones de 2 (A). Una vez colocado el cable en las borneras, se ajustó los tornillos de modo que las conexiones no queden flojas. (Figura 3.36)



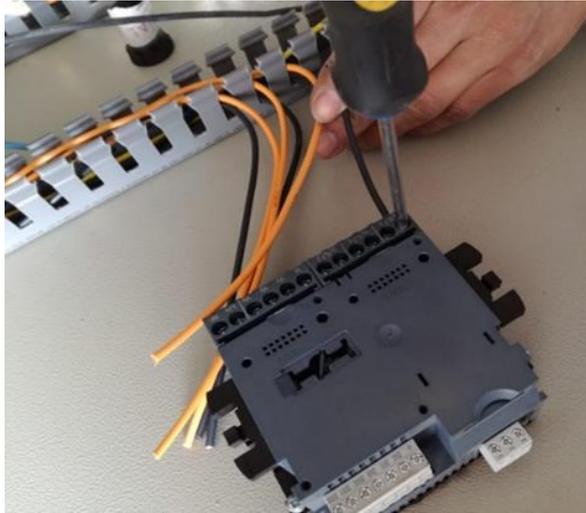
**Figura 3.36** Conexión del voltaje de medición.

- **Conexión de la corriente de medición**

Para obtener la señal de corriente, se conectaron los secundarios de los tres transformadores de corriente identificados como S1 y S2 (Figura 3.37) en los bornes de entrada de corriente IL1, IL2, IL3 del SENTRON PAC3100. (Figura 3.38).



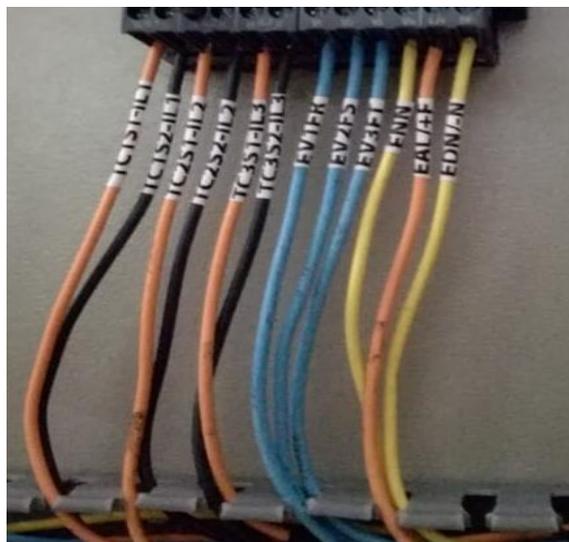
**Figura 3.37** Conexión de la corriente de medición.



**Figura 3.38** Conexión a los bornes de entrada de corriente.

- **Etiquetado de cables**

Se colocaron etiquetas en los extremos de cada cable para facilitar las conexiones y las labores de mantenimiento, de igual forma cada componente está debidamente identificado. En el ANEXO 4 se puede observar una tabla que contiene el significado de cada código. (Figura 3.39)



**Figura 3.39** Etiquetado de cables.

Una conexión incorrecta puede ocasionar el funcionamiento anormal y la falla del dispositivo. Por esta razón antes de la puesta en marcha del analizador de red SENTRON PAC3100, se comprobó todas las conexiones para asegurar que se han llevado a cabo correctamente.

### 3.4 Pruebas de funcionamiento y análisis de resultados.

Las pruebas de funcionamiento permiten verificar que el sistema satisface los requisitos funcionales.

#### Procedimiento de pruebas.

Una vez implementados los sistemas de medición y visualización, necesarios para el monitoreo y supervisión del tablero principal, se procedió a realizar una serie de pruebas con las que se determinó el correcto funcionamiento.

#### Funcionamiento de los interruptores de 2 (A).

Se giro el selector del multímetro al modo prueba de continuidad, se insertó las puntas en la entrada y salida del interruptor, al activarlo, el multímetro emitió un sonido comprobando que existe continuidad, en cambio al desactivarlo el multímetro no emitió ningún sonido. Cabe recalcar que la prueba para verificar que los interruptores se encuentran en buen estado, se la realizó antes de instalarlos en el tablero. El resultado de la prueba realizada a los interruptores termomagnéticos se muestra en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11** Interruptores termomagnéticos.

Posición	Posición ON		Posición OFF	
	Si	No	Si	No
Interruptor 1	✓			✓
Interruptor 2	✓			✓
Interruptor 3	✓			✓
Interruptor 4	✓			✓

Al accionar el interruptor termomagnético monopolar que está conectado a la línea de alimentación, se observó que el analizador de red enciende correctamente, después, se accionó las protecciones que están conectadas en las líneas de medición de voltaje y el instrumento empezó a marcar los diferentes parámetros eléctricos, constatando que se encuentran en perfectas condiciones.

- **Funcionamiento del sistema de medición.**

Los datos visualizados en la pantalla del analizador de red fueron: voltajes, corrientes, potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia, frecuencia, energía activa y reactiva (Tabla 3.12). Comprobando que el dispositivo se encuentra configurado al tipo de conexión que se tiene físicamente y está funcionando correctamente.

**Tabla 3.12** Magnitudes medidas por el analizador de red.

Magnitudes medidas	Mención	Valor instant	Mín	Max	Media	Unid.
Tensión (L-N)	UL1-N	123.0	0	128.0	123.0	(V)
	UL2-N	122.0	0	128.0	123.0	
	UL3-N	122.0	0	128.0	123.0	
Tensión (L-L)	UL1-L2	213.0	0	222.0	213.0	(V)
	UL2-L3	213.0	0	222.0	213.0	
	UL3-L1	213.0	0	222.0	213.0	
Corriente	IL1	0.2	0	2.7		(A)
	IL2	2.2	0	18.6		
	IL3	1.3	0	2.8		
Corriente Neutro	IN	2.6	0	17.9		(A)
S por fase.	SL1	0.02	0	0.34		(KVA)
	SL2	0.27	0	2.7		
	SL3	0.20	0	0.35		
P por fase	PL1	0.02	-0.08			(KW)
	PL2	0.21	0.16			
	PL3	0.15	0.21			
Q por fase.	Q1 L1	0.01				(KVar)
	Q1 L2	0.03				
	Q1 L3	0.00				
S total	S	0.42				(KVA)
P total	P	0.32				(KW)
Q total	Q1	0.02				(KVar)
Factor de potencia total	FP	0.76	0	1		
Frecuencia de red	F	60.0	44.39	65.95		(Hz)
Energía activa	Ea	0.84				(KWh)
Energía reactiva	Er	0.02				(KVA)

- **Prueba sin carga (tablero de distribución).**

La prueba consistió en energizar el tablero de distribución principal sin tener conectada ninguna carga, con un multímetro y una pinza amperimétrica, se midió los voltajes y corrientes en las líneas principales (R-S-T), se comparó estas mediciones, con las magnitudes medidas por el analizador de red, con la finalidad de verificar si existe algún error. (Tabla 3.13)

**Tabla 3.13** Voltajes y corrientes sin carga (tablero de distribución).

<b>Voltajes (L-N)</b>	<b>Analizador (V<sub>AC</sub>)</b>	<b>Multímetro (V<sub>AC</sub>)</b>	<b>Error (V<sub>AC</sub>)</b>
R-N	123.0	123.1	0.1
S-N	124.0	124.1	0.1
T-N	124.0	124.1	0.1
<b>Voltaje (L-L)</b>	<b>Analizador</b>	<b>Multímetro</b>	<b>Error</b>
R-S	214.0	214.1	0.1
S-T	215.0	215.1	0.1
R-T	212.0	212.1	0.1
<b>Corrientes</b>	<b>Analizador (A)</b>	<b>Multímetro (A)</b>	<b>Error (A)</b>
R	0.0	0.0	0
S	0.0	0.0	0
T	0.0	0.0	0

Los voltajes medidos con el multímetro, comparados con las que se muestran en el analizador de red, presentan un margen de error de 0.1 (V<sub>AC</sub>), pudiendo ser que no se realizó un buen contacto con las puntas del multímetro al momento de realizar la medición.

En cambio, en las mediciones de corrientes, se observa que los datos son iguales, el margen de error es cero, ya que la pinza amperimétrica abraza el cable, evitando que existan movimientos y entrega una lectura más precisa.

- **Prueba con carga (tablero de distribución).**

La prueba con carga, consistió en conectar varios motores en las mesas de trabajo ubicadas en el laboratorio de control industrial, mientras que, en las mesas de trabajo ubicadas en el laboratorio de análisis instrumental se conectó un compresor y un taladro

De igual forma utilizando el multímetro y la pinza amperimétrica se midió voltajes y corrientes en las líneas principales, con el objetivo de comparar nuevamente estos valores con lo que se muestran en la pantalla del analizador de red.

En la Tabla 3.14 se muestran los valores tomados con el multímetro y los valores que proporciona el analizador de red.

**Tabla 3.14** Voltajes y corrientes con carga (tablero de distribución).

<b>Voltajes (L-N)</b>	<b>Analizador (V<sub>AC</sub>)</b>	<b>Multímetro (V<sub>AC</sub>)</b>	<b>Error (V<sub>AC</sub>)</b>
R-N	123.0	122.9	0.1
S-N	123.0	122.9	0.1
T-N	124.0	123.9	0.1
<b>Voltaje (L-L)</b>	<b>Analizador</b>	<b>Multímetro</b>	<b>Error</b>
R-S	214.0	214.1	0.1
S-T	215.0	215.1	0.1
R-T	212.0	212.1	0.1
<b>Corrientes</b>	<b>Analizador (A)</b>	<b>Multímetro (A)</b>	<b>Error (A)</b>
R	2.6	2.6	0
S	2.9	2.9	0
T	3.9	3.9	0

De igual forma al conectar carga en las diferentes mesas de trabajo y medir voltajes en las líneas principales, se presentó el mismo margen de error de 0.1 (V<sub>AC</sub>), en cambio en las mediciones realizadas con la pinza amperimétrica, las corrientes no presentaron lecturas diferentes, comparadas con las que se muestran en la pantalla del analizador. Confirmando, que es la manera en cómo se manipuló el multímetro al momento de medir voltajes.

- **Voltajes de llegada a la mesa de trabajo**

En la mesa de trabajo número 3, ubicada en el laboratorio de control industrial, se midió con el multímetro los voltajes que llegan a las salidas del interruptor termomagnético tripolar de 16 (A). (Tabla 3.15)

Se comparó las magnitudes plasmadas en la pantalla del analizador de red, con las mediciones realizadas con el multímetro, con la finalidad de encontrar fallas en las conexiones o posiblemente en la configuración del dispositivo. (Tabla 3.16)

**Tabla 3.15** Voltajes medidos en la mesa 3 (multímetro)

Voltaje (F-N)	R-N	S-N	T-N
Con carga	122.7	122.5	123.8
Voltaje (L-L)	R-S	S-T	R-T
Con carga	213.8	214.5	211.8

**Tabla 3.16** Voltajes en la mesa 3 y el analizador de red.

Voltaje (F - N)	Analizador (V <sub>AC</sub> )	Multímetro (V <sub>AC</sub> )	Caída de voltaje (%)
R-N	123.0	122.7	0.3
S-N	123.0	122.5	0.5
T-N	124.0	123.8	0.2
Voltaje (F - F)	Analizador	Multímetro	Caída de voltaje
R-S	214.0	213.8	0.2
S-T	215.0	214.5	0.5
R-T	212.0	211.8	0.2

Al comparar, las magnitudes medidas con el multímetro en la mesa 3, con los datos que se muestran en la pantalla del analizador y realizar el cálculo, se obtuvo como resultado, una caída de voltaje inferior al 5 %, lo cual está dentro de los valores establecidos por las normas NEC. Concluyendo que las conexiones están bien realizadas y el analizador de red no presenta fallas.

- **Factor de potencia**

En el menú del analizador de red se buscó el parámetro factor de potencia y utilizando las cargas mencionadas anteriormente, se observó cómo varía este valor, al ir incrementando las cargas. (Tabla 3.17)

**Tabla 3.17** Variación del factor de potencia.

Aparato	Carga	Factor de potencia
Motor de 75 (HP)	Mesa 3 (C.I)	0.71
Motor de 75 (HP)	Mesa 4 (C.I)	0.65
Motor de 75 (HP)	Mesa 5 (C.I)	0.59
Compresor	Mesa 2 (A.I)	0.51
Taladro	Mesa 3 (A.I)	0.45

Se observa que el factor de potencia disminuye a medida que se incremente carga, debido a que las cargas conectadas en las diferentes mesas de trabajo son inductivas, en su mayoría motores, al tener un factor de potencia bajo, la potencia reactiva es muy alta algo que es sancionado por la EEQ ya que se paga por la P (W).

### Funcionamiento del sistema de visualización

Se procedió a energizar y desenergizar los distintos laboratorios, así se constató que cada luz piloto pertenece a los laboratorios asignados. (Figura 3.40)



**Figura 3.40** Funcionamiento de las luces piloto.

Al activar todos los disyuntores, se observó que tres luces led pertenecientes a los laboratorios de control industrial (CI-R), análisis instrumental (AI-S), e instalaciones mecánicas (IM-T) no se encendieron, por lo que se revisó las conexiones y se corrigió los problemas presentados en la parte de observaciones. (Tabla 3.18)

**Tabla 3.18** Luces piloto encendidas

Laboratorios	Luces	Encendido	Observaciones
<b>Tablero Principal</b>	TDP-R	✓	
	TDP-S	✓	
	TDP-T	✓	

<b>Análisis Instrumental</b>	AI-R	✓	
	AI-S	x	Terminal flojo
	AI-T	✓	
<b>Control Industrial</b>	CI-R	x	Ajustar puntos de conexión
	CI-S	✓	
	CI-T	✓	
<b>Instalaciones Eléctricas</b>	IE-R	✓	
	IE-S	✓	
	IE-T	✓	
<b>Instalaciones Mecánicas</b>	IM-R	✓	
	IM-S	✓	
	IM-T	x	Luz piloto quemada

Una vez apretados los terminales, ajustadas las conexiones y remplazado la luz led quemada, se accionó el disyuntor que alimenta el tablero principal y se observó que todas las luces indicadoras de color amarillo se activaron, confirmado que el tablero está energizado. De igual manera se accionaron los demás disyuntores y se observó que todas las luces piloto de color verde, correspondientes a cada laboratorio se encendieron, comprobando que se efectuaron las conexiones correctamente y que el sistema de visualización está funcionando de forma adecuada. (Tabla 3.19).

**Tabla 3.19** Encendido y apagado de las luces piloto.

Laboratorio	Luces	Apagado	Encendido
<b>Tablero Principal</b>	TDP-R	✓	✓
	TDP-S	✓	✓
	TDP-T	✓	✓
<b>Análisis Instrumental</b>	AI-R	✓	✓
	AI-S	✓	✓
	AI-T	✓	✓
<b>Control Industrial</b>	CI-R	✓	✓
	CI-S	✓	✓
	CI-T	✓	✓

Laboratorio	Luces	Apagado	Encendido
<b>Instalaciones Eléctricas</b>	IE-R	✓	✓
	IE-S	✓	✓
	IE-T	✓	✓
<b>Instalaciones Mecánicas</b>	IM-R	✓	✓
	IM-S	✓	✓
	IM-T	✓	✓

### 3.5 Manual de uso y mantenimiento

El objetivo de estos manuales, es dar a conocer el conjunto de acciones oportunas continuas y permanentes dirigidas a asegurar el funcionamiento normal y la buena apariencia de los elementos eléctricos instalados en el tablero de distribución principal.

Se ha elaborado diferentes tablas en las cuales se muestran los problemas comunes que podrían presentarse, un listado de posibles soluciones, el procedimiento para realizar el mantenimiento de cada elemento y por último una tabla para verificar que se ha realizado el mantenimiento y los elementos están funcionando en óptimas condiciones. ANEXO 2 y ANEXO 3.

En la Figura 3.41 y la Figura 3.42

**Figura 3.42**, se muestran los códigos QR, que redirigen a los videos, en donde se explica el uso y mantenimiento de los sistemas instalados en el tablero de distribución.



**Figura 3.41** Mantenimiento del sistema de medición y visualización.



**Figura 3.42** Manual de uso.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El sistema de medición y visualización implementados en el tablero de distribución cumplen con la función de proporcionar datos de los diferentes parámetros eléctricos e indicar si los diferentes tableros que se derivan del principal se encuentran energizados de forma satisfactoria.
- El sistema de medición instalado en el panel frontal del tablero permite a los estudiantes y docentes, visualizar o tomar datos de los diferentes parámetros eléctricos de forma segura sin necesidad de abrir el tablero.
- El sistema de visualización ayuda a detectar fallas que se presenten en el tablero principal, como también en los diferentes laboratorios, por ejemplo, la pérdida de una fase, sobrecargas o cortocircuitos.
- Las luces piloto color verde, instaladas en el tablero principal, indican la presencia de energía en cada uno de los laboratorios, mientras que, las luces piloto color amarillo indican que el tablero principal está energizado.
- La medición de las diferentes magnitudes eléctricas permite tener un monitoreo total del tablero de distribución y de los laboratorios que se derivan del mismo.
- Mediante la prueba de conexión y desconexión de los interruptores termomagnéticos que alimentan los distintos laboratorios, se comprobó que las luces indicadoras correspondientes a cada laboratorio se encuentran correctamente identificadas.
- Los voltajes medidos con el multímetro, presentan un margen de error de 0,1 ( $V_{AC}$ ), comparados con los datos que se visualizan en el analizador de red, pudiendo ser que no se realizó un buen contacto con las puntas del multímetro al momento de realizar la medición.
- El calibre del cable elegido para realizar las conexiones, garantiza que el instrumento de medición y las luces piloto trabajen en perfectas condiciones, ya que evita el recalentamiento e impide que los elementos se vean afectados.
- Para seleccionar los interruptores termomagnéticos que protegen las líneas de medición y alimentación del analizador de red, se calculó la corriente de protección, la cual se obtuvo al multiplicar la corriente nominal por un factor

de seguridad de 125 %, con este dato se seleccionó el interruptor termomagnético más cercano, según los estándares comerciales.

## 4.2 Recomendaciones

- Para obtener una buena exactitud en la corriente de medición se debe asegurar que la línea principal atraviese por el centro del orificio del transformador de corriente.
- Se recomienda tocar un armario metálico con conexión a tierra antes de utilizar el analizador de red.
- Para observar las diferentes magnitudes es necesario configurar el equipo, al tipo de conexión que se tiene físicamente. De no hacerlo se mostrará en la pantalla información incompleta.
- No utilizar líquidos limpiadores en la pantalla del instrumento de medición porque podría dañarse.
- Los valores mencionados en los datos técnicos (Tabla 3.5). No deben ser excedidos al momento de conectar el dispositivo, puesto que podría generarse daños internos en el analizador de red por lo que se recomienda colocar un regulador.
- Revisar continuamente los elementos y las conexiones, en especial los interruptores termomagnéticos de 2 (A), ya que son importantes para cuidar la integridad del instrumento de sobrecargas o cortocircuitos.
- Para conectar el analizador de red, primero, se tiene que comprobar que la tensión de red coincide con la tensión indicada en la placa de características.
- Siempre que se realice el mantenimiento de unos de los elementos es importante desenergizar el tablero de distribución por completo.
- Revisar continuamente que los transformadores de corriente no se desconecten de la carga, ya que al funcionar en circuito abierto se genera una descarga eléctrica.
- Tomar medidas de los valores que proporciona el analizador de red e interpretarlos con el propósito de verificar si los valores de los parámetros eléctricos son adecuados para el funcionamiento normal de los equipos eléctricos instalados en los diferentes laboratorios.
- Utilizar los equipos y materiales mencionados en el ANEXO 3, al momento de efectuar el mantenimiento de los sistemas.

- Antes de poner en marcha los sistemas de visualización y medición, es importante confirmar que todas las conexiones se hayan realizado correctamente.
- Para evitar la formación de humedad y condensado en el analizador de red, este debe permanecer al menos dos horas en el lugar de servicio, de este modo se equilibra la temperatura.
- Es importante que los cables estén identificados mediante códigos, ya que facilita el mantenimiento.
- El instrumento de medición debe tener una distancia lo suficientemente grande con respecto a otros componentes para una buena ventilación.
- Para llevar un control y monitoreo de los diferentes parámetros eléctricos se puede utilizar la conexión RS485 que tiene el dispositivo de medición, esta conexión permite llevar la información a un computador y tener una base de datos detallada, de esta forma se podría mejorar el proyecto.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Enríquez, “Transformadores de tensión. Transformadores de corriente.,” *Modul. li - 5 Transform. Instrumentos*, vol. 2, pp. 1–43, 2016, [Online]. Available: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/tydee/moduloii.pdf>.
- [2] M. Corral, “Contexto de la industria, análisis normativo y buenas prácticas en las instalaciones eléctricas,” 2015.
- [3] Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana del Ecuador, “Norma Ecuatoriana De Construcción Nec Capítulo 15 Instalaciones Electromecánicas,” p. 173, 2013, [Online]. Available: <https://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/09/NEC-INSTALACIONESELECTROMECHANICAS2013.pdf>.
- [4] Ministerio de Ciencia y Tecnología, “Cálculo de caídas de tensión,” *Minist. Cienc. Y Technol.*, pp. 1–14, 2011.
- [5] Schneider Electric, “Dexson Catálogo de Productos Soluciones de Canalización y Organización de Cables,” p. 82, 2019, [Online]. Available: <https://www.inselec.com.ec/wp-content/uploads/2019/01/CATÁLOGO-DEXSON.pdf>.
- [6] P. C. E. Ib, “Medidor multifunción Siemens Sentron PAC3100,” pp. 542–544, 2015.
- [7] D. E. L. Cable, “De Colores De Los Cables,” pp. 1–7, 2008.
- [8] K. M. Pac, “Aparato de medida,” 2015.
- [9] M. Powers, “Electricidad (review),” *Theatr. J.*, vol. 57, no. 4, pp. 742–744, 2005, doi: 10.1353/tj.2006.0040.
- [10] RETIE, “RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes,” *Resoluc. 90708*, p. 127, 2013.
- [11] FMJ Ingenieros, “Certicalia analizador redes eléctricas,” *Mayo 2012*. <https://www.certicalia.com/blog/que-es-analizador-redes-eléctricas>.