



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA PINZAS AMPERIMÉTRICAS

John Freddy Becerra Bonza
Ricardo Chía Neira

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2020

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA PINZAS AMPERIMÉTRICAS

John Freddy Becerra Bonza

Ricardo Chía Neira

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de: **Ingeniero
Electromecánico**

Director:

Ing. Juan David Rivera. MSc

Línea de Investigación:

SISTEMAS ELÉCTRICOS

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica Tunja,

Colombia

2020

Doy gracias a Dios por su infinita sabiduría que me ha guiado por el camino correcto y poder avanzar un paso más en la vida, a nuestras familias por su apoyo incondicional, queda una vez demostrado que las metas solo se logran con esfuerzo y dedicación, lo cual se verá reflejado en el gran ser humano que debo ser ante la sociedad y mis seres queridos

Agradecimientos

La vida es un aprendizaje continuo, que nos lleva a tomar decisiones y dependiendo de la que escojamos llegaremos a las metas propuestas, Debo dar gracias a Dios por ser mi guía y a mi familia por ser el pilar fundamental en el logro del objetivo propuesto, cuando se ha llegado a la meta se siente una gran emoción ya que todos los esfuerzos no fueron en vano se tiene la satisfacción de la labor cumplida.

También agradezco a mi alma mater por darme esa gran oportunidad de formación integral como profesional y ser humano, es ahí donde nos apropiamos de los conocimientos transmitidos para poder salir a enfrentar las necesidades de la sociedad y poder hacer nuestro aporte a la solución de las diferentes necesidades.

Agradecimiento especial al ingeniero Juan David Rivera, director del proyecto quien, con su conocimiento, experiencia y dedicación fue parte fundamental en el logro de la elaboración de este trabajo de grado, también damos gracias a todas las personas que hicieron parte integral del proceso de formación cuyos frutos se ven en la calidad de profesionales que han forjado.

Gracias a la divina providencia por darnos la oportunidad de disfrutar este logro se siente bien

John Becerra, Ricardo Chía

Resumen

Este proyecto tuvo como objetivo el diseño y la construcción de un banco de pruebas para pinzas amperimétricas para el laboratorio de ensayos y calibración de la Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. (EBSA). El cual va evaluar el error absoluto de las pinzas amperimétricas de propiedad de la compañía. Donde se compara el valor leído por el aparato contra el valor de cálculo.

Los principales componentes del banco de pruebas son: un gabinete, un Variac o transformador variable, un transformador de tensión (reductor), dos bobinas de corriente y aparatos de medida (voltímetro y amperímetros digitales). A través del variac se va inyectar tensión al transformador de tensión y este va inyectar corriente a las bobinas, las cuales por relación de transformación van a aumentar la corriente de entrada en una relación de 1 a 109 lo anterior significa que por cada amperio que se inyecta a la bobina de corriente esta lo aumenta a 109 amperios hasta llegar a un rango máximo de 600 amperios.

Se realizaron pruebas con varios tipos de pinzas y en diferentes rangos de corriente de entrada y los resultados obtenidos se analizaron lo cual nos muestra que el banco cumple con los parámetros exigidos por la norma internacional (SIT/Tec-014/06 (Revisión 0 del 2006-04-03)).

Con la elaboración de este proyecto permitirá ampliar el alcance del laboratorio con el propósito de poder caracterizar la calidad de la medición de las pinzas amperimétricas de propiedad de EBSA.

Palabras clave: Amperios, Banco de prueba, Bobinas, Pinzas, Transformador de tensión.

Abstract

The objective of this project is the design and construction of a test bench for current clamps for the testing and calibration laboratory of Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. (EBSA). This test will evaluate the absolute error of the current clamps owned by the company. Where the value read by the device is compared with the calculation value.

The main components of the test bench are a cabinet, a Variac or variable transformer, a voltage transformer (gearbox), two current coils and measuring devices (digital voltmeter and ammeter). Through the Variac, voltage is injected to the voltage transformer and this will inject current to the coils, which by transformation ratio will increase the input current in a ratio of 1 to 109. This means that for each ampere that is injected to the current coil it increases it to 109 amps, up to a maximum range of 600 amps.

Test were carried out with various types of clamps and in a different input current range and the results obtained were analyzed, which shows us that the bench complies with parameters required by the international standard (SIT/Tec-014/06 (Revision 0 of 2006-04-03)).

Making this project will allow us extend the scope of the laboratory with the purpose of characterize the quality of measuring amperes clamps own of EBSA.

Keywords: Amps, Coils, Clamps, Test bench, Voltage transformer.

Contenido

	Pág.
Resumen	VI
Abstract	VII
Contenido	VIII
Lista de Figuras	X
Lista de Tablas	XI
Introducción	14
1. Capítulo 1: Marco teórico	17
1.1 Pinzas amperimétricas	17
1.1.1 Funcionamiento de una pinza amperimétrica	19
1.1.2 Corriente eléctrica.....	20
1.2 Conceptos básicos.....	21
1.2.1 Alcance.....	21
1.2.2 Error	21
1.2.3 Sensibilidad	22
1.2.4 Precisión	22
1.2.5 Exactitud	22
1.2.6 Fidelidad.....	22
1.2.7 Incertidumbre de medida	22
1.2.8 Trazabilidad.....	22
1.3 Transformador	23
1.3.1 Ley de Faraday	25
1.3.2 Relación de voltaje	25
1.3.3 Relación de corriente	26

1.3.4	Potencia en el transformador ideal	27
1.4	Transformador variable	28
1.4.1	Funcionamiento del variac.....	29
1.4.2	Características principales de un variac.....	30
1.5	Inductores o bobinas	30
1.5.1	Campo magnético	30
1.5.2	Ley de Lenz.....	32
1.5.3	Inductancia.....	32
1.6	Tipos de inductores (Bobinas).....	33
1.6.1	Bobinas fijas	33
1.6.2	Bobinas variables	34
1.6.3	Símbolos de las bobinas.....	34
2.	Capítulo 2: Desarrollo metodológico.....	36
2.1	Diseño Eléctrico del transformador de tensión (reductor).....	36
2.1.1	Datos de referencia preliminares del diseño	36
2.1.2	Espira Voltio	37
2.1.3	Numero de espiras del devanado primario	38
2.1.4	Numero de espiras del devanado secundario	38
2.1.5	Sección del núcleo.....	39
2.1.6	Elección de la chapa magnética	40
2.1.7	Intensidad del devanado primario.....	41
2.1.8	Intensidad del devanado secundario	42
2.1.9	Sección del conductor del devanado primario	42
2.1.10	Sección del conductor del devanado secundario	42
2.1.11	Diámetro del conductor del devanado primario	43
2.1.12	Diámetro del conductor del devanado secundario	43
2.2	Diseño eléctrico de las bobinas de corriente.....	43
2.2.1	Potencia de la bobina.....	44
2.2.2	Sección del núcleo.....	44
2.2.3	Elección de la chapa magnética	45
2.2.4	Numero de espiras de la bobina	46
2.2.5	Diámetro del conductor de la bobina	47

2.3	Diseño y estructura del banco de pruebas	49
2.3.1	Diseño gabinete	49
2.3.2	Elaboración de planos mecánicos y eléctricos del banco de pruebas	50
2.4	Construcción y ensamble del banco de pruebas	50
2.4.1	Incorporación de los componentes de control y protección	50
2.4.2	Mecanizado del gabinete	51
2.4.3	Incorporación de los componentes de control y protección	53
2.4.4	Cableado del banco de pruebas	54
2.4.5	Estado final del banco de pruebas	55
3.	Capítulo 3: Pruebas y resultados	57
3.1	Pruebas de funcionamiento del banco de pruebas	57
3.2	Pruebas en vacío al transformador de tensión	58
3.3	Pruebas a las bobinas de corriente	60
3.3.1	Prueba de relación de transformación bobinas corriente	61
3.3.2	Rangos de corriente para pruebas	68
3.4	Pruebas a las pinzas amperimétricas	69
4.	Conclusiones y recomendaciones	71
4.1	Conclusiones	71
4.2	Recomendaciones	72
A.	Anexo registro fotográfico	73
B.	Anexo Planos	75
	Plano modelo del gabinete	75
	Diagrama unifilar del banco de pruebas	76
C.	Anexo manual de usuario	77
D.	Anexo matriz de identificación de peligros	78
	Bibliografía	80

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1-1: Características de una pinza amperimétrica.....	18
Figura 1-2: Principio de funcionamiento de una PA de CA.	20
Figura 1-3: Transformador básico de dos devanados	23
Figura 1-4: Tipos de núcleo de hierro.....	24
Figura 1-5: a) Transformador ideal. b) Símbolos esquemáticos de un transformador.....	25
Figura 1-6: Transformador variable	29
Figura 1-7: Distribución de flujo para un imán permanente.	31
Figura 1-8: Distribución de flujo de una bobina de una sola vuelta.	31
Figura 1-9: Distribución de flujo en una bobina portadora de corriente.....	31
Figura 1-10: Configuraciones de inductor.....	33
Figura 1-11: Símbolo de inductor o bobina.....	34
Figura 2-1: Sección real del empilado de chapa magnética del transformador.....	39
Figura 2-2: Dimensiones de chapa magnética.	40
Figura 2-3: Calculo de sección en cm^2 en función de la potencia.	45
Figura 2-4: Dimensiones de chapa magnética normalizada.	46
Figura 2-5: Tabla espiras por voltio en función de la sección del núcleo.	47
Figura 2-6: Modelo gabinete del Banco de pruebas PA.....	49
Figura 2 7: Elementos de protección y control del banco.	51
Figura 2-8: Mecanizado del sobre tablero.	52
Figura 2-9: Disposición y esquema de conexión de los componentes parte frontal.....	53
Figura 2-10: Disposición del cableado del banco de pruebas.....	54
Figura 2-11: Estado final del banco de pruebas.	55

Figura 3-1:	Voltaje entrada y salida transformadora de tensión.....	59
Figura 3-2:	Grafica de relación de transformación.....	60
Figura 3- 3:	Diferencia valor leído vs Valor calculado.....	66
Figura 3-4:	Registro fotográfico de toma de datos.....	67

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Dimensiones de chapa magnética normalizada en E/I	41
Tabla 3-1: Valores relación de transformación transformador de tensión	58
Tabla 3-2: Características de las pinzas amperimétricas.	61
Tabla 3-3: Valores registrados por los amperímetro y pinzas amperimétricas.....	62
Tabla 3- 4: Valores de corriente leídos y cálculo en las bobinas.	63
Tabla 3- 5 Valores porcentuales obtenidos de las pinzas.....	65
Tabla 3- 6: Valores estadísticos de la muestra.....	68
Tabla 3-7: Valores de corriente de rangos de pruebas.....	69
Tabla 3-8: Puntos de calibración para pinzas.....	70

Introducción

La Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. (EBSA), fue creada en el año de 1955 y ha tenido varios procesos de fusión con empresas de energía del departamento hasta convertir en una sola empresa que es la encargada de transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica para el departamento de Boyacá, Colombia. Esta compañía en el laboratorio de ensayos y calibración no cuenta con elementos adecuados para realizar las pruebas a las pinzas amperimétricas. En la dirección de control de pérdidas de la empresa, en la actividad de **verificación y normalización de instalaciones eléctricas residenciales, comerciales e industriales como en las redes de distribución de energía eléctrica, se hace necesario el aseguramiento de la precisión en la medición de los parámetros eléctricos. Se ha observado que las pinzas amperimétricas presentan diferentes valores cuando se hacen las revisiones de las instalaciones eléctricas internas o redes de distribución de energía eléctrica, dando como resultado datos erróneos. Por lo anterior se ve la necesidad de contar con un banco de pruebas para las pinzas que valide la calidad de precisión de cada pinza amperimétrica al momento de realizar las mediciones.**

Es importante que la empresa cuente con equipos e infraestructura, para la aplicación de pruebas a las pinzas amperimétricas, con características físicas que permitan certificarse a futuro con los entes encargados de esta actividad en Colombia, como el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC. Por otro lado, en la zona de Boyacá, no se cuenta con un ente u organización que preste el servicio de pruebas de pinzas amperimétricas (PA). Por estas razones surge la necesidad de diseñar un banco de pruebas de PA con las condiciones necesarias para desarrollarse, construirse y certificarse

en un futuro, que tenga la capacidad de atender la demanda local y regional de pruebas de PA.

De esta manera dar cumplimiento a las diferentes normas y leyes establecidas en esta clase de actividad.

Para el diseño y construcción del banco de pruebas consultamos cuáles son las mejores prácticas en este campo y se estableció que una de las más confiables es por bobinas de corriente a las cuales se les inyecta valores muy bajos de corriente y por relación de transformación se da el valor que debe leer la pinza el cual se compara con el valor de cálculo y se establece el error que tiene la pinza.

Se tiene como alcance del proyecto diseñar construir un banco de pruebas para pinzas amperimétricas, este será alimentado por una fuente EPM. (patrón de medición de energía eléctrica). En la generación de corriente de prueba tendrá un rango comprendido entre 1 amperio hasta 600 amperios para realizar mediciones a instalaciones eléctricas de tipo residencial, comercial e industrial a fin de dar cumplimiento a la norma internacional (SIT/Tec-014/06 (Revisión 0 del 2006-04-03)).

Con el propósito del mejoramiento en los procesos de calidad de medición en el laboratorio de ensayos y calibración de la EBSA, es necesario asegurar la precisión de las medidas realizadas por los equipos de la empresa de energía. Ya que no se cuenta, ni con el sistema, ni con el procedimiento de pruebas para las pinzas amperimétricas de propiedad de la compañía.

Con el fin de fortalecer el mejoramiento del laboratorio y contribuir con el desarrollo de la región, donde no existe un ente que realice y garantice la prueba de medición para las PA surge la idea del diseño y construcción de un banco de pruebas para PA y así atender las necesidades de la empresa y en un futuro la acreditación del banco de pruebas.

Para el logro de lo anterior se establecen los siguientes objetivos.

Objetivos general

Diseñar y construir un banco de pruebas para pinzas amperimétricas para el laboratorio de ensayos y calibración de la Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. (EBSA).

Objetivos específicos

- Implementar la mejor técnica para la aplicación de pruebas para pinzas amperimétricas PA y validar su nivel de precisión en la medida, según la normatividad existente aplicada en este tipo de actividad.
- Realizar cálculos, planos eléctricos y mecánicos que sirvan como base para la construcción del banco de pruebas para pinzas amperimétricas PA bajo los debidos requerimientos.
- Ensamblar y construir un banco de pruebas para pinzas amperimétricas.
- Demostrar funcionamiento del banco de pruebas para PA, inyectando corriente para verificar la precisión de la medición.

1. Capítulo 1: Marco teórico

La medida primordial de las pinzas amperimétricas es la corriente eléctrica. En el presente las pinzas amperimétrica nos facilitan medir tanto corriente alterna CA como corriente continua CC. En los diferentes circuitos de un sistema de distribución eléctrica se realizan medidas de corriente para determinar qué cantidad de corriente fluye en un circuito eléctrico, que es una de las principales tareas de los electricistas.

La corriente eléctrica consiste en el movimiento de los electrones en materiales conductores (como el aluminio o el cobre, entre otros), como consecuencia de la aplicación de una diferencia de potencial. El efecto de este movimiento se traduce en producción de calor, campo magnético y eléctrico en los cables y equipos por los cuales es transportada. La unidad de medida, en el SI, es el Amper simbolizado con la letra A. [1]

Día tras día la tecnología nos sorprende cada vez más, en los equipos eléctricos y los circuitos poniendo a prueba a los electricistas y técnicos. Estos avances no solo requieren una mayor capacidad del equipo de prueba sino más habilidades de parte del personal técnico. Un electricista que este actualizado y tenga los conocimientos fundamentales del uso de los equipos de medición estará mejor preparado para los retos que se presenten, dando soluciones a los problemas y pruebas que ostenten. La pinza amperimétrica es una herramienta importante y común que se encuentra en las cajas de herramientas de electricistas y técnicos. [2]

1.1 Pinzas amperimétricas

Las pinzas amperimétricas (PA) son un instrumento de medición eléctrica que combina un multímetro digital básico con un sensor de corriente. Son de gran beneficio, ya que se pueden realizar medidas de intensidad de corriente de un conductor sin tener contacto eléctrico con él, y

sin la necesidad de interrumpir el circuito, en la Figura 1-1 se muestra el modelo Fluke 376 donde evidencia las características básicas de una PA.

Figura 1-1: Características de una pinza amperimétrica.



Fuente: modelo Fluke 376 [3]

A continuación, se describe cada una de las partes de una pinza amperimétrica común.

1. Mordaza con detección de corriente.
2. Barreras táctiles (para proteger los dedos de descargas).
3. Botón de retención: Congela la lectura de la pantalla. La lectura es liberada cuando se presiona el botón una segunda vez.
4. Selector (también conocido como interruptor giratorio).
5. Pantalla.
6. Botón de retroiluminación.
7. Botón Mín.-Máx.: La primera vez que se presiona, la pantalla muestra la entrada máxima. Cuando se presiona varias veces, se muestran las entradas mínimas y promedio. Funciona en modos de Corriente, tensión y frecuencia.
8. Botón de corriente de entrada.

9. Botón de cero (amarillo): Elimina la compensación de CC de las mediciones de corriente CC. También sirve como botón de funciones secundarias para seleccionarlas funciones en amarillo distribuidas en el selector.
10. Palanca de liberación de la mordaza.
11. Marcas de alineación: Para cumplir con las especificaciones de precisión, un conductor debe estar alineado con estas marcas.
12. Pin de entrada común.
13. Pin de entrada en voltios/ohmios.
14. Sonda para entrada de corriente flexible. [3]

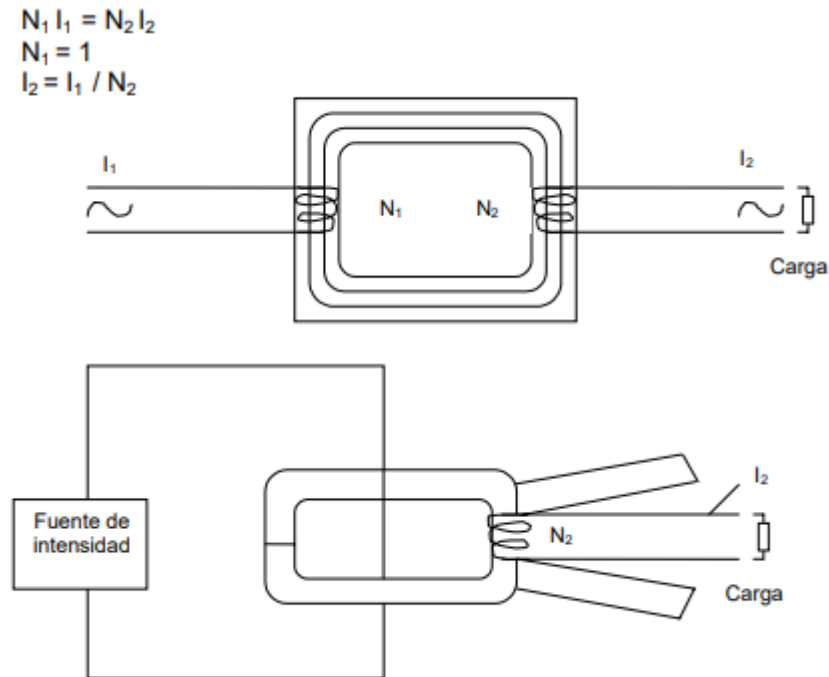
Las PA son conocidas tradicionalmente como amperímetros de pinza o comprobadores tipo tenaza, se dividen en tres tipos o categorías.

- Pinzas amperimétricas de transformador de corriente (CA).
- Pinzas amperimétricas de Efecto Hall (CA y CC).
- Pinzas amperimétricas flexibles (C.A.) [4]

1.1.1 Funcionamiento de una pinza amperimétrica

Las pinzas amperimétricas de transformador de corriente son las más indicadas para medir intensidades de CA, como lo dice su nombre, su funcionamiento es como el de un transformador, de igual forma en el interior de las pinzas, las tenazas están fabricadas de hierro de ferrita y estas están envueltas individualmente con bobinas de alambre de cobre. Donde las dos forman un núcleo magnético al momento de la medición. [5]

En donde la intensidad (I_1) que fluye por el conductor a medir es el devanado primario y crea un campo magnético alterno, las líneas del campo magnético se concentran en el núcleo de hierro de la pinza, lo que provoca un flujo e corriente (I_2) en la bobina de la pinza, que es el devanado secundario, la señal es proporcional a la relación de las espiras. Donde una corriente menor ingresa por el circuito de medición de la PA digital como se observa en la Figura 1-2.

Figura 1-2: Principio de funcionamiento de una PA de CA.

Fuente: Díaz, 2015 [6]

1.1.2 Corriente eléctrica

La intensidad de corriente eléctrica (I) es la cantidad de electricidad o carga eléctrica (Q) que circula por la sección de un conductor en un segundo, unidad de tiempo (t). La I se puede calcular con la (Ecuación (1.1)). [7]

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

Donde:

I : intensidad eléctrica (A)

Q : Carga eléctrica en coulomb (C)

t : Tiempo en segundos (s)

En el sistema internacional (SI) la unidad de la corriente es el ampere (A). también conocido como amperio, donde 1 C es igual a $6,242 \times 10^{18}$ electrones si estos desplazan a una velocidad uniforme

por una sección transversal circular o conductor en 1 segundo el flujo de corriente se dice que es de 1(A). En honor al físico francés André-Marie Ampere. [8]

1.2 Conceptos básicos

Para el diseño, construcción y uso del banco de prueba para pinzas amperimétricas se debe tener claridad en algunos conceptos básicos de electricidad y características de las PA tales como:

1.2.1 Alcance

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. Hay pinzas amperimétricas que ofrecen un rango de corriente mínima de 0 A á 100 A. Hay modelos que tienen un alcance de 600 A y hasta 999 A. [9]

1.2.2 Error

Es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas ideales, como resultado de las imperfecciones de los instrumentos y de las variables parásitas que afectan el proceso. Se expresa así:

Error = Valor leído en el instrumento - Valor ideal de la variable medida

El error absoluto es:

Error absoluto = Valor leído - Valor verdadero

El error relativo representa la calidad de la medida y es:

Error relativo = Error absoluto / Error verdadero

El valor relativo es una indicación del grado de precisión de la medición: a menor error relativo, mayor precisión de la medida efectuada. [9]

1.2.3 Sensibilidad

Es la razón entre el incremento de la lectura o señal de salida del instrumento de medida y el incremento de la señal de entrada, después de haberse alcanzado el estado de reposo. El valor de la sensibilidad puede depender del valor de la señal de entrada. [9]

1.2.4 Precisión

Es la proximidad entre las lecturas obtenidas de mediciones repetidas de una misma señal, es el grado de dispersión de las mismas. Un instrumento de medida puede tener una baja exactitud, pero una gran precisión. [9]

1.2.5 Exactitud

La exactitud de un instrumento de medida, es la proximidad entre un valor medido y el valor verdadero de la magnitud medida. [9]

1.2.6 Fidelidad

Es la propiedad de un instrumento de medida de dar siempre igual la medida de una misma señal de entrada en las mismas condiciones experimentales. [9]

1.2.7 Incertidumbre de medida

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando. [10]

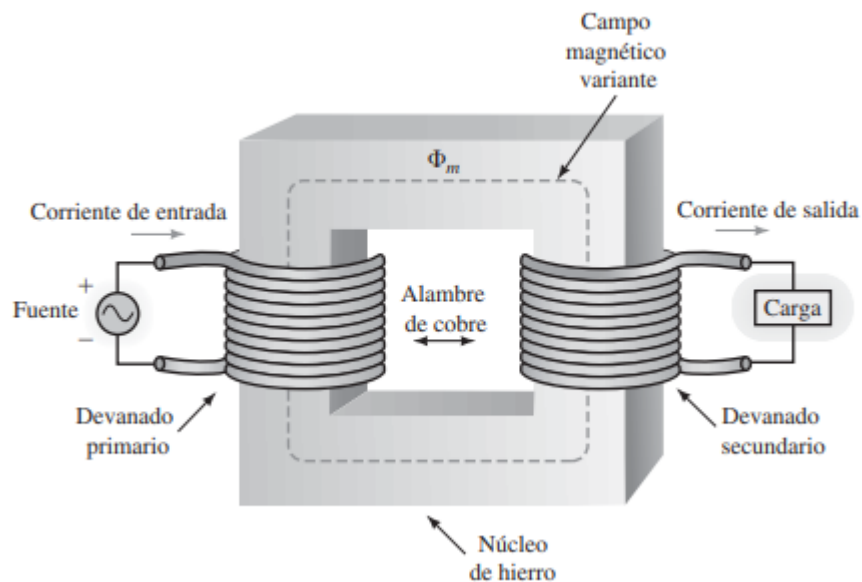
1.2.8 Trazabilidad

Propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con referencias determinadas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas. [10]

1.3 Transformador

Un transformador es una maquina eléctrica basado en el fenómeno de inducción mutua que, mediante un campo electromagnético alterno, transmite la energía eléctrica de un sistema, con un determinado voltaje a otro sistema con un voltaje deseado. En la Figura 1-3 se observa un transformador básico con núcleo de hierro.

Figura 1-3: Transformador básico de dos devanados



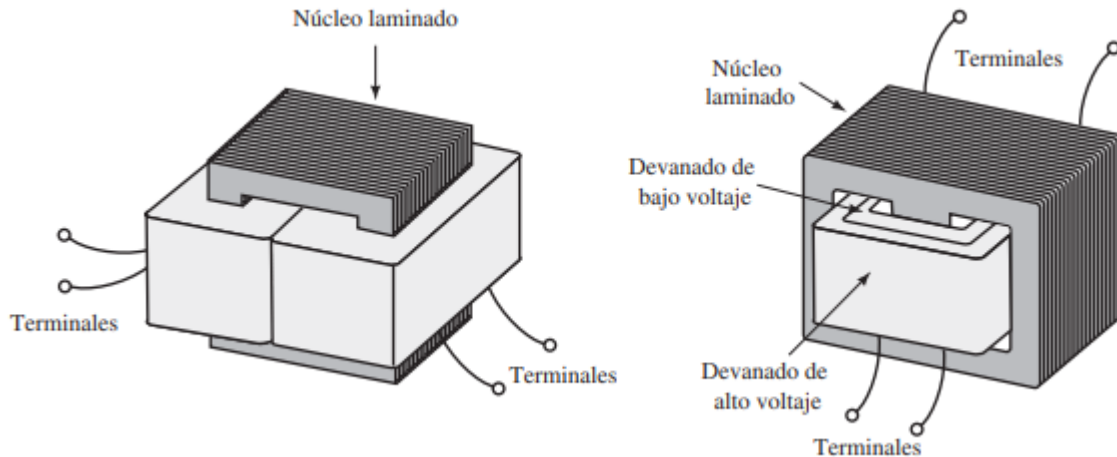
Fuente: Análisis de circuitos, A. Robbins y W. Miller [11]

Está conformado por dos bobinas devanadas montadas en un mismo núcleo de acero donde están enlazadas por el mismo flujo magnético, que al aplicar una diferencia de potencial V_1 en una de las bobinas llamada primario, por el conductor circula corriente alterna que origina un campo magnético, mediante el núcleo de acero, la inducción del campo magnético alcanza todas las espiras del devanado secundario y en sus extremos obtendremos una diferencia de potencial V_2 .

Los transformadores se clasifican en dos categorías: De núcleo de hierro y de núcleo de aire. Los transformadores de núcleo de hierro por lo general se usan en aplicaciones de baja frecuencia y los de núcleo de aire en aplicaciones de alta frecuencia. El hierro en realidad es un acero específico llamado acero de transformador ya que incrementa el acoplamiento entre las bobinas

proporcionando un trayecto cómodo para el flujo magnético. Hay dos tipos de núcleo de hierro: el tipo núcleo y tipo acorazado como se muestra en la Figura 1-4

Figura 1-4: Tipos de núcleo de hierro.



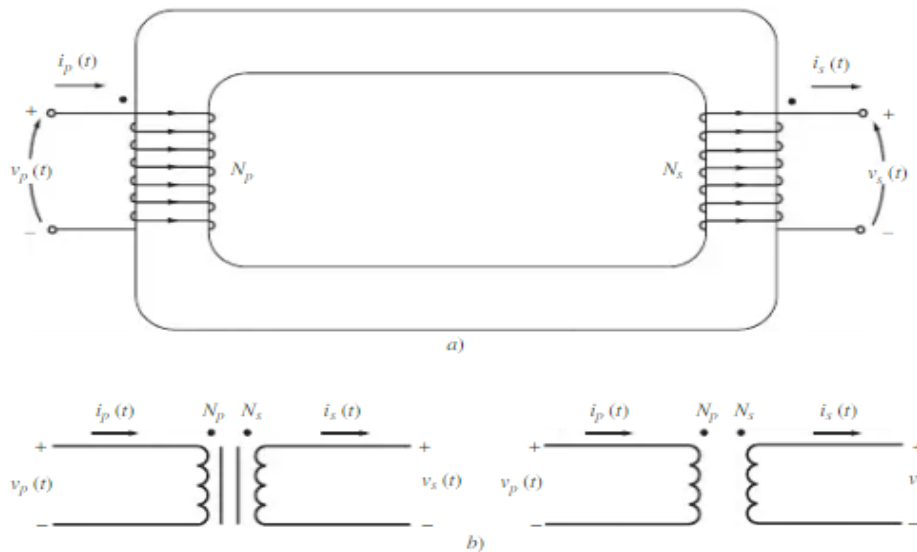
Fuente: Análisis de circuitos, A. Robbins y W. Miller [11]

En la figura del lado izquierdo las bobinas están en brazos separados, en la figura del lado derecho nos muestra el tipo acorazado ambos devanados se encuentran en el mismo brazo.

Los transformadores de núcleo de hierro son complejos de analizar ya que tienen características como: la resistencia del devanado, pérdidas del núcleo y fugas de flujo, que no son fáciles de establecer, pero estos efectos son pequeños y se pueden ignorar, donde el resultado es el transformador ideal.

El transformador ideal significa que, 1) las pérdidas del núcleo y las resistencias de los devanados son cero, 2) todo el flujo está confinado en el núcleo y, por lo tanto, enlaza todas las espiras de ambas bobinas, 3) la permeabilidad μ del núcleo es infinita. Los transformadores de potencia de núcleo bien diseñados son casi ideales. En la Figura 1-5 muestra un transformador ideal y sus símbolos esquemáticos.

Figura 1-5: a) Transformador ideal. b) Símbolos esquemáticos de un transformador.



Fuente: Maquinas eléctricas. J. Chapman [12]

1.3.1 Ley de Faraday

La ley de Faraday, la cual establece que la tensión inducida en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez de variación del flujo magnético en la unidad de tiempo. Esto se puede expresar que, a mayor cantidad de líneas de fuerza cortada por las espira y más rápido sea el movimiento, aumenta la fuerza electro motriz (f. e. m) inducida.

Sin embargo, cuando la ley de Faraday se aplica a los transformadores de núcleo de hierro y de aire, los resultados son totalmente diferentes: se encuentra que los transformadores de núcleo de hierro se caracterizan por su relación de vueltas, mientras que los transformadores de núcleo de aire se caracterizan por sus auto inductancias e inductancias mutuas. [11]

1.3.2 Relación de voltaje

La ecuación que nos muestra en un transformador el número de vueltas en el primario N_P y N_S vueltas en el secundario, establece la relación entre el voltaje $V_P(t)$ aplicado al lado primario del transformador y el voltaje $V_S(t)$ producido en el lado secundario es: (ver Ecuación (1.2)).

$$\frac{V_p(t)}{V_s(t)} = \frac{N_p}{N_s} \quad (1.2)$$

Esta razón se le llama relación de transformación del transformador o relación de vueltas y se representa con símbolo α entonces (ver ecuación (1.3)).

$$\alpha = \frac{N_p}{N_s} \quad (1.3)$$

1.3.3 Relación de corriente

La relación de la corriente $i_p(t)$ que fluye del lado primario del transformador y la corriente $i_s(t)$ que sale del secundario del transformador es (ver ecuación (1.4) y (1.5)).

$$N_p i_p(t) = N_s i_s(t) \quad (1.4)$$

O

$$\frac{i_p(t)}{i_s(t)} = \frac{1}{\alpha} \quad (1.5)$$

En términos de cantidades fasoriales, estas ecuaciones son (mirar ecuaciones (1.6) y (1.7)).

$$\frac{V_p}{V_s} = \alpha \quad (1.6)$$

e

$$\frac{i_p}{i_s} = \frac{1}{\alpha} \quad (1.7)$$

1.3.4 Potencia en el transformador ideal

La potencia P_{entr} que el circuito primario suministra al transformador está dada por la siguiente (ecuación 1.8)).

$$P_{entr} = V_p I_p \cos \theta_p \quad (1.8)$$

Donde:

P_{entr} : Potencia entrada

V_p : Voltaje primario

I_p : Corriente primaria

θ_p : Angulo entre el voltaje primario y corriente primaria

La potencia P_{sal} que el circuito secundario del transformador suministra a la carga está dada por la (ecuación (1.9)).

$$P_{sal} = V_s I_s \cos \theta_s \quad (1.9)$$

Donde:

P_{sal} : Potencia salida o potencia del secundario

V_s : Voltaje secundario

I_s : Corriente secundario

θ_s : Angulo entre el voltaje secundario y corriente del secundario

Dado que los ángulos del voltaje y de la corriente no se ven afectados por el transformador ideal,

$\theta_p = \theta_s = \theta$ Los devanados primario y secundario de un transformador ideal tienen el mismo

factor de potencia. La potencia que sale de un transformador es:

$$P_{sal} = V_s I_s \cos\theta \quad (1.10)$$

Si se aplican las ecuaciones de relación de vueltas, se tiene que

$$V_s = \frac{V_p}{\alpha} \text{ e } I_s = \alpha I_p$$

Entonces observe (ecuación (1.11)).

$$P_{sal} = \frac{V_p}{\alpha} (\alpha I_p) \cos\theta$$

$$P_{sal} = V_p I_p \cos\theta = P_{entr} \quad (1.11)$$

De esta forma, la potencia de salida de un transformador ideal es igual a la potencia de entrada. Se emplea la misma relación a la potencia reactiva Q y a la potencia aparente S como se puede evidenciar en las ecuaciones (1.12) y (1.13) [12].

$$Q_{entr} = V_p I_p \sin\theta = V_s I_s \sin\theta = Q_{sal} \quad (1.12)$$

$$S_{entr} = V_p I_p = V_s I_s = S_{sal} \quad (1.13)$$

1.4 Transformador variable

El transformador variable también es conocido con el nombre genérico de variac, es de núcleo de hierro y de estructura especial, posee los medios que le permite variar su voltaje de salida dentro de un margen limitado o bien de 0 a un valor máximo, este cuenta con una perilla de control calibrada. Véase Figura 1-6. [13]

Figura 1-6: Transformador variable

Fuente: Autores

El variac es una clase de transformador especial, que generalmente cuenta con solo una bobina y una sola capa. La sección superior del devanado se aplanan y se mecaniza para quitar el aislamiento y facilitar una superficie lisa para el cepillo deslizante con el cual se escoge la tensión necesaria.

1.4.1 Funcionamiento del variac

El funcionamiento de un Variac se puede realizar de forma manual o de modo automatizado a través de un sistema de control electrónico encargado de modificar el voltaje de salida en función del tiempo, corriente, resistencia eléctrica o cualquier otra variable asignada.

En procesos industriales se pueden programar funciones de encendido y apagado automático lo cual permite mantener el proceso de producción de manera permanente. Los variac se usan frecuentemente en aplicaciones de potencia para interconectar los sistemas que operan a diferentes clases de tensión, por ejemplo 13,8 KV a 66KV para la transmisión. También son utilizados en la industria en la adaptación de maquinaria construida como ejemplo 480V de suministro para operar en un suministro de 600V.

1.4.2 Características principales de un variac

- **Corriente nominal:** Para permitir la máxima utilización del variac, las relaciones de salida están dadas para corriente constante e impedancia de carga constante.
- **Corriente de carga constante:** Es la corriente de salida que puede soportar el variac independiente del voltaje de salida.
- **Impedancia de carga constante:** Cargas tales como lámparas incandescentes o calentadores de resistencia en las cuales la corriente consumida es aproximadamente inversamente proporcional al voltaje aplicado, aumentando hasta la corriente máxima del voltaje de línea. Estas relaciones se aplican solamente para unidades que tengan un voltaje de salida máximo limitado por el voltaje de línea.
- **Excelente regulación:** El variac entregan el voltaje de salida con una variación despreciable entre el estado sin carga y el estado de plena carga.
- **Alta eficiencia:** Las pérdidas en vatios de cada variac son muy bajas en contraste con el control ineficiente suministrado por reóstatos y otros controladores de tipo resistivo.
- **Distorsión de la forma de onda:** Un variac proporciona un voltaje de salida que es una reproducción fiel y sin distorsión de la forma de onda de la señal de entrada.
- **Control suave:** El voltaje de la salida de un variac puede ajustarse continuamente. El voltaje entre vueltas es una fracción de un voltio y la escobilla está siempre en contacto con una o más vueltas del bobinado. El ajuste del voltaje de salida puede efectuarse para una fracción de un voltio.

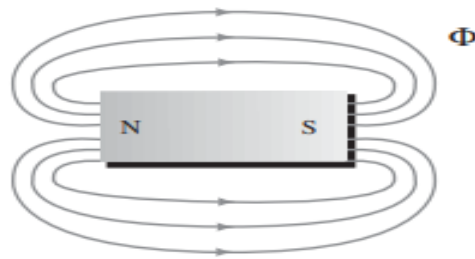
1.5 Inductores o bobinas

Los inductores o bobinas son un elemento pasivo del circuito hechos de un alambre aislado de dos terminales capaz de generar un flujo magnético cuando se hacen circular por ellas una corriente eléctrica.

1.5.1 Campo magnético

La región que rodea un imán permanente existe un campo magnético que puede ser constituido por líneas de flujo magnético similares a las líneas de flujo eléctrico. Las líneas de flujo magnético no tienen orígenes, como lo tienen las líneas de flujo eléctrico, sino que está en lazos continuos como se observa en la Figura 1-7.

Figura 1-7: Distribución de flujo para un imán permanente.



Fuente: Análisis de circuitos, A. Robbins y W. Miller [11]

Se observa que las líneas del flujo magnético van del polo norte al polo sur regresando al polo norte por la barra metálica. El flujo magnético se representa con la letra griega (ϕ) Φ .

En una bobina de una sola vuelta el flujo resultante fluirá en dirección común a través del centro de la bobina como se observa en la Figura 1-8.

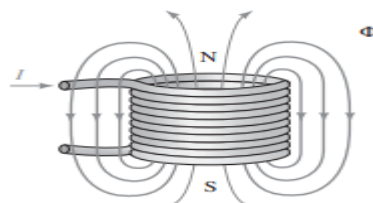
Figura 1-8: Distribución de flujo de una bobina de una sola vuelta.



Fuente: Introducción al análisis de circuitos, L. Boylestad. [8]

Mientras en un inductor con más vueltas producirá un campo magnético que constará en una trayectoria continua y en entorno a la bobina. Figura 1-9.

Figura 1-9: Distribución de flujo en una bobina portadora de corriente.



Fuente: Análisis de circuitos, A. Robbins y W. Miller [11]

Se observa en las Figuras 1-7 y 1-9 las distribuciones de flujo son bastante similares, donde las líneas de flujo saliendo por el lado izquierdo de la bobina y entrando por el lado derecho aparentan los polos norte y sur respectivamente. Las diferencias que se notan es que las líneas de flujo están más concentradas en el imán permanente que en la bobina, y como la intensidad de campo está determinada por la densidad de las líneas de flujo la bobina presenta una intensidad de campo más débil. La intensidad de campo de una bobina se puede mejorar colocado en su interior ciertos materiales como hierro, acero o cobalto para aumentar la densidad de flujo.

1.5.2 Ley de Lenz

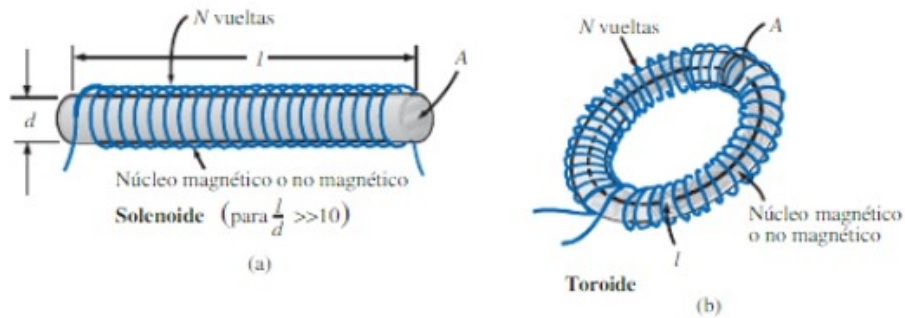
El sentido de las corrientes o fuerza electromotriz inducida es tal que se opone siempre a la causa que la produce, o sea, a la variación del flujo.

Al inducir un voltaje en la bobina, esta tiene a establecer una corriente en esta bobina produciendo un flujo magnético que se opondrá a las variaciones del campo existente producidas por la corriente original. En conclusión, si la corriente aumenta en magnitud el flujo que atraviesa la bobina con N vueltas el flujo magnético también aumentara su medida. [8]

1.5.3 Inductancia

La inductancia (L) mide el valor de oposición de la bobina al paso de la corriente. Se mide en henrios (H) en honor del físico estadounidense Joseph Henry.

Las bobinas tienen dimensiones diversas diseñadas para introducir cantidades específicas de inductancia dentro de un circuito. La inductancia L de la bobina varía directamente con las propiedades magnéticas de está. Por esto se utilizan elementos ferromagnéticos para incrementar la L creciendo el flujo de acoplamiento a la bobina. Una buena aproximación, en términos de dimensiones físicas para la inductancia de las bobinas se puede evidenciar en la Figura 1-10.

Figura 1-10: Configuraciones de inductor

Fuente: Introducción al análisis de circuitos, L. Boylestad. [8]

Para lo de la Figura 1-10 se puede calcular la inductancia (L) usando la siguiente (ecuación (1.14)).

$$L = \frac{N^2 \mu A}{l} \quad [H] \quad (1.14)$$

Donde:

N^2 : Numero de vueltas.

μ : Permeabilidad del núcleo.

A : Área del núcleo.

l : Longitud del núcleo.

1.6 Tipos de inductores (Bobinas)

Existen principalmente dos tipos de inductores: fijas y variables

1.6.1 Bobinas fijas

Este tipo de bobina, tiene un valor fijo y en este grupo se pueden encontrar bobinas con núcleo de aire y núcleo sólido.

Las de núcleo de aire el conductor se arrolla sobre un soporte hueco y posteriormente se retira quedando con un aspecto parecido al de un muelle. Se utiliza en frecuencias elevadas.

Las bobinas de núcleo sólido las podemos encontrar con el núcleo de hierro o ferrita. Se utiliza con núcleo de hierro cuando se requiere un valor elevado de inductancia, y las de núcleo de ferrita son muy utilizadas en la electrónica se pueden fabricar en pequeños tamaños y altas inductancias. [8]

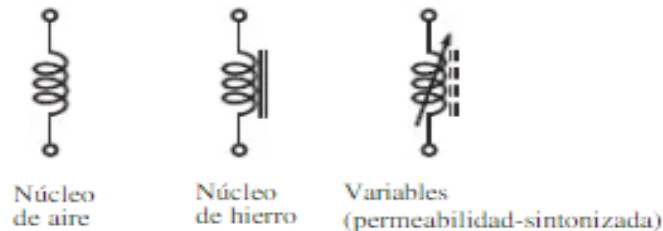
1.6.2 Bobinas variables

La bobina variable de permeabilidad sintonizada tiene un eje ferromagnético que se puede desplazar dentro la bobina para variar los enlaces de flujo y por ello su inductancia. [8]

1.6.3 Símbolos de las bobinas

La función principal de la bobina o inductor es introducir inductancia dentro de una red, estas tienen cierto número de vueltas de alambre barnizado para producir este efecto, de pendiendo de su construcción y material utilizado se representa en los planos y esquemas eléctricos, por ello los símbolos más empleados para los inductores se observan en la Figura 1-11.

Figura 1-11: Símbolo de inductor o bobina.



Fuente: Introducción al análisis de circuitos, L. Boylestad. [8]

La simbología que se muestra en la gráfica anterior es la que se debe utilizar en diagramas o planos cuando se quiere representar las bobinas.

Luego de definir todos los conceptos anteriores se procede a explicar su implementación en el diseño, construcción de un banco de pruebas para pinzas amperimétricas PA en los siguientes capítulos

2. Capítulo 2: Desarrollo metodológico

En este capítulo se hace la descripción por etapas, de la ejecución del proyecto partiendo del diseño hasta la construcción y ensamble del banco de pruebas, en sus diferentes parámetros como son el eléctrico y el mecánico.

2.1 Diseño Eléctrico del transformador de tensión (reductor)

Los datos de referencia con que se cuenta para el diseño y construcción del transformador de tensión, son las tensiones de entrada que son 110 voltios y de salida 12 voltios en corriente alterna y una potencia de 10 vatios. Para la alimentación de este se cuenta con un variac que va desde 0 voltios hasta 130 voltios. El transformador de tensión va alimentar las dos bobinas de corriente conectadas en paralelo donde se colocarán las pinzas amperimétricas para realizar las diferentes pruebas. Partiendo de esta información primaria se tendrá que diseñar y construir el transformador el cual tendrá una refrigeración por convección natural (aire).

A continuación, se detalla los cálculos de cada uno de los componentes del transformador para lo cual se emplea el método analítico.

2.1.1 Datos de referencia preliminares del diseño

Los datos con los que se cuentan como marco de referencia preliminar para el diseño del banco de pruebas son 110 voltios para la alimentación del banco, que es la tensión estable que suministra la fuente regulada que tiene el laboratorio de ensayos y calibración de la empresa. La tensión de salida del secundario del transformador de 12 voltios para manejar potencias pequeñas y la frecuencia que en Colombia son 60 Hertz, entonces estos serían los datos:

V_1 : Tensión primaria es de 110 voltios

V_2 : Tensión secundaria es de 12 voltios

F: Frecuencia de la red es de 60 Hz

P: La potencia

Otro dato que se requiere precisar es la potencia suministrada por el transformador tensión reductor y poder obtener los rangos de corriente que se requiere inducir en las bobinas. Para este caso aplicamos su cálculo en función de la intensidad del secundario mediante la siguiente (Ecuación (2.1)).

$$P = V_2 * I_2 \quad (2.1)$$

Se reemplazan los valores en la anterior ecuación para saber la potencia del transformador reductor.

$$P = 12 \text{ v} * 0.89 \text{ A}$$

$$P = 10.68 \text{ W}$$

2.1.2 Espira Voltio

El número de espiras que le corresponde a cada voltio se calcula teniendo la siguiente formula, en la que 34 es una constante dividida por la raíz cuadrada de la potencia del transformador. (Ecuación (2.2)) [14]

$$\frac{E}{V} = \frac{34}{\sqrt{P}} \quad 2.2)$$

Reemplazamos los valores

$$\frac{E}{V} = \frac{34}{\sqrt{10.68}}$$

$$\frac{E}{V} = 10.4038 \text{ Vuelta / voltio}$$

2.1.3 Numero de espiras del devanado primario

El número de espiras del devanado primario se obtiene multiplicando el número de espiras por cada voltio por la tensión primaria y se aplica la siguiente (Ecuación (2.3))

$$N_1 = E/V * V_1 \quad (2.3)$$

Nuevamente se reemplazan los valores en la ecuación

$$N_1 = 10.4038 * 110$$

$$N_1 = 1144.418 \text{ espiras}$$

2.1.4 Numero de espiras del devanado secundario

Se aplica la misma metodología anterior donde solo se varia es la tensión del secundario y se aplica la siguiente (Ecuación (2.4))

$$N_2 = E/V * V_2 \quad (2.4)$$

Entonces reemplazamos

$$N_2 = 10.4038 * 12$$

$$N_2 = 124.845 \text{ espiras}$$

Donde se tiene una relación de transformación como se muestra a continuación y se aplica la siguiente relación de espiras, voltios y corriente.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{1144.418}{124.845} = 9.16 ; \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{110}{12} = 9.16 ; \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{0.89}{0.097} = 9.16$$

2.1.5 Sección del núcleo

La sección del núcleo esta se puede calcular de dos formas, pero siempre dan el mismo resultado. Calculando en función de la tensión y el número de espiras primario o utilizando la tensión y número de espiras del secundario, como se muestra en las siguiente (Ecuación (2.5))

$$S = \frac{V_1 * 100}{2.6 * N_1} \quad S = \frac{V_2 * 100}{2.6 * N_2} \quad (2.5)$$

Se reemplaza

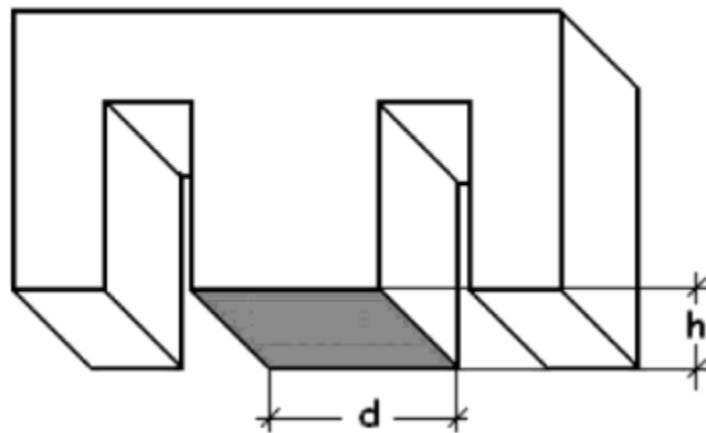
$$S = \frac{110 * 100}{2.6 * 1144.418} \quad S = \frac{12 * 100}{2.6 * 124.8456}$$

$$S = 3.69 \text{ cm}^2 \quad S = 3.69 \text{ cm}^2$$

Se deben realizar las dos operaciones de forma que se pueda evidenciar los resultados para su comparación y de esta forma garantizar que los cálculos están realizados correctamente.

Conociendo la sección del núcleo magnético el cual está dada en centímetros cuadrados cm^2 . Por tal motivo el ancho de chapa y la cantidad de chapas que forman el núcleo se define a partir de la sección calculada y las chapas disponibles como se muestra en la Figura 2-1.

Figura 2-1: Sección real del empilado de chapa magnética del transformador

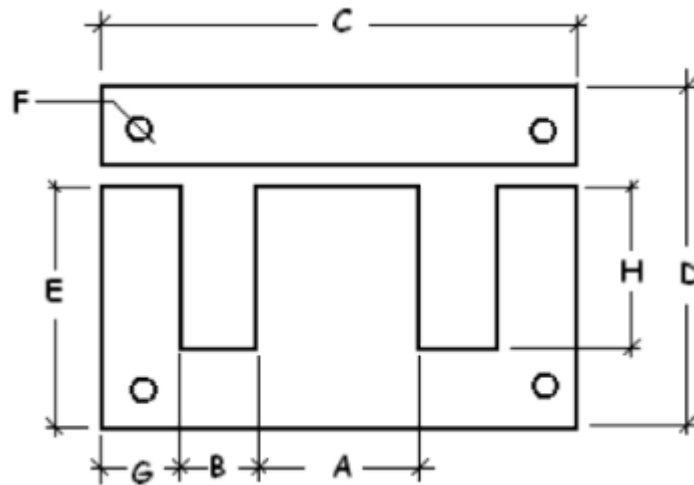


Fuente: Calculo fácil de transformadores, Álvarez [14]

2.1.6 Elección de la chapa magnética

Para la elección de la chapa magnética se pueden seleccionar las disponibles en el comercio, pero lo más conveniente es que se elija de las tablas de las medidas de las chapas normalizadas como se muestra en la Figura 2-2.

Figura 2-2: Dimensiones de chapa magnética.



Fuente: Calculo fácil de transformadores, Álvarez [14]

Teniendo la sección calculada se debe ir a la tabla de dimensiones de chapa magnética normalizada en E/I y establecer la que corresponde con el cálculo. En la siguiente Tabla 2-1 se muestra la tabla de medidas normalizadas en la cual las medidas están expresadas en mm.

Tabla 2-1: Dimensiones de chapa magnética normalizada en E/I

Dimensiones de chapa magnética normalizada en E/I								
RC	A	B	C	D	E	F	G	H
RC20	20	10	60	50	40	4	10	30
RC22	22	11	61	55	44	4	11	33
RC25	25	12,5	75	62,5	50	5	12,5	37,5
RC28	28	14	84	70	56	6	14	42
RC32	32	16	96	80	64	6	16	48
RC36	36	18	108	90	72	6	18	54
RC38	38	19	114	95	76	5,5	19	57
RC40	40	20	120	100	80	7	20	60
RC42	42	21	126	105	82	6	21	63
RC50	50	25	150	125	100	8	25	75
RC60	60	30	180	150	120	9	30	90
RC64	64	32	192	160	128	9	32	96
RC70	70	186	220	190	150	11	40	150
RC80	80	220	250	215	170	11,5	45	170
RC80A	80	200	240	200	160	11	40	160
RC90	90	225	270	225	180	11	45	180
RC100	100	200	300	250	200	9	50	200

Fuente: Calculo fácil de transformadores, Álvarez [14]

La chapa más adecuada para la potencia del transformador es RC32 para calcular el número de chapas este se hace en función de la que se escoge de la tabla anterior entonces como la chapa seleccionada es RC32 que tiene una medida de $d = 32 \text{ mm}$ y el cálculo de la sección nos da un valor de 3.69 cm^2 se calcula el empilado de chapa que es igual a h con la siguiente (Ecuación (2.6)).

$$h = \frac{S}{d} = \frac{369 \text{ mm}^2}{32 \text{ mm}} = 11.53 \text{ mm} \quad (2.6)$$

2.1.7 Intensidad del devanado primario

La intensidad en el devanado primario se calcula dividiendo la potencia del transformador en la tensión del primario como se demuestra con la siguiente (Ecuación (2.7)).

$$I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{10.68}{110} = 0.097 \text{ A} \quad (2.7)$$

Reemplazando los valores de la potencia y el voltaje del primario se obtiene un resultado de 0.092 amperios de intensidad que va a circular por el primario del transformador.

2.1.8 Intensidad del devanado secundario

La corriente que va circular por el devanado secundario del transformador se obtiene de la división de la potencia del transformador por el voltaje del secundario, donde se aplica la siguiente (Ecuación (2.8)).

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{10.68}{12} = 0.89 \text{ A} \quad (2.8)$$

Haciendo el reemplazo de los valores correspondientes nos da como resultado que el secundario va a tener una intensidad de 0.89 amperios.

2.1.9 Sección del conductor del devanado primario

Para hallar la sección del hilo del devanado primario se divide la corriente del primario sobre la densidad de la corriente, para este caso como es un transformador con refrigeración natural se puede tomar valores entre 2 y 6 para la caída de tensión y se aplica la siguiente (Ecuación (2.9)).

$$S_1 = \frac{I_1}{J} = \frac{0.097}{4} = 0.024 \text{ mm}^2 \quad (2.9)$$

2.1.10 Sección del conductor del devanado secundario

Para saber cuál es la sección del hilo del devano secundario se aplica una ecuación similar a la anterior, se debe tener en cuenta que por este devanado circula más corriente cuando se trata de un transformador reductor (Ecuación (2.10)).

$$S_2 = \frac{I_2}{J} = \frac{0.89}{4} = 0.222 \text{ mm}^2 \quad (2.10)$$

2.1.11 Diámetro del conductor del devanado primario

Con el valor obtenido en la sección del hilo este se divide por la constante y se le saca la raíz cuadrada al producto como se ilustra en la siguiente (Ecuación (2.11)).

$$\Phi_1 = \sqrt{\frac{S_1}{0.758}} = \sqrt{\frac{0.024}{0.758}} = 0.177 \text{ mm} \quad (2.11)$$

Este valor se busca en las tablas de los fabricantes donde se obtiene como resultado para el devanado primario un calibre entre 33 o 34.

2.1.12 Diámetro del conductor del devanado secundario

Se realiza el mismo procedimiento anterior, pero con los valores de la sección del devanado secundario obtenido y se aplica la misma (Ecuación (2.12)).

$$\Phi_2 = \sqrt{\frac{S_2}{0.758}} = \sqrt{\frac{0.222}{0.758}} = 0.541 \text{ mm} \quad (2.12)$$

Nuevamente este valor se busca en las tablas de los fabricantes y se obtiene un calibre de conductor 23 o 24 para el devanado secundario.

2.2 Diseño eléctrico de las bobinas de corriente

Existe varios métodos para el cálculo de las bobinas, está el analítico, por tablas o el ábaco. Independiente de la metodología empleada el resultado va a ser muy similar con un muy pequeño margen de error.

Para esta ocasión se utiliza el método por tablas para calcular las bobinas de corriente por las cuales va a circular una corriente máxima de 1000 amperios. Es de aclarar que rango máximo de corriente que tiene las pinzas amperimétricas que van a ser sometidas a prueba es de 600 amperios. Se construyen con un rango más alto por si a futuro se requiere de este rango de corriente.

2.2.1 Potencia de la bobina

Esta se calcula en función de la tensión de entrada suministrada por el transformador de tensión y la intensidad máxima que nos entrega el mismo, como datos de referencia se tienen los del secundario del transformador de tensión, y se calcula con la siguiente (Ecuación (2.13)).

$$P_2 = V_2 * I_2 = \text{VA voltamperios} \quad (2.13)$$

Reemplazamos los valores

$$P_2 = 12 * 0.89 = 10.68 \text{ VA voltamperios}$$

Donde:

P_2 : Potencia

V_2 : Tensión del secundario

I_2 : Intensidad del secundario

Se debe tener en cuenta que cuando se hace circular la corriente en la bobina la tensión se disminuye por tal motivo para efecto de los cálculos se debe adicionar un 10% de la tensión nominal de entrada en la bobina.

2.2.2 Sección del núcleo

Después de haber obtenido el resultado de la potencia, se procede a hacer la comparación en las tablas de cálculo de secciones de núcleo en función de la potencia como se muestra en la Figura 2-3.

Figura 2-3: Cálculo de sección en cm^2 en función de la potencia.

Potencia	16	40	45	50	60	65	100	200
Sección	4	6	6.6	7.5	7.8	8.4	10	14.4

Potencia	250	300	400	500	600	650	700	750
Sección	16	18	19.8	21	24	25	27	27

Potencia	800	900	1000	1500	2000	2500	3000	3500
Sección	29.4	30	35	40	45	50	57	60

Fuente: Cálculo fácil de transformadores, Álvarez [14]

Otra forma de hallar la sección del núcleo es por fórmula donde se toman los valores de la tensión de entrada, el número de espiras y unas constantes, así como se muestra en la siguiente (Ecuación (2.14)).

$$S = \frac{V \cdot 100}{2.6 \cdot N} \quad S = \frac{12 \cdot 100}{2.6 \cdot 109.9} \quad S = 4.19 \text{ cm}^2 \quad (2.14)$$

2.2.3 Elección de la chapa magnética

Esta se puede seleccionar de la gran variedad normalizada que se encuentra en el mercado, pero por tabla para el valor de sección del núcleo de 32 cm^2 nos da como resultado una chapa con referencia RC 32 que significa que la rama central tiene 32 mm y sus medidas de la chapa en forma E se muestran en la siguiente Figura 2-4.

Figura 2-4: Dimensiones de chapa magnética normalizada.

Tabla I. Dimensiones de chapa magnética normalizada en E/I
(Las medidas están expresadas en mm)

RC	A	B	C	D	E	F	G	H
RC20	20	10	60	50	40	4	10	30
RC22	22	11	61	55	44	4	11	33
RC25	25	12.5	75	62.5	50	5	12.5	37.5
RC28	28	14	84	70	56	6	14	42
RC32	32	16	96	80	64	6	16	48
RC36	36	18	108	90	72	6	18	54
RC38	38	19	114	95	76	5.5	19	57
RC40	40	20	120	100	80	7	20	60

Fuente: Calculo fácil de transformadores, Álvarez [14]

Para el núcleo de las bobinas de corriente solo se toman 10 chapas de esta referencia y de esta forma aumentar la potencia de la misma.

2.2.4 Numero de espiras de la bobina

El número de espiras por voltio también se puede calcular por tabla en función de la sección del núcleo como se ilustra en la siguiente Figura 2-5 se busca el valor de la sección del núcleo y el valor que corresponde de espira por voltio E/V se debe multiplicar por el voltaje de entrada y de esta manera se obtiene el número de espiras de la bobina.

Figura 2-5: Tabla espiras por voltio en función de la sección del núcleo.

Sección	4	6	6.6	7.5	7.8	8.4	10	14.4
E/V.	11	7	6.5	5.5	5.4	4.5	4.2	3
Sección	16	18	19.8	21	24	25	26	27
E/V.	2.6	2.3	2.2	1.9	1.8	1.7	1.65	1.62
Sección	29.4	30	35	40	45	50	57	60
E/V.	1.55	1.5	1.4	1.1	0.95	0.82	0.72	0.7

Fuente: Calculo fácil de transformadores, Álvarez [14]

Como se ve en la figura anterior para una sección de núcleo de 4.1 cm^2 , el valor que corresponde en espiras voltio es de 11 este valor se debe multiplicar por el voltaje de entrada que en este caso es de 12 voltios y se obtiene el número de espiras de la bobina de corriente.

Pero para este caso aplicamos la relación de transformación del transformador de tensión y poder manejar mejor la relación de tensión y corriente de entrada con respecto a la entregada en las bobinas de corriente Como se ilustra en la siguiente (Ecuación (2.15)).

$$N = E/V * V_E = 9.16 * 12 = 109.9 \quad (2.15)$$

2.2.5 Diámetro del conductor de la bobina

Para hallar el diámetro del conductor de la bobina primero debemos hallar la sección del conductor la cual se puede hallar mediante la siguiente (Ecuación (2.16)). Conociendo la corriente de 600 amperios donde J es la intensidad del devanado donde se tienen valores entre 2 a 6 en transformadores con refrigeración natural.

$$S = \frac{I}{J} = \frac{600}{5.7} = 105.2 \quad (2.16)$$

Con este resultado se halla el diámetro del conductor aplicando esta otra (Ecuación (2.17)).

$$\Phi = \sqrt{\frac{S}{0.758}} = \sqrt{\frac{105.2}{0.758}} = 11.78 \text{ mm} \quad (2.17)$$

Las bobinas de corriente se van a construir en calibre 16 AWG de alambre magneto barnizado que son usados en la fabricación de bobinas, el cual está cubierto por una capa de barniz que cumple la función de aislamiento del conductor. Y para este calibre tiene un diámetro de 1.29 mm por tabla entonces dividimos el valor del diámetro calculado en el diámetro del conductor que se va a utilizar y el producto lo multiplicamos por el voltaje de entradas y nos da como resultado el número de espiras que deben tener cada una de las bobinas de corriente en el conductor a utilizar en su fabricación lo anterior se ilustra en la siguiente (Ecuación (2.18)). (Ecuación (2.19)).

$$D = \frac{D_1}{D_2} = \frac{11.7}{1.29} = 9.1 \quad (2.18)$$

$$N = D * V = 9.1 * 12 = 109.6 \quad (2.19)$$

Como resultado de la aplicación de las ecuaciones anteriores nos da como resultado que para las bobinas de corriente construidas en calibre 16 AWG se tiene 109.6 espiras para cada bobina. Para la construcción de las misma se va a dejar de 109 espiras cada una.

Esto nos muestra que la corriente que se puede obtener en las bobinas es el resultado de multiplicar el número de espiras por la corriente que se inyecte o aplique como se puede observar en el siguiente ejemplo.

$$4A \times 109E = 436 A.$$

Si le inyectamos 4 amperios a la bobina y los multiplicamos por el número de espiras el resultado que nos debe mostrar la pinza amperimétrica es de 436 amperios.

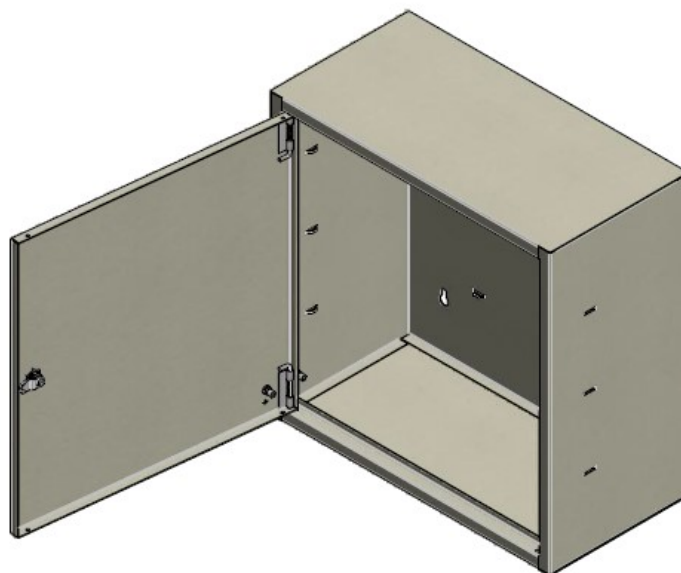
2.3 Diseño y estructura del banco de pruebas

Para el ensamble del banco de pruebas de pinzas amperimétricas, este se diseñó en un gabinete de lámina calibre 18 con pintura electroestática donde se van a incorporar cada uno de los elementos que hace parte integral del mismo, con este tipo de diseño en gabinete facilita su desplazamiento a las diferentes áreas o zonas donde se requiere verificar el error en la medición de las pinzas.

2.3.1 Diseño gabinete

Es una caja metálica que tiene las siguientes dimensiones de largo 60 cm, de alto 60 cm, y de ancho 30 cm, con pintura electroestática la cual en su interior cuenta con una lámina donde se fija los elementos del banco y esta se divide en dos áreas una en la parte inferior donde se encuentran los elementos de control y protección y en la parte superior donde se disponen las bobinas de corriente en las cuales se van a colocar las pinzas amperimétricas para realizarle las respectivas pruebas. El gabinete se diseña cumpliendo la norma (NEMA/EEMAC Type 1 IEC 60529, IP30) El sistema de clasificación IP indica el grado de protección que tiene el gabinete contra solidos (polvo) y líquidos (gotas de agua) que deben tener todos los equipos eléctricos, para este caso el código IP30 se refiere a que el número 3 tiene una protección contra objetos solidos de más de 2.5 mm y el numero 0 sin protección contra el agua, como se puede evidenciar en la siguiente Figura 2- 6.

Figura 2-6: Modelo gabinete del Banco de pruebas PA.



Fuente: Autores

2.3.2 Elaboración de planos mecánicos y eléctricos del banco de pruebas

Con la ayuda del software Soliworks 2016 y su complemento electrical se hace la elaboración del plano de control y protección del sistema eléctrico del banco de pruebas, el cual nos permite hacer la simulación de la mejor ubicación de los diferentes componentes del sistema de eléctrico y nos permite simular su incorporación dentro del gabinete de todos los elementos. Los planos van como anexos al final del libro.

2.4 Construcción y ensamble del banco de pruebas

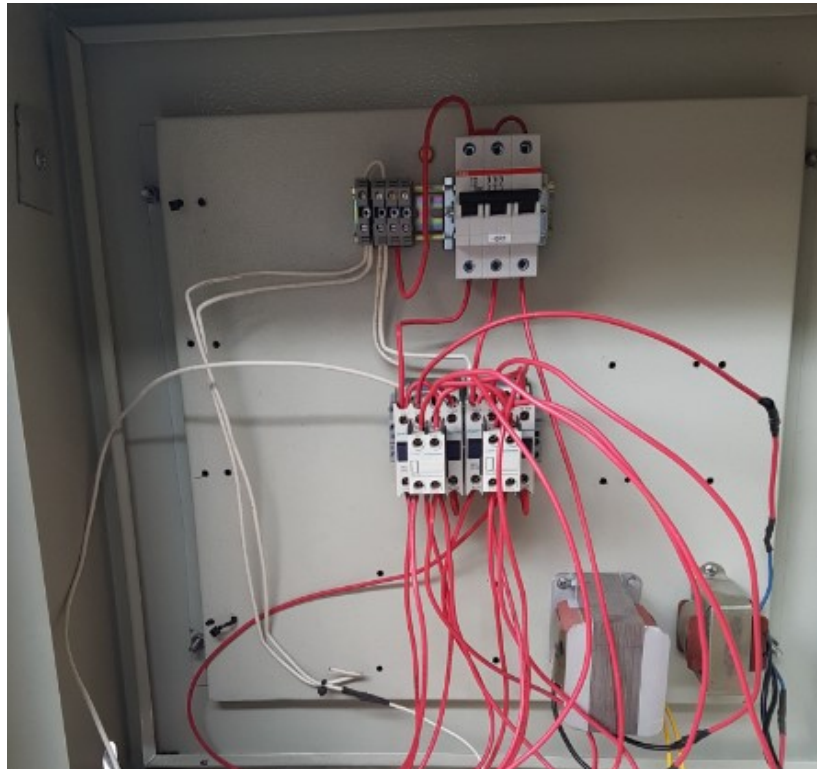
Una vez se tienen todos los elementos que componen el banco de pruebas y la construcción de las bobinas de corriente se procede hacer el ensamble de los mismo dentro del gabinete.

A continuación, se describe a manera muy general cada una de las etapas de la construcción y ensamble del banco de pruebas.

2.4.1 Incorporación de los componentes de control y protección

Los componentes como protección termo magnética, contactores, contactos auxiliares y transformadores son fijados en un doble fondo en la parte posterior del gabinete como se muestra en la siguiente Figura 2-7.

Figura 2 7: Elementos de protección y control del banco.



Fuente: Autores

En esta etapa se distribuyen y fija los elementos como los transformadores y contactores que hacen parte del banco de pruebas.

2.4.2 Mecanizado del gabinete

En esta etapa de construcción se hace necesario mecanizar el tablero frontal del gabinete donde se van a fijar los pulsadores de encendido y apagado, el variac y los dispositivos de medida de tensión y corriente como se observa en la siguiente Figura 2- 8.

Figura 2-8: Mecanizado del sobre tablero.

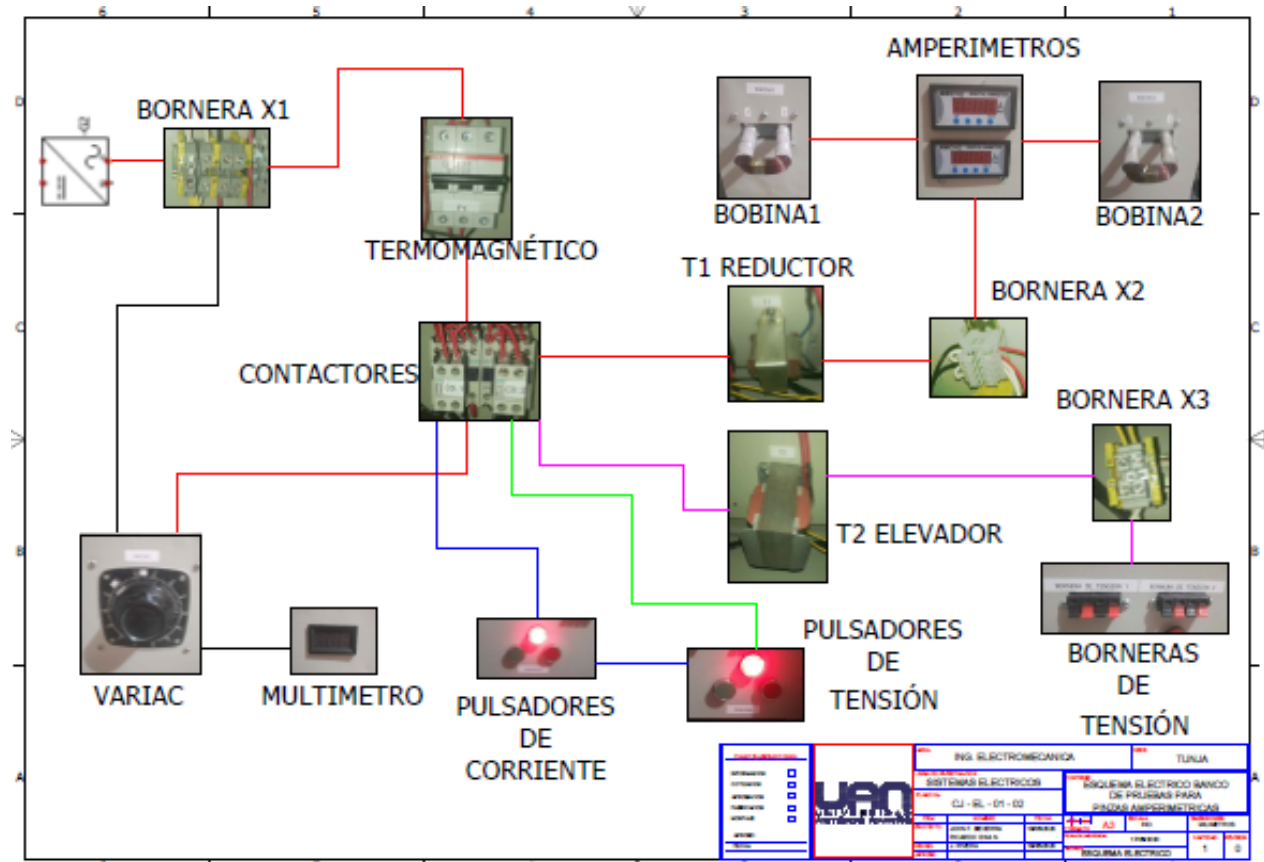
Fuente: Autores

En la figura anterior se muestran las perforaciones hechas al sobre tablero donde se deben fijar cada uno de los elementos que van en la parte frontal del banco de pruebas.

2.4.3 Incorporación de los componentes de control y protección

Después de realizar el mecanizado del gabinete se procede a la instalación de los pulsadores, variac, dispositivos de medida y las dos bobinas de corriente, que van en la parte frontal del banco de pruebas, los cuales van a controlar el encendido y apagado del mismo y la inyección de corriente a las bobinas de corriente en la Figura 2- 9.

Figura 2-9: Disposición y esquema de conexión de los componentes parte frontal.



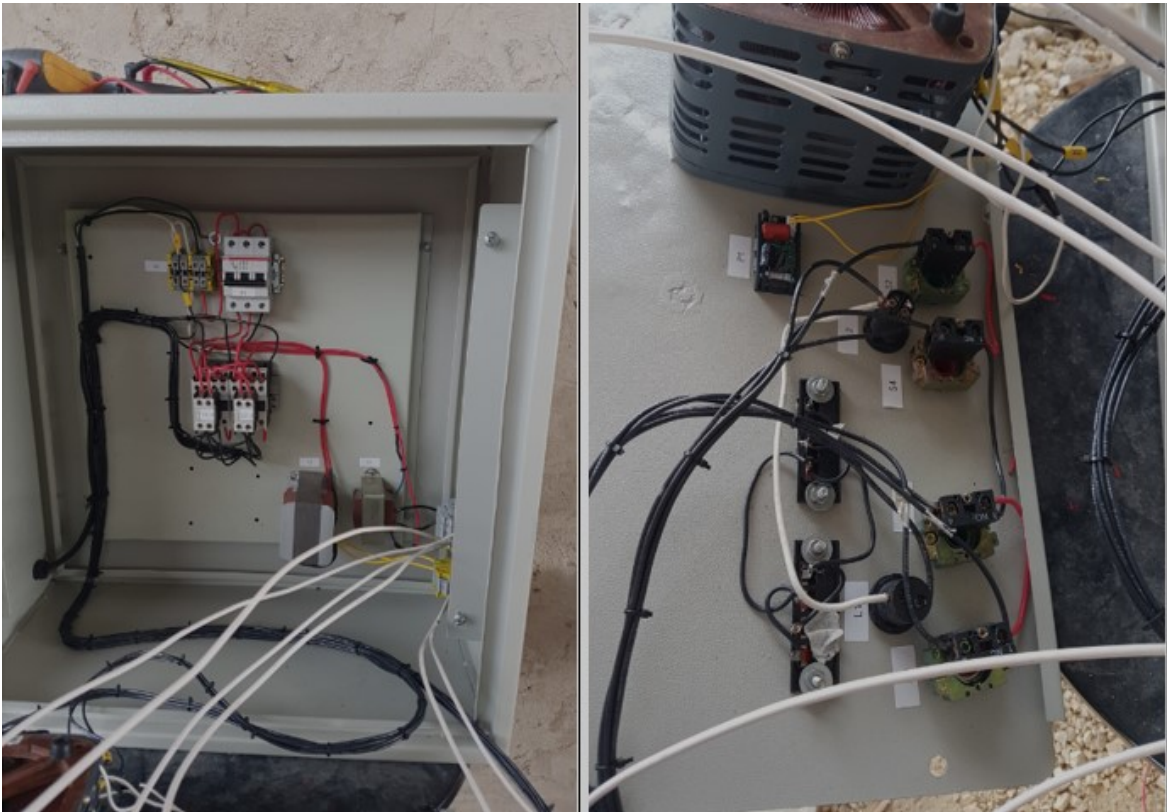
Fuente: Autores

En la figura anterior se muestra la disposición final de cada uno de los elementos de la parte frontal del banco de pruebas como son el variac y los botones de encendido y apagado como los dispositivos de medida.

2.4.4 Cableado del banco de pruebas

Después de fijar o asegurar los diferentes elementos con ayuda del plano eléctrico se procede hacer el cableado tanto de fuerza, como el de control en el banco de pruebas como se muestra en la siguiente Figura 2- 10.

Figura 2-10: Disposición del cableado del banco de pruebas.



Fuente: Autores

En la figura anterior se muestra el cableado realizado, para conectar los diferentes componentes del banco de pruebas como son los elementos de control, protección y fuerza del mismo. Para los elementos de control se utilizó cable de cobre calibre 16 AWG-THHN-2 y los de fuerza calibre 10 AWG-THHN-2

2.4.5 Estado final del banco de pruebas

Después de incorporar todos los elementos y realizar las conexiones y verificación de estas con respecto al plano eléctrico en la siguiente Figura 2- 11. Se muestra el estado final del banco de pruebas el cual que listo para empezar a realizarlas diferentes pruebas para verificación de su funcionamiento.

Figura 2-11: Estado final del banco de pruebas.



Fuente: Autores

En la figura anterior se puede observar como quedaron distribuidos los elementos en la parte frontal del banco donde se aprecia el variac con su voltímetro que indica el voltaje de salida del mismo y los botones de encendido y apagado en la parte inferior y en la parte superior las dos bobinas de corrientes cada una de ellas con su respectivo amperímetro que va a censar la corriente de entrada en cada una de ellas. Con el valor registrado por el amperímetro y multiplicado por el número de espiras (109) de cada bobina será el valor que debe registrar la pinza amperimétrica.

Con lo anterior se concluye la tapa de diseño y se continua con las pruebas al banco.

3. Capítulo 3: Pruebas y resultados

Este capítulo hace referencia a las diferentes pruebas que se deben realizar al banco. Para validar su funcionamiento y relación de transformación tanto del transformador de tensión reductor, como las bobinas de corriente y poder aplicar las respectivas pruebas a los diferentes tipos de pinzas amperimétricas.

Antes de hacer uso del banco de pruebas para pinzas amperimétricas se debe leer muy detenidamente el manual de usuario del equipo y hacer el análisis de la matriz de peligros que se encuentra como anexo al final del presente libro. A fin de evitar cualquier daño o avería en el mismo y lo más importante que no se presenten ningún tipo de lesión o accidente a las personas que hagan uso de este equipo. Por tal motivo se deben usar elementos de protección personal para el uso y operación del banco de pruebas.

3.1 Pruebas de funcionamiento del banco de pruebas

Una vez terminada la construcción y el ensamble del banco de pruebas se procede hacer una verificación del conexionado eléctrico del banco con respecto al plano. Después de dicha verificación se procede a energizar el banco, para tal fin se utiliza una fuente regulada de voltaje y se le realizan las respectivas pruebas de encendido y apagado del sistema de tensión y corriente los cuales están independientes cada uno. Por otra parte, se realizan pruebas de fuga de corriente y tensiones al gabinete a fin de garantizar la vida y la seguridad de las personas en su uso. Y a la vez se realiza una inspección a cada uno de los componentes en cuanto su fijación y aseguramiento de las conexiones. Como resultado se evidencia que el funcionamiento del banco en lo correspondiente al encendido y apago y su conexión a tierra está perfecto se continua con las siguientes pruebas.

3.2 Pruebas en vacío al transformador de tensión

Para la aplicación de esta prueba por medio del variac empezamos inyectar voltaje al transformador en varios rangos y se hacen mediciones en la entrada y la salida del transformador y se hace una verificación de la relación de transformación como se muestra en la siguiente Tabla. 3-1.

Tabla 3-1: Valores relación de transformación transformador de tensión

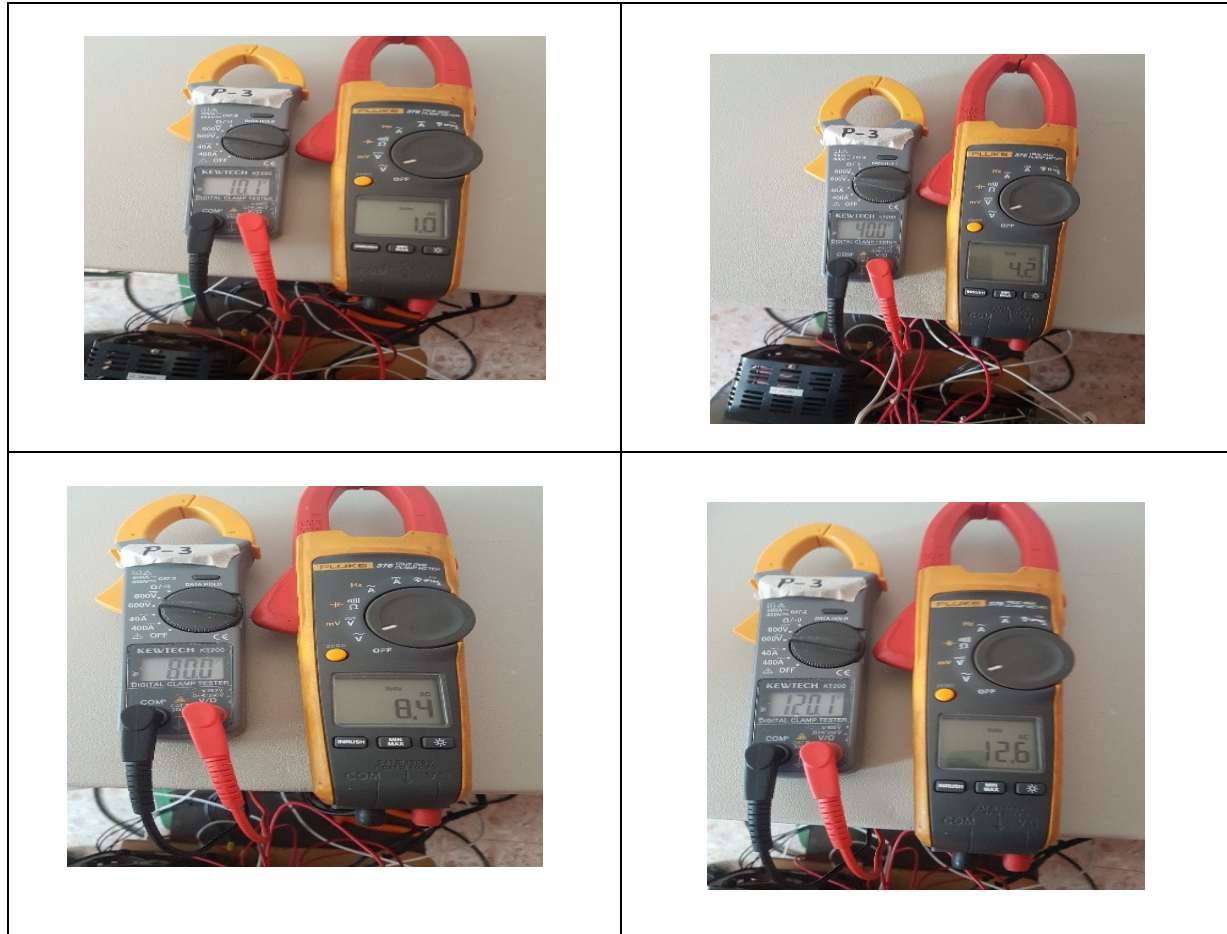
ítem	Voltaje Entrada	Voltaje Salida	Relación de transformación
1	10,1	1,1	9,8
2	20,5	2,1	9,8
3	29,8	3,1	9,6
4	40,0	4,2	9,5
5	50,9	5,3	9,6
6	60,1	6,3	9,5
7	70,1	7,3	9,6
8	80,0	8,4	9,5
9	90,3	9,5	9,5
10	101,1	10,6	9,5
11	110,2	11,6	9,5
12	120,1	12,6	9,5

Fuente: Autores

En la tabla anterior se observan los valores registrados en los voltímetros de la tensión de entrada y de salida del transformador donde se puede comprobar que la relación de transformación, es la de cálculo al dividir la tensión de entrada en la tensión de salida, se obtiene un de valor de 9,5 promedio.

En la siguiente figura se evidencia la toma de voltaje en la entrada y salida del transformador de tensión. Figura 3-1.

Figura 3-1: Voltaje entrada y salida transformadora de tensión.

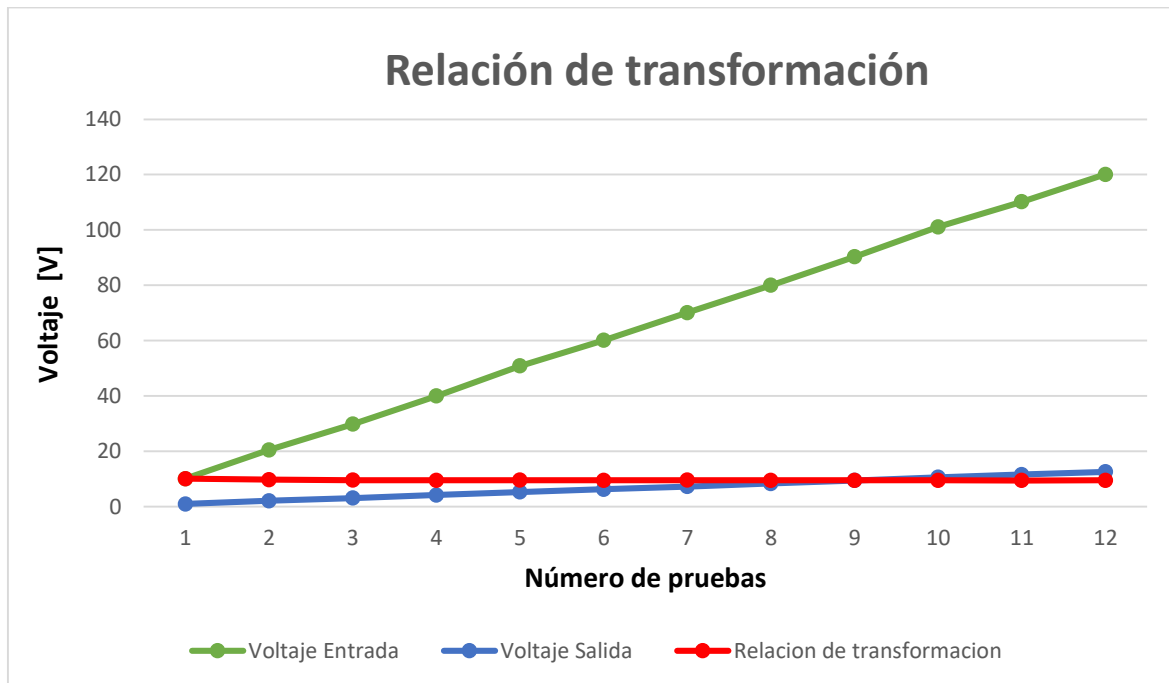


Fuente: Autores

En la figura anteriores se evidencia el registro de toma de tensión de entrada y salida en al transformador reductor de tensión. Donde se valida la relación de transformación del mismo después de realizada esta prueba se procede hacer las respectivas pruebas a las bobinas de corriente.

En la siguiente Figura 3-2 se observa el comportamiento de la tensión de entrada y salida con respecto a la relación de transformación donde la relación se mantiene estable con respecto a las tensiones.

Figura 3-2: Grafica de relación de transformación.



Fuente: Autores

3.3 Pruebas a las bobinas de corriente

Para realizar la validación de las corrientes que deben registrar las pinzas amperimétricas, se instaló en la parte frontal del banco de prueba, dos bobinas de corriente y a cada una de ellas un amperímetro el cual nos va a registrar la corriente de entrada a cada bobina y por relación de transformación número de espiras (109) se calcula el valor que debe registrar la pinza amperimétrica que va a ser sometida a la prueba de caracterización del error.

3.3.1 Prueba de relación de transformación bobinas corriente

Esta prueba consiste en la elaboración de una tabla comparativa donde se toman un rango inicial de 0.8 amperios a 2.8 amperios, este rango va incrementando de 0.2 A a 0.2 A. donde se va a tomar el valor registrado por la pinza amperimétrica en cada una de las bobinas. En la siguiente Tabla 3-2 se muestran las características de las pinzas amperimétricas utilizadas en las diferentes pruebas.

Tabla 3-2: Características de las pinzas amperimétricas.

Características de las pinzas utilizadas en las pruebas				
Marca	Referencia	Rangos de medida en amperios de las pinzas		
		1	2	3
UNI-T	UT202A	20 A	200A	600 A
KEWTECH	KT206	40 A	400 A	
KEW SNAP	2017	200 A		600 A
FLUKE	376			1000 A

Fuente: Autores.

Para el inicio de la prueba se ajusta la corriente de entrada a las bobinas con el valor registrado en el amperímetro 1 y después se toma el valor que muestra cuando se instala la pinza en la bobina para realizar la respectiva comparación los valores registrados, como se pueden observar en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Valores registrados por los amperímetro y pinzas amperimétricas

<i>ítem</i>	<i>Corriente de Entrada</i>	<i>pinza</i>	<i>Amperímetro Bobina 1</i>	<i>Valor Leído Pinza Bobina 1 (A)</i>	<i>Amperímetro bobina 2</i>	<i>Valor Leído Pinza Bobina 2 (A)</i>
1	0,8	Pinza 1	0,762	84,3	0,688	77,1
2	0,8	Pinza 2	0,779	83,7	0,708	77,5
3	0,8	Pinza 3	0,783	84,6	0,705	77,6
4	1,0	Pinza 1	0,970	104,5	0,871	95,7
5	1,0	Pinza 2	0,962	103,2	0,870	94,9
6	1,0	Pinza 3	0,956	103,3	0,853	93,8
7	1,2	Pinza 1	1,164	125,7	1,064	116,1
8	1,2	Pinza 2	1,179	127,3	1,062	115,5
9	1,2	Pinza 3	1,167	125,7	1,133	123,6
10	1,4	Pinza 1	1,359	147,1	1,229	133,4
11	1,4	Pinza 2	1,307	140,7	1,261	137
12	1,4	Pinza 3	1,392	150,7	1,257	137,2
13	1,6	Pinza 1	1,666	179	1,539	168
14	1,6	Pinza 2	1,663	179,2	1,567	170,2
15	1,6	Pinza 3	1,694	183,3	1,523	165,8
16	1,8	Pinza 1	1,860	206	1,732	195
17	1,8	Pinza 2	1,847	198,9	1,747	190,2
18	1,8	Pinza 3	1,867	201,7	1,726	188,3
19	2,0	Pinza 1	2,039	223	1,932	215
20	2,0	Pinza 2	2,082	223,1	1,927	209,6
21	2,0	Pinza 3	2,073	223,5	1,960	213,2
22	2,2	Pinza 1	2,309	252,0	2,104	232,0
23	2,2	Pinza 2	2,245	241,2	2,136	231,4
24	2,2	Pinza 3	2,265	244,1	2,086	225,7
25	2,4	Pinza 1	2,441	267,0	2,29	253,0
26	2,4	Pinza 2	2,451	263,2	2,305	249,5
27	2,4	Pinza 3	2,453	263,9	2,304	250,1
28	2,8	Pinza 1	2,804	306	2,645	292
29	2,8	Pinza 2	2,784	298,2	2,637	285
30	2,8	Pinza 3	2,878	309	2,704	292,4

Fuente: Autores.

En la tabla anterior se encuentran registrados los valores leídos tanto por los amperímetros de cada una de las bobinas y las tres pinzas en cada bobina.

Con los resultados obtenidos se procede hacer una evaluación del error, se realiza la operación de relación de transformación donde cada uno de estos valores se multiplica por el número de espiras (109) de la bobina y nos da el valor de referencia el cual debe registrar la pinza amperimétrica que está en prueba en la siguiente Tabla 3-4 se muestra los resultados de la comparación de los valores de cálculo y los leídos por las pinzas amperimétricas y su diferencia.

Tabla 3- 4: Valores de corriente leídos y cálculo en las bobinas.

ítem	Valor Leído Pinza Bobina 1	Valor Calculo Bobina 1	Valor Leído Pinza Bobina 2	Valor Calculo Bobina 2	Diferencia Valor Leído vs Valor Calculado Bobina 1	Diferencia Valor Leído vs Valor Calculado Bobina 2
1	84,3	83,058	77,1	74,992	1,242	2,108
2	83,7	84,911	77,5	77,172	-1,211	0,328
3	84,6	85,347	77,6	76,845	-0,747	0,755
4	104,5	105,73	95,7	94,939	-1,23	0,761
5	103,2	104,858	94,9	94,83	-1,658	0,07
6	103,3	104,204	93,8	92,977	-0,904	0,823
7	125,7	126,876	116,1	115,976	-1,176	0,124
8	127,3	128,511	115,5	115,758	-1,211	-0,258
9	125,7	127,203	123,6	123,497	-1,503	0,103
10	147,1	148,131	133,4	133,961	-1,031	-0,561
11	140,7	142,463	137	137,449	-1,763	-0,449
12	150,7	151,728	137,2	137,013	-1,028	0,187
13	179	181,594	168	167,751	-2,594	0,249
14	179,2	181,267	170,2	170,803	-2,067	-0,603
15	183,3	184,646	165,8	166,007	-1,346	-0,207
16	206	202,74	195	188,788	3,26	6,212
17	198,9	201,323	190,2	190,423	-2,423	-0,223
18	201,7	203,503	188,3	188,134	-1,803	0,166
19	223	222,251	215	210,588	0,749	4,412
20	223,1	226,938	209,6	210,043	-3,838	-0,443
21	223,5	225,957	213,2	213,64	-2,457	-0,44
22	252,0	251,681	232,0	229,336	0,319	2,664
23	241,2	244,705	231,4	232,824	-3,505	-1,424
24	244,1	246,885	225,7	227,374	-2,785	-1,674
25	267,0	266,069	253,0	249,61	0,931	3,39

<i>ítem</i>	<i>Valor Leído Pinza Bobina 1</i>	<i>Valor Calculo Bobina 1</i>	<i>Valor Leído Pinza Bobina 2</i>	<i>Valor Calculo Bobina 2</i>	<i>Diferencia Valor Leído vs Valor Calculado Bobina 1</i>	<i>Diferencia Valor Leído vs Valor Calculado Bobina 2</i>
26	263,2	267,159	249,5	251,245	-3,959	-1,745
27	263,9	267,377	250,1	251,136	-3,477	-1,036
28	306	305,636	292	288,305	0,364	3,695
29	298,2	303,456	285	287,433	-5,256	-2,433
30	309	313,702	292,4	294,736	-4,702	-2,336

Fuente: Autores.

En la tabla anterior se hace una comparación para hallar la diferencia simplemente el valor leído por la pinza amperimétrica es restado del valor calculado y esos valores son los que se registran en las dos últimas columnas de la tabla anterior.

En la siguiente Tabla 3-5. se muestra el error porcentual de cada una de las pinzas que se fue sometida a prueba, para hallar el error porcentual se divide el alcance de la pinza en el error absoluto. Después de análisis de los datos obtenidos en el error porcentual podemos decir que el error promedio en la bobina 1 es del 0,44% para las pinzas que fueron probadas en la bobina 1 y para los valores de la bobina 2 nos da un valor 0,03% para las pinzas que se probaron en esta bobina.

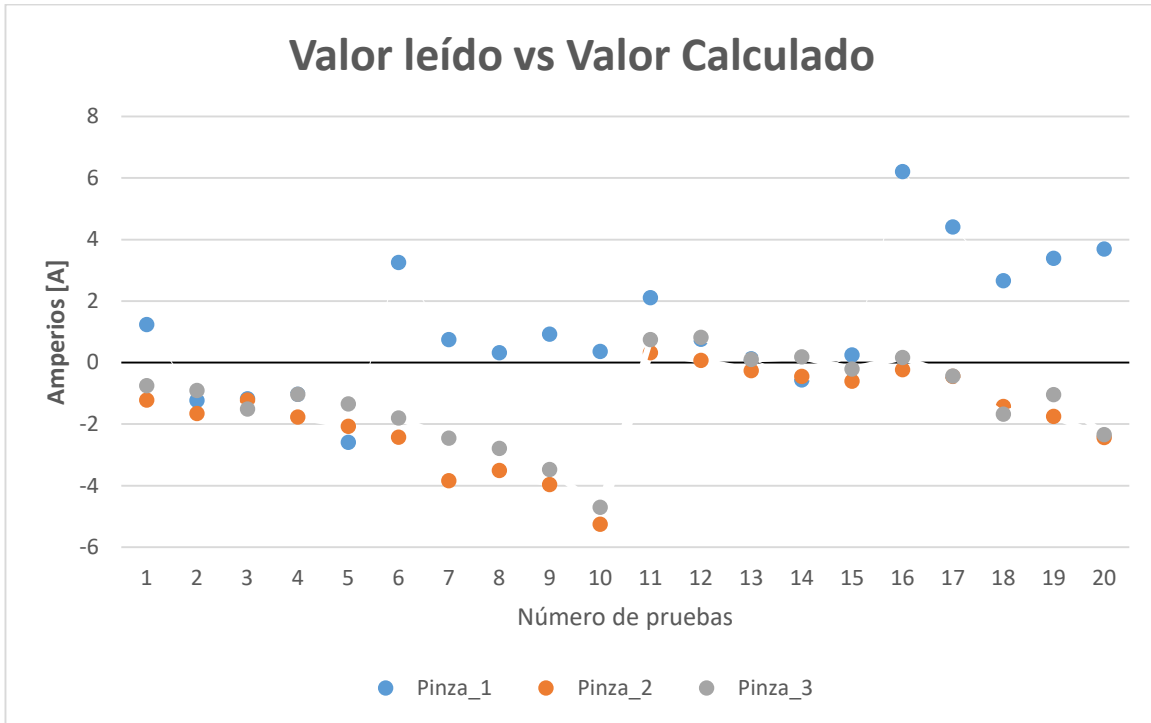
Tabla 3- 5 Valores porcentuales obtenidos de las pinzas.

Ítem	Pinza	Rango Pinzas	Alcance Pinzas	Error Absoluto Bobina 1	Error Absoluto Bobina 2	Error Porcentual Bobina 1	Error Porcentual Bobina 2
1	Pinza 1	20A - 600A	580	1,2	2,1	0,20%	0,40%
2	Pinza 2	40A- 400A	360	1,2	0,3	0,30%	0,10%
3	Pinza 3	40A- 400A	360	0,7	0,8	0,20%	0,20%
4	Pinza 1	20A - 600A	580	1,2	0,8	0,20%	0,10%
5	Pinza 2	40A- 400A	360	1,7	0,1	0,50%	0,00%
6	Pinza 3	40A- 400A	360	0,9	0,8	0,30%	0,20%
7	Pinza 1	20A - 600A	580	1,2	0,1	0,20%	0,00%
8	Pinza 2	40A- 400A	360	1,2	0,3	0,30%	0,10%
9	Pinza 3	40A- 400A	360	1,5	0,1	0,40%	0,00%
10	Pinza 1	20A - 600A	580	1	0,6	0,20%	0,10%
11	Pinza 2	40A- 400A	360	1,8	0,4	0,50%	0,10%
12	Pinza 3	40A- 400A	360	1	0,2	0,30%	0,10%
13	Pinza 1	20A - 600A	580	2,6	0,2	0,40%	0,00%
14	Pinza 2	40A- 400A	360	2,1	0,6	0,60%	0,20%
15	Pinza 3	40A- 400A	360	1,3	0,2	0,40%	0,10%
16	Pinza 1	20A - 600A	580	3,3	6,2	0,60%	1,10%
17	Pinza 2	40A- 400A	360	2,4	0,2	0,70%	0,10%
18	Pinza 3	40A- 400A	360	1,8	0,2	0,50%	0,00%
19	Pinza 1	20A - 600A	580	0,7	4,4	0,10%	0,80%
20	Pinza 2	40A- 400A	360	3,8	0,4	1,10%	0,10%
21	Pinza 3	40A- 400A	360	2,5	0,4	0,70%	0,10%
22	Pinza 1	20A - 600A	580	0,3	2,7	0,10%	0,50%
23	Pinza 2	40A- 400A	360	3,5	1,4	1,00%	0,40%
24	Pinza 3	40A- 400A	360	2,8	1,7	0,80%	0,50%
25	Pinza 1	20A - 600A	580	0,9	3,4	0,20%	0,60%
26	Pinza 3	40A- 400A	360	4	1,7	1,10%	0,50%
27	Pinza 1	40A- 400A	360	3,5	1	1,00%	0,30%
28	Pinza 2	20A - 600A	580	0,4	3,7	0,10%	0,60%
29	Pinza 3	40A- 400A	360	5,3	2,4	1,50%	0,70%
30	Pinza 1	40A- 400A	360	4,7	2,3	1,30%	0,60%

Fuente: Autores

Ahora en la siguiente Figura 3– 3 observamos la relación de diferencia entre las dos bobinas.

Figura 3- 3: Diferencia valor leído vs Valor calculado.



Fuente: Autores.







Para hacer más claridad en la figura anterior se debe tener como referencia que las pruebas en la bobina 1 son las que se encuentran numeradas de 1 hasta 10 y las pruebas de la bobina 2 son las que están numeradas de 11 hasta 20 en la parte inferior de la figura. Entonces podemos observar que la pinza 1 representada por los puntos azules, en las pruebas 6 y 16 con una corriente de entrada de 1.8 amperios toma unos valores exponenciales, mientras que las otras dos pinzas en prueba mantienen su margen de error lineal y con una mínima diferencia en la relación de transformación entre el valor leído y el valor calculado como nos muestran en la figura.

En la siguiente Figura 3-4 se evidencia la toma de datos de las corrientes registradas por los diferentes aparatos de la prueba. A fin de poder validar la relación de transformación de las

bobinas de corriente y comprobar que en el banco se pueden evaluar los distintos tipos de pinzas amperimétricas que existen en el mercado.

A futuro de debe contar para las pruebas con una pinza homologada y certificada que nos sirva como patrón de referencia y poder hacer esta comparación, pero en esta etapa de desarrollo del proyecto no se tiene esto dentro del alcance del mismo.

Figura 3-4: Registro fotográfico de toma de datos.

<p>Prueba pinza 1 bobina 1</p>	<p>Prueba pinza 2 bobina 1</p>
	
<p>Prueba pinza 3 bobina 1</p>	<p>Prueba pinza 1 bobina 2</p>
	
<p>Prueba pinza 2 bobina 2</p>	<p>Prueba pinza 3 bobina 2</p>
	

Fuente: Autores.

Por otra parte, también se hace un análisis de estadística descriptiva de los valores registrados en cuanto a las diferencias del valor calculado y el valor leído con respecto a los conceptos estadístico como se muestra en la siguiente Tabla 3 – 6

Tabla 3- 6: Valores estadísticos de la muestra.

Concepto	Bobina 1	Bobina 2
Promedio	-1,56	0,41
Moda	-1,21	-0,44
Mediana	-1,42	0,09
Varianza	3,40	3,92
Desviación estándar	1,84	1,98

Fuente: Autores.

De la tabla anterior podemos deducir que la varianza y desviación estándar de los datos registrados en las tablas anteriores tienen una dispersión muy parecida con lo cual se valida que las bobinas tienen comportamiento similar cuando se le inyecta la misma corriente.

3.3.2 Rangos de corriente para pruebas

Después de hacer la evaluación de la relación de transformación a las bobinas de corriente se procede a inyectar corriente dentro de los rangos establecidos para la caracterización del error de las pinzas según los establecido en la norma internacional (SIT/Tec-014/06 (Revisión 0 del 2006-04-03). Donde dice que, para pinzas de 600 amperios, se les debe inyectar corriente en los siguientes porcentajes 10, 30,50, 70 y 90 por ciento del voltaje nominal.

Se realiza la siguiente prueba donde se le inyecta corriente en esos rangos como se muestra en la siguiente Tabla 3 – 7.

El valor calculado se obtiene de multiplicar el valor registrado por el amperímetro por el número de vueltas (N) de la bobina, que son de 109 vueltas. Como se evidencia en la siguiente operación:

$$0,762 \text{ [A]} * 109 = 83,1 \text{ [A]}$$

Tabla 3-7: Valores de corriente de rangos de pruebas.

<i>ítem</i>	<i>Elemento</i>	<i>Porcentaje de corriente</i>	<i>Corriente de Entrada</i>	<i>Valor Amperímetro [A]</i>	<i>Valor Leído Pinza [A]</i>	<i>Valor Calculo [A]</i>	<i>Diferencia [A]</i>
1	Bobina 1	10%	0,8	0,762	84,3	83,1	1,2
2		30%	1,8	1,860	202	202,7	-0,7
3		50%	2,8	2,804	306	305,6	0,4
4		70%	3,8	3,767	409	410,6	-1,6
5		90%	5,0	4,834	524	526,9	-2,9
6	Bobina 2	10%	0,8	0,688	77,1	75,0	2,1
7		30%	1,8	1,732	190	188,8	1,2
8		50%	2,8	2,645	290	288,3	1,7
9		70%	3,8	3,481	380	379,4	0,6
10		90%	5,0	4,643	504	506,1	-2,1

Fuente: Autores.

En la tabla anterior se registran los valores obtenidos en la prueba de inyección de corriente dentro de los porcentajes que exige la norma para las pinzas de 600 amperios que en este rango están todas las pinzas que utiliza la empresa (EBSA) en su proceso de control de perdidas con esta evaluación el banco de pruebas cumple los rangos que pide la norma internacional (SIT/Tec-014/06, Revisión 0 (2006-04-03) Directrices para la calibración de pinzas amperimétricas).

3.4 Pruebas a las pinzas amperimétricas

Las pruebas a las pinzas amperimétricas se realizarán por medio del método indirecto, es el que utilizamos en nuestro banco de pruebas, donde generamos una corriente de 0 hasta rango de 5,5 amperios aproximadamente y se hará circular por la bobina que cuenta con 109 espiras.

Para la calibración de las pinzas amperimétricas por norma (SIT/Tec-014/06, Revisión 0 (2006-04-03) están definidos los puntos de medida y son recomendados para realizar una calibración completa, para precisar los puntos hay que tener en cuenta los principios de operación de las PA. En la siguiente Tabla 3 – 8 están definidos los puntos de calibración que deben ser considerados

para pinzas amperimétricas de corriente alterna según la norma (SIT/Tec-014/06, Revisión 0 (2006-04-03) Directrices para la calibración de pinzas amperimétricas).

Tabla 3-8: Puntos de calibración para pinzas.

Magnitud	Puntos de medición	
Intensidad de corriente alterna (40 Hz a 400 Hz)	10%, 90%	En todos los intervalos excepto uno intermedio.
	10%, 30%, 50%, 70%, 90%	En un intervalo intermedio

Fuente: Guía de calibración de pinzas amperimétricas. [15]

El valor del 10% indica un punto arbitrario situado al principio de la escala, el valor real puede variar hasta el 25% o 50%, con el objeto de que no se realice la calibración para un punto que se pueda medir en el rango inferior. [10]

El valor del 90% indica un punto arbitrario situado próximo del fondo de escala, el valor real puede variar del 80% al 95% del fondo de escala. No obstante, cuando se trata de un rango en el que se está comprobando la linealidad (midiendo cinco puntos en el mismo rango), los valores del 10%, y de 90% se deben entender en sentido estricto. [10]

De esta manera se concluyen las pruebas realizadas y se presentan las conclusiones y recomendación en el siguiente capítulo

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Con la elaboración de cada uno de los capítulos del presente libro se cumple con los objetivos propuestos y el objetivo general que era la diseño y construcción de un banco de pruebas para pinzas amperimétricas para la (EBSA). donde se tomó como la mejor técnica el uso de bobinas de corriente para la caracterizar las pinzas y poder evaluar su margen de error, que cumpliera con los parámetros según la norma establecida.
- Comparando los valores calculados en el diseño tanto para el transformador de tensión, como para las bobinas de corriente y los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se puede establecer que el banco cumple con los parámetros para poder caracterizar el error de las pinzas amperimétricas de la compañía.
- En las pruebas realizadas al transformador de tensión (reductor) se comprobó la relación de transformación del mismo donde se obtuvo un valor de 9 a 1 voltios y para las bobinas de corriente de 1 a 109 amperios y de esta manera lograr inducir una corriente máxima de 600 amperios en las bobinas de corriente y poder aplicar las pruebas dentro de los rangos establecidos en la norma (SIT/Tec-014/06, Revisión 0 (2006-04- 03) Directrices para la calibración de pinzas amperimétricas) de acuerdo a los porcentajes que exige la misma.
- Con las pruebas y resultados obtenidos se puede establecer que el banco de pruebas para PA puede ser utilizado en el laboratorio de ensayos y calibración de la EBSA para caracterizar el error de cada una de las pinzas amperimétricas de propiedad de la empresa.

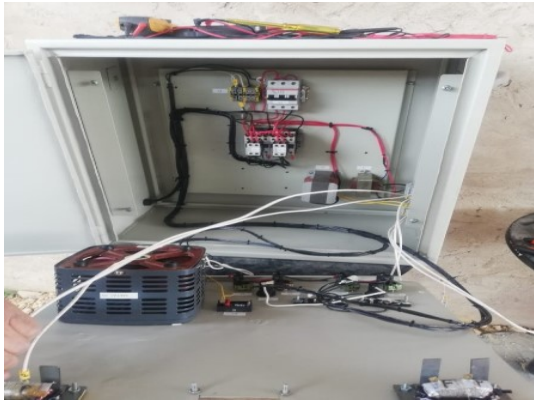
4.2 Recomendaciones

Como complemento de este trabajo se debe trabajar en un proyecto donde se establezca un estándar de calibración para pinzas amperimétricas y poder sacar mejor provecho del banco ya que en esta etapa solo se caracteriza el error absoluto de las pinzas amperimétricas y no se interviene en los demás parámetros.

Como acción de mejora se recomienda implementarle al banco de pruebas, un sistema digital para la inyección de tensión, desde el transformador variable (variac), al transformador reductor y de esta manera mejor la precisión del valor tensión requerido ya que este se hace de forma manual.

Por otro lado, también se recomienda que producto de las diferentes pruebas y ensayos que se realicen en el laboratorio de ensayos y calibración de la Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. (EBSA). con el banco de pruebas, se proponga su acreditación a futuro ante los entes encargados de esto como el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC.

A. Anexo registro fotográfico

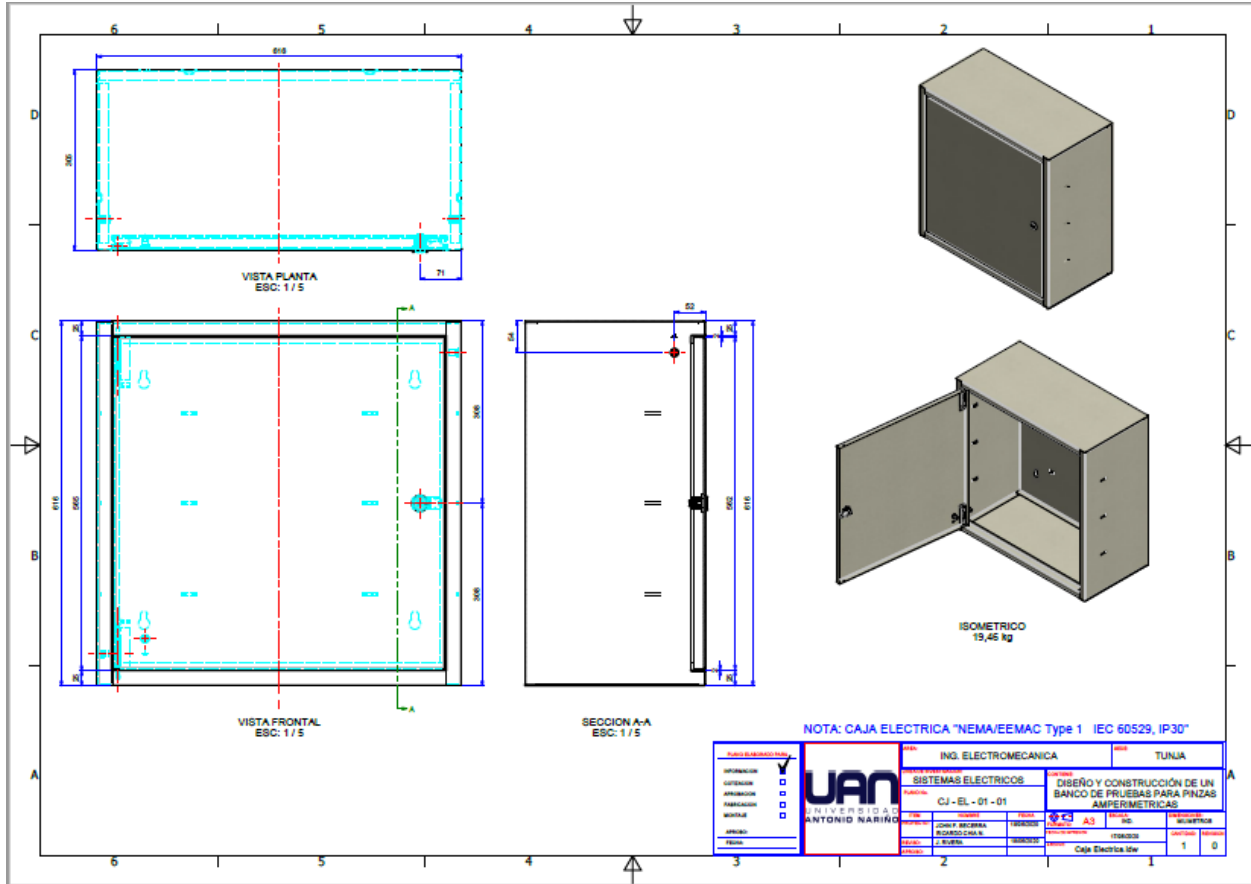
<p>Instalación variac</p>	<p>Instalación bobinas de corriente</p>
	
<p>Cableado del banco</p>	<p>Pruebas de tensión al transformador</p>
	
<p>Conexión de puesta a tierra del banco</p>	<p>Señalización del banco</p>
	
<p>Acabado final del banco</p>	<p>Pruebas a pinzas con el banco</p>



Fuente: Autores.

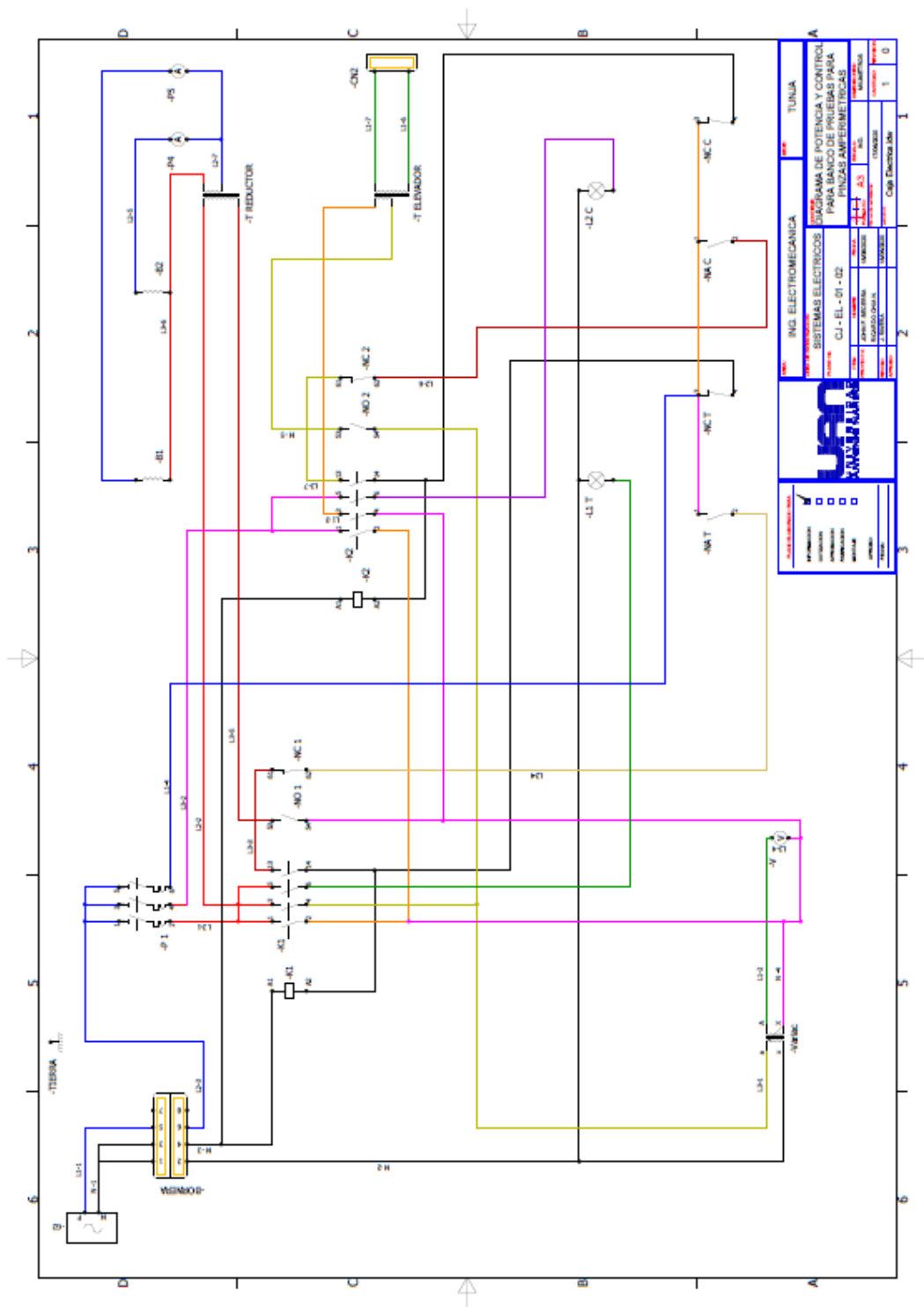
B. Anexo Planos

Plano modelo del gabinete



Fuente: Autores.

Diagrama unifilar del banco de pruebas



Fuente: Autores.

C. Anexo manual de usuario

El manual de usuario se anexo en documento a parte al presente libro.

D. Anexo matriz de identificación de peligros

PROCESO	ZONA/LUGAR	ACTIVIDADES	TAREAS	ROUTINARIA: SI o NO	PELIGRO		EFECTOS POSIBLES EN LA SALUD	CONTROLES EXISTENTES		
					DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN		FUENTE	MEDIO	INDIVIDUO
TOMA DE PRUEBAS	LABORATORIO	Armado, adecuación y prueba de funcionamiento en equipos	Adecuación banco de pruebas de pizas amperimétricas	SI	RESGO ELECTRICO Contactos indirectos en baja tensión por falata en el aislamiento durante el ensamble o averia de componentes por uso inadecuado.	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Quemaduras 1 er, 2do y 3 grado Asfña, reanización	Ninguno	Asiamiento	EPP
				SI	RESGO ELECTRICO Conatos o incendios tipo C, cortocircuitos o sobrecargas relacionados con equipo defectuoso en el ensamble u operación inadecuada del equipo.	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Quemaduras 1 er, 2do y 3 grado Asfña, reanización, muerte, daño a terceros	Ninguno		EPP
				SI	RESGO LOCATIVO Tendido y adecuación de redes de cableado y acometidas	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Cadras a mismo y diferente nivel, golpes, lesiones	Ninguno		
				SI	RESGO ELECTRICO Arco eléctrico en baja tensión por apertura o cierre de seccionadores con carga, malos contactos, entre otros, en red energizada (poco frecuente)	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Quemaduras 1 er, 2do y 3 grado Asfña, reanización, muerte, daño a terceros	Ninguno		EPP
				SI	RESGO ELECTRICO Contactos directos e indirectos en baja tensión por desempeño de la tarea en red energizada.	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Quemaduras 1 er, 2do y 3 grado Asfña, reanización, muerte, daño a terceros	Ninguno		EPP
				SI	RESGO ELECTRICO Contactos indirectos en baja tensión por averias en los equipos o extensiones, deterioro de los aislamientos en cables y herramientas o mala manipulación	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Quemaduras 1 er, 2do y 3 grado Asfña, reanización, muerte, daño a terceros	Ninguno		EPP
		Instalación de equipos y puntos eléctricos.	Instalación de tableros eléctricos.	SI	RESGO ELECTRICO Arco eléctrico en baja tensión por apertura o cierre de seccionadores con carga, malos contactos, entre otros, en red energizada (poco frecuente)	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Quemaduras 1 er, 2do y 3 grado Asfña, reanización, muerte, daño a terceros	Ninguno		EPP
		Mantenimiento de equipos	SI	RESGO ELECTRICO Contactos directos e indirectos en baja tensión por desempeño de la tarea en red energizada.	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Quemaduras 1 er, 2do y 3 grado Asfña, reanización, muerte, daño a terceros	Ninguno		EPP	
		Uso y operación de equipos con alimentación eléctrica en las actividades operativas	SI	RESGO ELECTRICO Contactos indirectos en baja tensión por averias en los equipos o extensiones, deterioro de los aislamientos en cables y herramientas o mala manipulación	CONDICIONES DE SEGURIDAD	Quemaduras 1 er, 2do y 3 grado Asfña, reanización, muerte, daño a terceros	Ninguno		EPP	

EVALUACIÓN DEL RIESGO					MEDIDAS DE INTERVENCIÓN							
NIVEL DE RIESGO	NIVEL DE RIESGO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NIVEL DE RIESGO	NIVEL DE RIESGO	INTERPRETACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO (NR)	VALORACIÓN DEL RIESGO	ELIMINACIÓN	SUSTITUCIÓN	CONTROLES DE INGENIERIA	CONTROLES ADMINISTRATIVOS, SEÑALIZACIÓN,	EQUIPOS / ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	
2	3	6	Medio	25	150	II Corregir y adoptar medidas de control inmediato. Sin embargo, suspender actividades si el nivel de consecuencia está por encima de 60.	No Aceptable				Análisis trabajo Seguro(ATS), capacitación riesgo eléctrico	Uso de EPP: guantes aislantes de electricidad, pantalallas faciales, calzado aislante de electricidad
6	3	6	Medio	100	600	I Situación crítica. Suspender actividades hasta que el riesgo esté bajo control. Intervención urgente.	No Aceptable				Análisis trabajo Seguro(ATS), capacitación riesgo eléctrico	Uso de EPP: guantes aislantes de electricidad, pantalallas faciales, calzado aislante de electricidad
2	4	6	Medio	10	60	III Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.	Aceptable				Análisis trabajo Seguro(ATS), capacitación riesgo eléctrico	Uso de EPP: guantes aislantes de electricidad, pantalallas faciales, calzado aislante de electricidad
2	3	8	Medio	25	200	II Corregir y adoptar medidas de control inmediato. Sin embargo, suspender actividades si el nivel de consecuencia está por encima de 60.	No Aceptable				Análisis trabajo Seguro(ATS), capacitación riesgo eléctrico	Uso de EPP: guantes aislantes de electricidad, pantalallas faciales, calzado aislante de electricidad
2	3	8	Medio	25	200	II Corregir y adoptar medidas de control inmediato. Sin embargo, suspender actividades si el nivel de consecuencia está por encima de 60.	No Aceptable				Análisis trabajo Seguro(ATS), capacitación riesgo eléctrico	Uso de EPP: guantes aislantes de electricidad, pantalallas faciales, calzado aislante de electricidad
2	3	10	Alto	25	250	II Corregir y adoptar medidas de control inmediato. Sin embargo, suspender actividades si el nivel de consecuencia está por encima de 60.	No Aceptable				Análisis trabajo Seguro(ATS), capacitación riesgo eléctrico	Uso de EPP: guantes aislantes de electricidad, pantalallas faciales, calzado aislante de electricidad

Bibliografía

- [1] P. Alcalde San Miguel, *Electrotecnia*, 5.^a ed. España: Paraninfo, 2012.
- [2] «El ABC de las pinzas amperimétricas». <https://www.fluke.com/es-co/informacion/blog/sonda-tipo-pinzas/el-abc-de-las-pinzas-amperimetricas> (accedido abr. 28, 2020).
- [3] «¿Qué es una pinza amperimétrica?» <https://www.fluke.com/es-co/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-herramientas-de-prueba/pinzas-amperimetricas/que-es-una-pinza-amperimetrica> (accedido abr. 09, 2020).
- [4] «Tipos de pinzas amperimétricas.» [En línea]. Disponible en: <https://www.fluke.com/es-co/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-herramientas-de-prueba/pinzas-amperimetricas/tipos-de-pinzas-amperimetricas>.
- [5] «Interior de la pinza amperimétrica de transformador de corriente (CA)». <https://www.fluke.com/es-co/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-herramientas-de-prueba/pinzas-amperimetricas/interior-de-la-pinza-amperimetrica-de-transformador-de-corriente-ca> (accedido abr. 09, 2020).
- [6] D. J. S. Díaz, *UF1445 - Realización de las intervenciones necesarias para el mantenimiento de las instalaciones eléctricas en el entorno de edificios y con fines especiales*. Editorial Elearning, S.L., 2015.
- [7] R. C. Dorf y J. A. Svoboda, *Circuitos eléctricos*, 8.^a ed. México, D.F.: Alfaomega, 2014.
- [8] R. L. Boylestad, *Introducción al análisis de circuitos*, 10.^a ed. Pearson Educación, 2004.
- [9] A. Creus Solé, *Instrumentación industrial*, 8.^a ed. México, D.F.; Barcelona: Alfaomega ; Marcombo, 2011.
- [10] «PROCEDIMIENTO EL- 007 PARA LA CALIBRACIÓN DE PINZAS AMPERIMÉTRICAS.»
- [11] Á. Robbins y W. Miller, *Análisis de circuitos*. Cengage Learning Editores, S.A. De C.V., 2010.
- [12] S. J. Chapman, A. Santana Díaz, y C. Rodríguez Pérez, *Máquinas eléctricas*. México: McGraw-Hill, 2012.
- [13] Zetina C, Angel, Zetina M, y Angel, *Electronica basica*. México: Limusa, 2006.
- [14] M. Á. Pulido, *Transformadores: Cálculo fácil de transformadores y autotransformadores monofásicos y trifásicos de baja tensión*. Marcombo, 2009.
- [15] «Guia_de_calibracion_de_pinzas_amperimetricas2019.pdf». Accedido: abr. 13, 2020. [En línea]. Disponible en: http://www.inm.gov.co/nueva/wp-content/uploads/2019/12/Guia_de_calibracion_de_pinzas_amperimetricas2019.pdf.