UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS DE RUTINA DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA UNCA

FRANCISCO JAVIER MARIN SANABRIA

Coronel Oviedo - Paraguay

Año 2023

DISEÑO DE UN LABORATORIO DE ENSAYOS DE RUTINA DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DE LA UNCA

Elaborado por:

FRANCISCO JAVIER MARIN SANABRIA

Tutor

Ing. Gustavo Adolfo Gayoso García

Cotutor

Ing. Agustín Junior Vera Godoy

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Electricidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
Coronel Oviedo - Paraguay
Año 2023

Usted es libre de:

- **Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato**
- **Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material**

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.**
- **NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electricista aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

Calificación final: ____(Números)

_____ (Letras)

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Acta:

Fecha:

Calificación:

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen.

A mi madre Catalina Aided Sanabria que está en el cielo.

A mi padre Leonor Marín por acompañarme en todo el camino.

A mis hermanos Néstor, Liz y Gricelda Marin Sanabria por ayudarme siempre y en todo momento.

A mi novia Ruth Jacqueline Mosqueira por todo el apoyo demostrado.

Y a todos mis familiares y amigos que estuvieron conmigo en todo el trayecto para lograr culminar esta carrera.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ciencias y Tecnologías y los docentes.

A mi tutor Ing. Gustavo Gayoso y Cotutor Ing. Agustín Vera.

RESUMEN

Este proyecto final de grado consiste en el diseño de un laboratorio de ensayos de rutina de transformadores de distribución monofásicos y trifásicos con una potencia aparente de hasta 500 kVA para la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA.

Primeramente, se revisaron la normativa referente a ensayos de rutina que se utiliza en nuestro país, actualmente la ANDE exige en sus especificaciones técnicas de transformadores para su aprobación el cumplimiento de la norma NBR 5356-1 2007 para ensayos eléctricos y ASTM D877 para ensayos al aceite dieléctrico.

Una vez revisada la norma NBR 5356-1 y ASTM D877 se describe brevemente en que consiste cada ensayo de rutina para transformadores de distribución.

Se seleccionaron equipos normalizados necesarios para cada uno de los ensayos de rutina, detallando sus características y especificaciones técnicas.

Seguidamente se elaboró una guía de procedimientos de ensayos para que los alumnos puedan usarlo para realizar los ensayos de rutina.

Por último, se realizó el diseño arquitectónico, eléctrico y luminotécnico teniendo en cuenta parámetros técnicos y de seguridad. Finalizando con un presupuesto del laboratorio de ensayos, describiendo cada uno de los costos asociados al proyecto.

ABSTRACT

This final degree project consists of the design of a laboratory for routine testing of single-phase and three-phase distribution transformers with an apparent power up to 500 kVA for the Faculty of Sciences and Technologies of the UNCA.

First of all, the regulations regarding routine tests used in our country were reviewed. Currently, ANDE requires compliance with NBR 5356-1 2007 for electrical tests and ASTM D877 for dielectric oil tests in its technical specifications for transformers to be approved for national use.

After reviewing the NBR 5356-1 and ASTM D877 standards, a brief description of each routine test for distribution transformers is given.

Standardized equipment necessary for each of the routine tests was selected, detailing its characteristics and technical specifications.

Next, a test procedure guide was prepared so that students could use it to perform the routine tests.

Finally, the architectural, electrical and lighting design was made considering technical and safety parameters. Finally, a budget for the testing laboratory was prepared, describing each of the costs associated with the project.

ÍNDICE

MARCO TEÓRICO - ANTECEDENTES 1
JUSTIFICACIÓN 3
Objetivos (general y específicos) 4
Objetivo General 4
Objetivos Específicos 4
METODOLOGÍA 5
Normas técnicas de ensayos de rutina a transformadores de distribución 5
1. Ensayos de rutina 5
1.1. Medición de la resistencia de los devanados 6
1.2. Medida de la relación de transformación, polaridad y verificación del desplazamiento angular y secuencia de fase 7
1.3. Medida de impedancia de cortocircuito y pérdidas de carga 7
1.4. Medición de pérdidas sin carga y corriente de excitación 8
1.5. Ensayos del cambiador de tomas bajo carga 9
1.6. Resistencia de aislamiento 10
1.7. Estanqueidad y resistencia a la presión 10
1.8. Ensayos de aceite mineral aislante 10
1.9. Ensayo de tensión soportada a frecuencia industrial (tensión aplicada) 11
1.10. Ensayo de tensión inducida de corta duración 12
1.11. Tolerancias para las características eléctricas 14
2. Especificaciones técnicas del equipamiento para el desarrollo de los ensayos de rutina a transformadores de distribución seleccionados 15
2.1. Equipo de ensayo de transformadores 15
Características y especificaciones 16
Instrumentación 18
Capacidad de ensayo del TTS-35 19
2.2. Equipo para el ensayo de resistencia de aislamiento 19
Características y Especificaciones 20
2.3. Equipo para el ensayo de relación de transformación 21
Características y Especificaciones 21
2.4. Equipo para el ensayo de relación de polaridad 22
2.5. Equipo para el ensayo de medición de resistencia 22

Características y Especificaciones 23
2.6. Equipo para el ensayo de tensión aplicada 24
Características y Especificaciones 25
2.7. Equipo para ensayo de tensión inducida de corta duración 25
Especificaciones del Motor Trifásico 26
Especificaciones del Generador síncrono 26
Especificaciones del variador de tensión 26
2.8. Equipo para ensayo de rigidez eléctrica 26
Características y Especificaciones 27
2.9. Equipo para ensayo de estanqueidad 28
Características y Especificaciones 28
3. Procedimiento para ensayos de rutina de transformadores de distribución 30
3.1. Procedimiento para ensayo de impedancia de cortocircuito y pérdidas de carga 30
3.2. Procedimiento para ensayo de medición de pérdidas en vacío 32
3.3. Procedimiento para ensayo de relación de transformación 33
3.4. Procedimiento de medición de polaridad 34
3.5. Procedimiento de medición de secuencia de fase 35
3.6. Procedimiento de medición de la resistencia del aislamiento 35
3.7. Procedimiento para ensayo de resistencia de devanado 38
3.8. Procedimiento para el ensayo de tensión aplicada 39
3.9. Procedimiento para ensayo de tensión inducida 41
3.10. Procedimiento para ensayo estanqueidad 43
3.11. Procedimiento para el ensayo de rigidez dieléctrica 43
4. Diseño de laboratorio de ensayos de rutina 44
4.1. Ubicación del Laboratorio 44
4.2. Descripción del Laboratorio 45
4.3. Jaula de Faraday 45
4.3.1. Dimensiones del transformador a Ensayar 46
4.3.2. Distancia de seguridad 47
4.3.3. Material de la Jaula 48
4.4. Cálculo del sistema de iluminación 48
4.5. Dimensionamiento de circuito eléctricos 51
4.5.1. Dimensionamiento de circuito para equipo de ensayo de vacío y cortocircuito 51
4.5.2. Dimensionamiento de circuito para equipo de ensayo de tensión inducida (Set Motor-Generador) 51
4.5.3. Dimensionamiento de circuito para equipo de ensayo de tensión aplicada 52

4.5.4. Dimensionamiento de circuito para equipo de ensayo de estanqueidad 52

4.5.5. Dimensionamiento de Tablero de Equipos de Ensayo 53

ANÁLISIS ECONÓMICO 55

Presupuesto del laboratorio de ensayos de rutina de transformadores 55

Costos de equipos de ensayo 55

Costo de montaje e instalación 56

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS 57

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58

BIBLIOGRAFÍA 59

ANEXO 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo de ensayo de transformadores TTS. 16
Figura 2. Megómetro AEMC 5060. 20
Figura 3. Equipo AEMC 8510. 21
Figura 4. Equipo AEMC 6255. 23
Figura 5 Equipo de ensayo de tensión aplicada ATO-HTGTB. 24
Figura 6. Equipo OC60P-DI. 27
Figura 7.Conexionado de los terminales de baja tensión para el ensayo de pérdidas. . 32
Figura 8. Conexionado de terminales de alta tensión al TTS35. 32
Figura 9. Conexionado de terminales de baja tensión para ensayo de vacío. 33
Figura 10. Esquema de conexión para ensayo de relación de transformación. 34
Figura 11. Conexionado de terminales de alta y baja tensión para ensayo de resistencia aislamiento. 37
Figura 12. Conexionado para la medición de resistencia de alta contra baja tensión más tierra. 37
Figura 13. Conexionado para la medición de resistencia de baja tensión más tierra. ... 37
Figura 14. Preparación de transformador a ensayar. 40
Figura 15. Conexión de equipo de prueba. 40
Figura 16. Circuito de ensayo de voltaje aplicado. 41
Figura 17. Conexión para el ensayo de tensión inducida 42
Figura 18. Celda de ensayo OC-TC. 43
Figura 19. Ubicación del laboratorio de ensayo de transformadores. 45
Figura 20. Plano del transformador de 500Kva según EE.TT: de la ANDE. 46
Figura 21. Vista 3D de la Jaula de Faraday. 47
Figura 22. Dimensiones de la Jaula de Faraday 47
Figura 23. Isolíneas de iluminancia en el Laboratorio de ensayos. 49
Figura 24. Isolíneas de iluminancia en el área de trabajo 1. 50
Figura 25. Isolíneas de iluminancia en el área de trabajo 2. 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores para ensayo de estanqueidad y resistencia a la presión. 10
Tabla 2. Características del aceite mineral aislante. 11
Tabla 3. Tensiones soportables nominales para transformadores con devanados con tensión máxima Um ≤170 kV Serie I, conforme ABNT NBR 6939. 13
Tabla 4. Tensiones soportables nominales para los devanados de un transformador con tensión máxima Um ≤169 kV Serie II, conforme norma americana. 14
Tabla 5.Tolerancias en transformadores monofásicos y trifásicos [6] [5]. 15
Tabla 6. Capacidad de ensayo del equipo TTS-35. 19
Tabla 7. Especificaciones técnicas del Megómetro AEMC 5060. 20
Tabla 8. Especificaciones técnicas del equipo DTR 8510. 22
Tabla 9. Especificaciones técnicas del Micro-Ohmmetro 6255. 24
Tabla 10. Especificaciones técnicas del transformador Hipot 50 kV. 25
Tabla 11. Especificaciones técnicas del motor trifásico para ensayo de tensión inducida. 26
Tabla 12. Especificaciones técnicas del generador síncrono para ensayo de tensión inducida. 26
Tabla 13. Especificaciones técnicas del equipo de ensayo dieléctrico de aceite. 28
Tabla 14. Factor de corrección "K" 36
Tabla 15. Cuadro de carga del Tablero de Equipos de Ensayo. 53
Tabla 16. Cuadro de carga del Tablero de iluminación, tomacorriente y A.A. 54
Tabla 17. Resumen de costos del proyecto Laboratorio de ensayos de rutina. 55
Tabla 18. Resumen de costos de equipos de ensayo. 55
Tabla 19. Resumen de costo de la jaula de Faraday 56

MARCO TEÓRICO - ANTECEDENTES

En 2013 **Luis A. Vásquez Restrepo** [1] en su trabajo de titulación **"Diseño de un laboratorio de pruebas eléctricas para transformadores de distribución de la empresa R.V.R. Transformadores"** presentó el diseño para un laboratorio de pruebas de transformadores de la empresa R.V.R Transformadores, el mismo permitió tener un documento base para la construcción de un laboratorio para ensayos de rutina de transformadores de hasta 500 kVA clase 25 kV cumpliendo con las normativas nacionales NTE INEN 2 e internacionales como el estándar IEEE. Se dimensionaron los equipos necesarios en función de cada ensayo para obtener el óptimo aprovechamiento de los recursos económicos, técnicos y de seguridad. Teniendo en cuenta los parámetros técnicos y de seguridad, se procedió con el dimensionamiento del espacio requerido para la ejecución de los ensayos, el diseño de la jaula de protección, la malla de tierra y el sistema de protecciones tomando en cuenta criterios como distancias mínimas de seguridad y facilidad para la operación.

En 2010 **Juan Pablo Cevallos Aleaga** [2] en su tesis **"Diseño de un laboratorio de pruebas para transformadores de distribución para la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.-LOJA"**, describió las pruebas que se realizan a los transformadores de distribución referidas a las normas NTE INEN, ANSI/IEEE, para las pruebas eléctricas y ASTM para las pruebas al aceite dieléctrico. El trabajo incluyó el diseño del laboratorio para las pruebas a transformadores de distribución para la EERSSA. Se eligió equipos normalizados para cada una de las pruebas, de acuerdo a las normas correspondientes, detallando sus características y las especificaciones técnicas. Finalizando el proyecto con un análisis económico, describiendo cada uno de los costos referentes a la realización de las pruebas.

En 2007 **Jorge D. Larramendia G.** y **Daniel M. Melgarejo B.** [3] en su tesis **"Diseño de un laboratorio para ensayos de rutina a transformadores y ensayos dieléctricos diversos clase 25 kV"** proyectaron un laboratorio de ensayos a transformadores de clase 25 kV, dicho laboratorio estaba constituido por un recinto con una sala de mandos y un patio de Ensayos; en este último, se ubicaron los equipos utilizados para las

simulaciones. Desde la sala de mandos, el operador tendría el control completo de la ejecución de los ensayos y de los parámetros, como el nivel de tensión, y el tiempo de duración el Ensayo.

Finalmente, el proyecto incluyó la documentación relacionada con criterios básicos de seguridad para el Laboratorio, modelos de relatorios de ensayos, y metodologías prácticas para la realización de los mismos, facilitando de esta manera, la interpretación de las Normas Técnicas.

En el año 2022 **Juan P. González R.** presento el **"Diseño de un laboratorio para práctica de sistemas de protecciones eléctricas de potencia basado en dispositivos programables utilizados en subestaciones de alta tensión para la FCyT de la UNCA"** [4]. Para el desarrollo de este proyecto se realizó el análisis de datos recabados de las subestaciones del sistema de transmisión centro de la ANDE, a partir del cual se identificaron los principales elementos del sistema de protección de los circuitos de alta tensión. Posteriormente se estudiaron las normativas que aborda laboratorios de electricidad a ser considerados durante el diseño, a partir del cual se han elaborado los criterios para la selección de los elementos del banco de práctica para el laboratorio y el software de simulación para facilitar la comprensión de conceptos relacionados a protecciones eléctricas en sistemas de potencia. A la luz de los criterios definidos se han seleccionado los elementos del laboratorio de prácticas con un dispositivo de protección de línea a través de un relé programable multifunción con soporte para la norma IEC-61850; un probador de relé relativamente económico pero que reúne las condiciones para el proyecto, un software de simulación con licencia de estudiante para el modelado de los circuitos eléctricos y demás elementos complementarios. Finalmente se ha elaborado un guía de práctica a ser utilizada en el laboratorio y un presupuesto del proyecto.

JUSTIFICACIÓN

Con la realización de este proyecto de fin de grado se pretende aportar a la facultad un proyecto de laboratorio de electricidad para ensayos de rutina de transformadores de distribución, lo cual permitirá aplicar los conocimientos previos teóricos adquiridos en las aulas de clase mediante prácticas de laboratorio.

El principal beneficiario de este proyecto será la Facultad de Ciencias y Tecnologías, ya que con ello podrá contar con un laboratorio de ensayos de rutina de transformadores de distribución, lo que permitirá mejorar el proceso de aprendizaje de sus alumnos en la materia de Maquinas Eléctricas I. De esta manera, también los alumnos serán beneficiados al tener la posibilidad de hacer sus prácticas de laboratorio o investigaciones en la institución, lo que a su vez despertará el interés de los mismos sobre las prácticas de laboratorio referido a transformadores, reduciendo a la vez la necesidad de realizar visitas técnicas para su realización.

Objetivos (general y específicos)

Objetivo General

- Proponer el diseño de un laboratorio de ensayos de rutina a transformadores de distribución para la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la UNCA.

Objetivos Específicos

- Investigar y seleccionar Normas técnicas a utilizar como referencia para el desarrollo de ensayos de rutina a transformadores de distribución.
- Seleccionar los ensayos de rutina a transformadores de distribución de acuerdo a la Norma adoptada
- Elaborar las especificaciones técnicas del equipamiento para el desarrollo de los ensayos de rutina a transformadores de distribución seleccionados.
- Elaborar un procedimiento para ensayos de rutina de transformadores de distribución seleccionados.
- Elaborar el diseño del laboratorio de ensayos de rutina de transformadores.
- Elaborar un presupuesto del laboratorio de ensayos de rutina de transformadores de distribución.

METODOLOGÍA

Normas técnicas de ensayos de rutina a transformadores de distribución

A partir de la revisión bibliográfica y de las visitas realizadas a la empresa TRAFOSUR S.A. se pudo identificar las normas utilizadas para la realización de los ensayos de rutina a transformadores de distribución de acuerdo a lo solicitado por las empresas o terceros. La norma más utilizada es la Norma Brasilera NBR 5356-1 sobre transformadores de potencia para los ensayos de rutina que se realizan a cada equipo construido dentro de la empresa para su posterior comercialización en el mercado paraguayo en especial a la Administración Nacional de Electricidad (ANDE).

Como la norma más utilizada como referencia por la empresa a la hora de la fabricación, y la misma es solicitada por la ANDE para la construcción de los transformadores de distribución, la Norma NBR 5356 servirá como norma de referencia

1. Ensayos de rutina

Los ensayos de rutina son ensayos realizados a todas las unidades producidas por el fabricante con la finalidad de demostrar el correcto funcionamiento del equipo, según la norma ABNT NBR 5356-1: 2007 son las siguientes [5]:

a) medición de la resistencia de los devanados;

b) medición de la relación de transformación y polaridad y verificación del desplazamiento angular y secuencia de fase;

c) medición de impedancia de cortocircuito y pérdidas de carga;

d) medición de pérdidas sin carga y corriente de excitación;

e) ensayos dieléctricos de rutina;

f) ensayos del cambiador de tomas en carga, cuando corresponda;

g) medición de la resistencia de aislamiento;

h) estanqueidad y resistencia a la presión, temperatura caliente en transformadores subterráneos de cualquier potencia nominal y temperatura ambiente en otros transformadores con potencia nominal igual o superior a 750 kVA;

Los ensayos de estanqueidad y resistencia a la presión de los transformadores no incluidos en este párrafo son por muestreo y por acuerdo entre el fabricante y el comprador;

i) verificar el funcionamiento de los accesorios;

j) ensayos de aceite aislante para transformadores con tensión nominal de 72,5 kV o potencia de 5 MVA;

- rigidez dieléctrica (ASTM D877);
- contenido de agua;
- factor de pérdida dieléctrica o factor de disipación;
- tensión interfacial;

k) comprobar el espesor y la adherencia de la pintura en el exterior de los transformadores con Um 242 kV;

Según Especificaciones Técnicas de la ANDE también se deben realizar los siguientes ensayos [6] [7]:

- Ensayo de tensión soportada a frecuencia industrial (tensión aplicada) (Cláusula 11, NBR 5356-3 y Anexo E.10.1.1, NBR 5356-1): Este ensayo debe ser realizado en el arrollamiento primario y en el arrollamiento secundario, con los valores de tensión establecidos en estas Especificaciones;
- Ensayo de tensión inducida de corta duración (Clausula 12.2.1, NBR 5356-3): Se debe aplicar una tensión en el arrollamiento primario con el valor dentro del rango establecido en estas Especificaciones.

1.1. Medición de la resistencia de los devanados

Generalidades

Se debe registrar la resistencia de cada devanado, los terminales entre los cuales se mide y la temperatura de los devanados. La medida debe realizarse en corriente continua.

La resistencia eléctrica de los devanados debe medirse en la toma correspondiente a la tensión más alta. El comprador debe indicar los cables adicionales para los que el fabricante debe medir la resistencia.

En todas las mediciones de resistencia, se debe tener cuidado de mantener al mínimo los efectos de autoinducción.

Transformadores de tipo seco

Antes de cada medida, el transformador debe permanecer desenergizado por lo menos 3 horas y en reposo a temperatura ambiente.

La resistencia del devanado y la temperatura deben medirse simultáneamente. La temperatura del devanado debe medirse utilizando sensores ubicados en posiciones representativas, preferiblemente dentro de los devanados, por ejemplo, en un pozo o canal entre los devanados de alta y baja tensión.

Transformadores sumergidos en aceite

Deje el transformador con aceite desenergizado durante al menos 3 horas, luego determine la temperatura promedio del aceite y considere que la temperatura del devanado es igual a la temperatura promedio del aceite. La temperatura promedio del aceite se toma como el promedio de las temperaturas del aceite en las partes superior e inferior del tanque (parte superior e inferior del tanque).

Al medir la resistencia al frío con el fin de determinar el aumento de temperatura, se deben realizar esfuerzos especiales para determinar con precisión la temperatura promedio del devanado. Por lo tanto, la diferencia entre las temperaturas del aceite superior e inferior debe ser pequeña. Para obtener este resultado más rápidamente, se puede hacer circular el aceite mediante una bomba.

1.2. Medida de la relación de transformación, polaridad y verificación del desplazamiento angular y secuencia de fase

La relación de transformación se mide en cada derivación. Se debe comprobar la polaridad de los transformadores monofásicos y el esquema de conexión de los transformadores trifásicos.

1.3. Medida de impedancia de cortocircuito y pérdidas de carga

La impedancia de cortocircuito y las pérdidas de carga para un par de devanados deben medirse a la frecuencia nominal, aplicando una tensión prácticamente sinusoidal a los terminales de un devanado y manteniendo en cortocircuito los terminales del otro devanado. Los demás devanados, si los hubiere, deben estar en circuito abierto La corriente de alimentación debe ser al menos igual al 50% de la corriente nominal (corriente de derivación). Las mediciones deben realizarse rápidamente para que los

aumentos de temperatura no introduzcan errores significativos. La diferencia de temperatura del aceite entre las partes superior e inferior del tanque debe ser lo suficientemente pequeña para permitir la determinación de la temperatura promedio con la precisión requerida. Si el sistema de enfriamiento es OF o OD, se puede hacer circular el aceite usando una bomba.

El valor de pérdida de carga medido debe multiplicarse por el cuadrado de la relación entre la corriente nominal (corriente de derivación) y la corriente utilizada en el ensayo. El valor obtenido debe corregirse a la temperatura de referencia. Las pérdidas por efecto Joule I^2R (R siendo la resistencia corriente continua) varían según la resistencia del devanado y las demás pérdidas son inversamente proporcionales a la resistencia.

La impedancia de cortocircuito está representada por una reactancia y una resistencia en corriente alterna en serie. El valor de la impedancia debe corregirse a la temperatura de referencia, asumiendo que la reactancia es constante y que la resistencia en corriente alterna calculada a partir de las pérdidas de carga varía como se ve arriba.

Para transformadores con devanado de derivación con rango de derivación > ± 5 %, la impedancia de cortocircuito debe medirse en la derivación principal y en las derivaciones extremas.

Para transformadores de tres devanados, las mediciones se realizan para los tres pares de devanados. Los resultados se recalculan considerando las impedancias y pérdidas de cada devanado. Las pérdidas totales para casos específicos de carga de devanados se determinan en consecuencia.

1.4. Medición de pérdidas sin carga y corriente de excitación

Las pérdidas en vacío y la corriente de excitación se medirán en uno de los devanados a la frecuencia nominal y con una tensión igual a la tensión nominal, si el ensayo se realiza en la toma principal, o igual a la tensión de toma adecuada, si se realiza el ensayo en otra derivación. Los devanados restantes deben dejarse en circuito abierto y cualquier devanado que pueda conectarse en triángulo abierto debe estar en triángulo cerrado.

El transformador debe estar aproximadamente a la temperatura ambiente de fábrica.

Para un transformador trifásico, la elección del devanado y la conexión a la fuente de alimentación de ensayo debe hacerse de tal forma que permita que las tensiones en las tres fases sean lo más simétricas y sinusoidales posible.

La tensión de ensayo debe ajustarse con un voltímetro que mida el valor promedio de la tensión, pero que esté graduado para dar el valor efectivo de una tensión sinusoidal con el mismo valor promedio. El valor leído por este voltímetro es U'.

Al mismo tiempo, se debe conectar un voltímetro que mida el valor RMS de la tensión en paralelo con el voltímetro de valor medio, y la tensión U que indica que debe registrarse.

Cuando se ensaya un transformador trifásico, los voltajes deben medirse entre las terminales de fase si se energiza un devanado en triángulo y entre las terminales de fase y neutral si se energiza un devanado YN o ZN.

La forma de onda del voltaje de ensayo es satisfactoria si U' y U son iguales con una desviación máxima del 3%.

Las pérdidas sin carga medidas son P_m y las pérdidas en vacío corregidas se toman iguales a:

$P_o = P_m (1+d)$

$d = \frac{U'-U}{U'}$ (Habitualmente negativo)

Si la diferencia de lecturas entre los voltímetros es superior al 3%, se deberá consensuar la validez del ensayo.

El valor efectivo de la corriente de excitación y el valor de las pérdidas se miden simultáneamente. Para un transformador trifásico se toma la media de los valores trifásicos.

1.5. Ensayos del cambiador de tomas bajo carga

Con el cambiador de tomas completamente montado en el transformador, se debe realizar la siguiente secuencia de operaciones sin fallas:

a) ocho ciclos completos de operación, con el transformador desenergizado (un ciclo de operación va de un extremo del rango de toma al otro extremo, regresando después);

b) un ciclo completo de operación, con el transformador desenergizado, con el 85% de la tensión nominal de alimentación de los auxiliares;

c) un ciclo completo de operación con el transformador energizado, sin carga, a la tensión y frecuencia nominales;

d) con un devanado en cortocircuito y con la corriente lo más cercana posible a la corriente nominal en el devanado derivado, diez operaciones de cambio de toma entre

dos pasos a cada lado de la posición donde opera el selector de inversión de toma, u otra forma alrededor de la derivación central.

1.6. Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento debe medirse antes de los ensayos dieléctricos. Este ensayo no es un criterio para la aprobación o rechazo del transformador.

1.7. Estanqueidad y resistencia a la presión

Este ensayo debe realizarse antes del inicio o después del final de los ensayos dieléctricos. Si se realiza el análisis cromatográfico de los gases disueltos en el aceite aislante, el ensayo debe realizarse antes de tomar la primera muestra o después de tomar la muestra que sigue a los ensayos dieléctricos. Los transformadores deberán soportar las presiones manométricas de ensayo especificadas en la Tabla 1, durante el tiempo especificado en esta misma Tabla.

Tabla 1. Valores para ensayo de estanqueidad y resistencia a la presión.

Tipo de transformador	**Presión manométrica** (MPa)	**Tiempo de Aplicación** (horas)
Sellado con colchón de gas	0.07	1
Relleno completo sellado	0.01	1
Sin sellar, con tensión máxima de equipo superior a 72,5 kV o potencia nominal superior a 10 MVA	0.05	24
Sin sellar, con tensión máxima del equipo inferior a 72,5 kV o potencia nominal inferior a 10 MVA	0.03	24

1.8. Ensayos de aceite mineral aislante

Los criterios de aceptación para el aceite mineral aislante, después del contacto con el equipo, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características del aceite mineral aislante.

Características			**Método de ensayo**	**Unidad**	**Valores garantizado**	
					Mínimo	**Máximo**
Tensión interfacial a 25°C			NBR ABNT 6234	mN/m	40	-
Contenido de agua		Un< 72,5 Kv	NBR ABNT 5755			25
		Un>72,5 Kv				15
Resistencia dieléctrica		Un< 72,5 kV	NBR ABNT 6869	KV	30	
		Un<72,5 Kv	NBR ABNT IEC 60156		50	
		Un>72,5 kV			70	
Factor de pérdida dieléctrica o factor de disipación	a 100°C	Un< 72,5 kV	ASTM D924	%	-	0,9
		Un> 72,5 kV			-	0,6
	a 90°C	Un< 72,5 kV	IEC 60247		-	0,7
		Un> 72,5 kV			-	0,5

1.9. Ensayo de tensión soportada a frecuencia industrial (tensión aplicada)

Se debe realizar un ensayo de tensión aplicada con la tensión monofásica lo más próxima posible a la sinusoidal, con una frecuencia no inferior al 80% de la frecuencia nominal [8].

Se debe medir el valor de voltaje pico. Este valor dividido por $\sqrt{2}$ debe ser igual al valor de ensayo [8].

Inicialmente, se debe aplicar un voltaje de no más de un tercio del voltaje de ensayo especificado. A continuación, se debe elevar el voltaje al valor de ensayo tan rápido como sea compatible con la lectura correcta de los instrumentos. Al final del ensayo, la tensión se reducirá rápidamente a un valor inferior a un tercio del valor ensayo y apagado. Para devanados con aislamiento progresivo (no uniforme), el ensayo debe realizarse con la tensión de ensayo correspondiente a la terminal neutra y luego las terminales de línea se someten a el ensayo de tensión inducida modificada [8].

La tensión de ensayo debe aplicarse durante 60 segundos entre todos los terminales interconectados del devanado bajo ensayo y todos los terminales de los demás devanados, núcleo, tanque y otras partes metálicas conectadas y puestas a tierra.

El ensayo se considera satisfactoria si el voltaje de ensayo no colapsa [8].

1.10. Ensayo de tensión inducida de corta duración

Generalidades

Para tensiones U_m>72,5 kV, el ensayo de tensión inducida de corta duración se realiza normalmente con medida de descargas parciales. La medición de descargas parciales a lo largo de la duración del ensayo es una herramienta valiosa tanto para el proveedor como para el comprador. La aparición de descargas parciales durante el ensayo puede indicar una deficiencia en el aislamiento antes de que ocurra la falla. Este ensayo verifica el funcionamiento sin descargas parciales durante las condiciones de funcionamiento.

Se puede prescindir de la medición de descargas durante el ensayo de tensión inducida de corta duración. Esto debe estar claramente definido al hacer el pedido o en colocación de la orden.

Se debe aplicar un voltaje alterno a las terminales del devanado de un transformador. La forma de onda debe ser lo más sinusoidal posible y su frecuencia lo suficientemente superior a la nominal, para evitar la aparición de una corriente de excitación excesiva durante el ensayo.

Debe medirse el valor pico de la tensión inducida. Este valor dividido por $\sqrt{2}$ debe ser igual al voltaje de ensayo.

A menos que se especifique lo contrario en otras secciones, la duración del ensayo a la tensión especificada será de 60 s para cualquier frecuencia hasta el doble de la frecuencia nominal. Si la frecuencia de ensayo es superior al doble de la frecuencia nominal, la duración del ensayo será:

$120 \times \frac{frecuencia\ nominal}{frecuencia\ de\ ensayo}\ s$ (No inferior a 15 s.)

Transformadores con $U_m \leq 72{,}5$ kV

La tensión de ensayo entre fases no debe exceder la tensión soportada nominal inducida de las Tabla 3 o Tabla 4. Como regla general, la tensión de ensayo a través de un devanado sin tomas de un transformador debe ser lo más cercano posible al doble de la tensión nominal. Normalmente durante este ensayo no se realiza la medición de descargas parciales.

Inicialmente, se debe aplicar una tensión de no más de un tercio del voltaje de ensayo especificado, y luego se debe aumentar la tensión al valor de ensayo tan rápido como sea compatible con las lecturas correctas del instrumento. Al final del ensayo, la tensión

debe reducirse rápidamente a un valor inferior a un tercio del valor de ensayo y su fuente debe apagarse.

El ensayo es considerado satisfactorio si no hay colapso de la tensión de prueba.

Tabla 3. Tensiones soportables nominales para transformadores con devanados con tensión máxima Um ≤170 kV Serie I, conforme ABNT NBR 6939.

Tensión máxima para equipamiento Um kV (eficaz)	Tensión soportable a impulso atmosférico kV (cresta)	Tensión inducida de corta duración o tensión soportable a frecuencia industrial kV (eficaz)
0,6 (nota 1)	-	4
1,2	30	10
3,6	20	10
	40	
7,2	40	20
	60	
12	60	28
	75	
	95	
15	95	34
	110	
17,5	75	38
	95	
24	95	50
	125	
	145	
36	145	70
	170	
	200	
NOTA 1 El nivel de aislamiento correspondiente a Um= 0,6 kV solo es aplicable al lado de baja tensión del transformador cuyo lado de alta tensión Um es Superior a 1 kV		

Tabla 4. Tensiones soportables nominales para los devanados de un transformador con tensión máxima Um ≤169 kV Serie II, conforme norma americana.

Tensión máxima de equipamiento Um kV (eficaz)	Tensión soportable normal a impulso atmosférico kV (pico)		Tensión inducida de corta duración o tensión soportable a frecuencia industrial kV (eficaz)	
	Transformadores de distribución clase I	Transformadores clase II	Transformadores de distribución clase I	Transformadores clase II
15	95	110	34	34
26,4	125	-	40	-
36,5	200	200	70	70
48,3	200	200	70	70
	250	250	95	95
NOTA 1 Transformadores de distribución transfiere energía del circuito de distribución primario al circuito secundario. NOTA 2 Transformadores clase I incluyen devanados de Um≤ 72,5 kV NOTA 3 Transformadores clase II incluyen devanados de Um≥ 121 kV				

NOTA

Transformadores con Um ≤ 36,2 kV, con devanados con terminal conectado internamente, incluso con aislamiento uniforme, se ensayarán como si tuvieran aislamiento progresivo. En este caso, el ensayo debe realizarse con una frecuencia superior a 196 Hz y una duración de 7200 ciclos. El transformador debe estar excitado para obtener 3,46 Un+1000 V en el devanado de alta tensión. Donde Un es la tensión nominal del devanado. El valor de la tensión debe ser limitado a 50 kV.

1.11. Tolerancias para las características eléctricas

Una vez realizadas las pruebas de rutina los valores obtenidos deben cumplir con las siguientes tolerancias especificadas en la Tabla 5 según EE.TT. 04.14.14 para transformadores trifásicos [7] y según EE.TT. 04.13.25 para transformadores monofásicos [6].

Tabla 5.Tolerancias en transformadores monofásicos y trifásicos [7] [6].

Característica eléctrica	Tolerancia individual para valores de cada unidad ensayada	Tolerancia para el valor promedio de las unidades ensayadas del lote (muestra)
Impedancia de cortocircuito	± 7,5 %	± 7,5 %
Pérdidas en vacío	+ 10%	+ 0%
Pérdidas en carga	+ 6%	+ 0%
Relación de transformación	± 0,5 %	± 0,5 %
Corriente en vacío	+ 20%	+ 0%
Factor de disipación del aislamiento (factor de potencia) @ 20 °C	+ 20%	+ 0%

2. Especificaciones técnicas del equipamiento para el desarrollo de los ensayos de rutina a transformadores de distribución seleccionados

2.1. Equipo de ensayo de transformadores

En esta sección se describe las funciones y características del equipo de ensayo de transformadores modelo TTS-35, diseñado para probar transformadores de distribución monofásicos y trifásicos según las especificaciones ANSI C57.12.90. Nos ayuda a verificar los datos de ensayo y diseño del fabricante antes de la instalación, después de la reparación o actualización, cuando ocurre un evento perturbador importante (ej. Una descarga de rayo) o para mantenimiento preventivo/predictivo de transformadores.

El TTS, consta de una fuente de alimentación variable, un transformador elevador y un paquete de medición de alta precisión controlado por un microprocesador industrial.

Su objetivo es proporcionar una referencia simplificada para los usuarios de este equipo, lo que permite el uso rápido, seguro y eficiente de las funciones de la unidad.

Figura 1. Equipo de ensayo de transformadores TTS.

Características y especificaciones

Las características estándar del equipo de ensayo de transformadores modelo TTS-35 incluyen:

• Disyuntores de potencia principal y de control.

• Interbloqueo de arranque cero.

• Interruptor tipo hongo de parada de emergencia.

• Dispositivos de protección de acción lenta y rápida en transformadores de potencia, reguladores, sistemas de medición y otros componentes críticos.

• Pulsadores Subir y Bajar con indicador Off Zero.

• Control motorizado de la tensión de salida con tasa de aumento ajustable.

• Selector de tomas motorizado con indicadores

• Vatímetro y voltímetro de rango automático con lectura directa.

• Sistema de medición de cuatro hilos para lecturas precisas.

• Selector de modo de ensayo con indicador.

• Voltímetros de respuesta RMS y PROMEDIO, mostrados simultáneamente.

• Provisión para circuito de seguridad externo con indicador.

• Calibración del sistema según NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, EE.UU.).

• Interruptor de pie.

• Luz de advertencia roja intermitente.

• Tomas empotradas para cables de salida.
• Disposiciones para montacargas y elevación aérea.

Las pruebas que se pueden realizar con el equipo de ensayo de transformadores modelo TTS-35 incluyen:
• Medición de la corriente de excitación.
• Pérdida de excitación (sin carga o pérdida de núcleo).
• Pérdida en el cobre (perdida con carga).
• Medición de temperatura (Heat Run)
Las pruebas que se pueden realizar con componentes adicionales son:
• Medición de resistencia de bobinado
• Ensayo de tensión inducida.
• Polaridad.
• Relación de transformación y desplazamiento de fases.
• Potencial aplicado (AC Hipot) Opcional.
Las dimensiones y peso aproximado del TTS-35 se detallan en la siguiente tabla:

Largo	Ancho	Alto
1,22 m.	1,52 m.	1,72 m.

El peso aproximado del equipo es de 975 kg.

Controles y Medición

El TTS utiliza controles asistidos por computadora. La interfaz hombre-máquina (HMI) permite la programación de funciones de automatización del equipo de prueba. Las sencillas instrucciones paso a paso guían al operador a través de cada procedimiento de prueba. Se proporcionan mapas de configuración para cada ensayo para reducir los costosos errores de conexión. El sistema calcula las pérdidas corregidas, la eficiencia, la regulación y el porcentaje de impedancia.
Todos los medidores de salida se muestran en la pantalla LCD. La adquisición de datos y la generación de informes de los resultados del ensayo se realizan a través de una computadora y el software de ensayo WIN TTS con todos los cables de interfaz necesarios incluidos. La HMI elimina una gran cantidad de relés y cableado de medidores, lo que aumenta la confiabilidad. Además de la base de datos de resultados de pruebas, el sistema está equipado con una base de datos de recetas que permite

recuperar una plantilla de ensayo ingresada anteriormente, lo que reduce el tiempo de ensayo y aumenta la eficiencia.

También se incluyen los modos de calibración y servicio. Todos los ajustes necesarios para la recalibración anual se realizan simplemente ajustando algunos números en el software. El modo de servicio asiste y simplifica el mantenimiento, y ayuda en el diagnóstico de componentes defectuosos en los casos excepcionales que pueden ser necesarios.

Instrumentación

El TTS tiene un sistema de medición basado en un microprocesador de alta precisión. Esto permite una medición precisa de la potencia de salida, las tensiones y las corrientes. La información medida se muestra en la interfaz HMI. Los valores mostrados en la interfaz HMI se realizan en función del controlador lógico programable (PLC). Se muestran las lecturas mediante los siguientes instrumentos:

Voltímetro

En seis displays de 5 dígitos se muestran lecturas True RMS y promedio simultáneamente.

La precisión es de ±0,5% de lectura +LSD.

Medidor de corriente

En tres displays de 5 dígitos se muestran lecturas True RMS en rangos de:

0-1,00/10,00/100,0/1000 A.

Precisión: ±0,5% de lectura +LSD.

En tres displays de 5 dígitos se muestran lecturas True RMS en rangos de:

0-20,00/200,0/2000 A.

Precisión: ±0.5% de lectura +LSD.

Vatímetro

±0,5 % de lectura +LSD a 1,0 pF.

±1,5 % de lectura +LSD a 0,3 pF.

±3,0 % de lectura +LSD a 0,1 pF.

Temperatura

Una pantalla de 4½ dígitos.

Rango: 10-120. 00°C.

Precisión: ±1°C.

Capacidad de ensayo del TTS-35

El TTS-35 está optimizado para transformadores de distribución que operan con tensiones menores a 34 kV. En la siguiente tabla se detallan las especificaciones.

Tabla 6. Capacidad de ensayo del equipo TTS-35.

Máxima capacidad de prueba*	Capacidad de ensayo continua	Tensiones del Transformador Step-Up						
kVA	[kVA]	1 240V**	2 300V**	3 480V**	4 600V**	5 1000V**	6 1600V**	7 2400V**
580	[290]	86[43]A	69[34]A	43[21]A	34[17]A	20[10]A	13[6]A	8[4]A

* Basado en una impedancia de transformador del 6,00 %, ciclo de trabajo de 5 min ENCENDIDO / 15 min APAGADO.

**Todos los voltajes de derivación se duplican durante el modo inducido opcional; ejemplo, la derivación de 0-2400 V se convierte en 0-4800 V durante el modo inducido.

Condiciones ambientales

El equipo TTS debe operar en las siguientes condiciones ambientales:

• 10-40°C, interior/exterior con buen tiempo.

• Humedad <95% sin condensación.

• Altitud <3300 pies (1000 metros).

2.2. Equipo para el ensayo de resistencia de aislamiento

El equipo utilizado para medir la resistencia de aislamiento se denomina: Megómetro. Este equipo puede ser analógico o digital, según las necesidades. Al igual que el ensayo de tensión aplicada sirve para determinar el estado de aislación de las bobinas entre sí, y de estas con la cuba y el núcleo.

Según las exigencias de la ANDE, las tensiones a aplicar en este ensayo son de:

Lado de alta tensión = 5000 Voltios (Tensión continua).

Lado de baja tensión = 1000 Voltios (Tensión continua).

El megómetro seleccionado es el AEMC 5060 que cumple con estas características.

Características y Especificaciones

El megómetro analógico/digital de la marca AEMC 5060, incluye el cálculo y presentación automáticas de la Relación de Absorción Dieléctrica (DAR), el Índice de Polarización (PI) y el valor de Descarga Dieléctrica (DD). El múltiplo de la relación PI puede, además, ser definido por el usuario.

Figura 2. Megómetro AEMC 5060.

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones técnicas del Megómetro AEMC 5060

Tabla 7. Especificaciones técnicas del Megómetro AEMC 5060.

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS	
Tensión de ensayo/escala **500V** **1000V** **2500V** **5000V**	 30kΩ a 2000GΩ 100kΩ a 4000GΩ 100kΩ a 10TΩ 300kΩ a 10TΩ
Tensión de ensayo. Seleccionable por el usuario	Programable: 40 a 1000V en pasos de 10V 1000 a 5100Ven pasos de 100V
Corriente de Corto Circuito	Circuito <1.6mA ± 5%
Duración del Ensayo Programable R(t)	1 a 60 minutos
Descarga Después del Ensayo	Automática
Ensayo de seguridad	0 a 1000 VCA/CC (16 a 420 Hz) 1 V de resolución
Tensión en el equipo a ensayar/bloqueo de ensayo	Sí, >25 V
Alimentación	Ocho NiMH baterías recargables Línea de potencia 85 a 256 VAC (50/60 Hz)
ESPECIFICACIONES MECÁNICAS	
Dimensiones	270 x 250 x 180 mm
Peso	4.3 Kg

ESPECIFICACIONES DE COMUNICACIÓN	
Almacenaje de lecturas	Memoria de 128 kB
Intervalos de lectura programable	5 seg. a 15 min.
Indicación de tensión de ensayo	Sí
Indicación del tiempo transcurrido en el ensayo	Sí

2.3. Equipo para el ensayo de relación de transformación

El equipo utilizado para llevar a cabo el ensayo de relación de transformación, es con el medidor de relación de espiras “TTR”, (siglas en ingles), mediante la aplicación de esta prueba, es posible detectar cortocircuitos entre espiras, polaridad, secuencia de fases, circuitos abiertos, etc.

El equipo elegido para las pruebas de relación es el TTR AEMC 8510.

Figura 3. Equipo AEMC 8510.

Características y Especificaciones

El equipo AEMC mide transformadores de potencia, VT/PT y la corriente del transformador CT dependiendo de la razón de vueltas; muestra relación de vueltas, corriente de excitación, polaridad de bobinado y porcentaje de desviación desde la placa de identificación.

Las pruebas se realizan excitando la primaria y leyendo el secundario; proporciona condiciones más seguras para el operador; muestra advertencias de conexiones incorrectas, polaridad inversa, circuitos abiertos y cortocircuitos y tiene facilidad de conexión y configuración de prueba: no requiere calibración ni ajuste.

En la siguiente tabla se detallan sus especificaciones técnicas.

Tabla 8. Especificaciones técnicas del equipo DTR 8510.

MODELO	DTR 8510
Rango de relación VT/PT	Lectura de relación de vueltas desde 0,8000:1 a 8000:1
Rango de relación CT	Lectura de relación de vueltas desde 0,8000 a 1000,0
Precisión*	Relación <10 a 1: ± 0,2% de lectura Relación 0 a 1000 a 1: ± 0,1% de lectura Relación >1000 a 1: ± 0,2% de lectura Relación 5000,0 a 8000,0: ± 0,25% de lectura
Señal de excitación	Modo VT/PT: 32 Vrms máximo Modo CT: 0 a 1 A Auto Nivel, 0,1 a 4,5 Vrms
Pantalla de corriente de excitación	Rango: 0 a 1000 mA; precisión: ± 2% de lectura ± 2 mA
Frecuencia de excitación	70 Hz
Pantalla	LCD de 16 caracteres, 2 líneas, formato grande, iluminación de pantalla por LED, visibilidad diurna/nocturna
Método de medición	Según ANSI/IEEE C57.12.90-2006
Idiomas compatibles	Inglés, español, francés, italiano, alemán, portugués
Comunicación	USB 2,0 ópticamente aislado
Almacenamiento de datos	Almacena hasta 10000 mediciones completas
Fuente de alimentación	Dos baterías recargables de 12 V NiMH (incluidas)
Cargador externo	90/240 V, 50/60 Hz (cargador inteligente)
Autonomía de la batería	Hasta 10 horas de operación continuas. No puede ser utilizado durante el recargado. Indicador LED/LCD de baja carga de batería
Tiempo de carga	< 4 horas

2.4. Equipo para el ensayo de relación de polaridad

El equipo AEMC 8510 anteriormente mencionado, es un equipo que nos da la información de la relación de polaridad.

2.5. Equipo para el ensayo de medición de resistencia

El equipo utilizado para medir la resistencia se denomina micróhmetro. Los micróhmetros son equipos diseñados para facilitarnos la medida de resistencias bajas, del orden de mOhmios o incluso uOhmios. Para ello inyectan corriente sobre la unidad bajo ensayo y miden la tensión, proporcionándonos la medida de la resistencia. En definitiva, están constituidos por una fuente de corriente estable y un medidor de tensión de precisión. Normalmente estas medidas se hacen a 4 hilos con cables del tipo Kelvin.

El equipo elegido para las pruebas es el AEMC 6255.

Figura 4. Equipo AEMC 6255.

Características y Especificaciones

El Micro-Ohmmetro Modelo 6255 es un probador resistente de baja resistencia diseñado tanto para mantenimiento de planta como para uso en campo. Utilizando un método Kelvin de cuatro derivaciones, el modelo 6255 es el microohmímetro más preciso disponible, con resultados dentro del 0,05 %. Puede probar hasta 60 minutos de forma continua a 10A.

El modelo 6255 está diseñado exclusivamente para realizar pruebas en materiales tanto resistivos como inductivos, con selección del operador directamente desde el panel frontal. Hay tres modos de ensayo disponibles; resistiva (ensayo instantáneo), inductiva (ensayo continuo) y automática (ensayo repetitivo). Se pueden almacenar e imprimir hasta 1500 mediciones directamente a una impresora desde una PC.

En la siguiente tabla se detallan sus especificaciones técnicas.

Tabla 9. Especificaciones técnicas del Micro-Ohmmetro 6255.

MODELO	**6255**						
Rango	5.0000 mΩ	25.000 mΩ	250.00 mΩ	2500.0 mΩ	25.000 Ω	250.00 Ω	2500.0 Ω
Precisión	± 0.15 % de Lectura +1.0 µΩ	± 0.05 % de Lectura + 3 µΩ	± 0.05 % de Lectura + 30 µΩ	± 0.05 % de Lectura + 0.3 mΩ	± 0.05 % de Lectura + 3 mΩ	± 0.05 % de Lectura + 30 mΩ	± 0.05 % de Lectura + 300 mΩ
Resolución	0,1 µΩ	1 µΩ	10 µΩ	0,1 mΩ	1 mΩ	10 mΩ	100 mΩ
Corriente de prueba	10 A			1 A	100mA	10mA	1mA
Medición Modo	Modo: inductivo (continuos prueba), resistivo (instantáneos prueba) o automático (múltiples pruebas)						
Tipo de Metal	Seleccionable: cobre, aluminio u otro metal Programable 000.00 a 99.99						
Alarmas	Dos puntos de ajuste programables de (0,0 a 2500,0) Ω						
Memoria	Almacenamiento de 1500 resultados; visualización directa en el display del instrumento o en PC						
Fuente de alimentación	Paquete de baterías NiMH recargables de 6 V, 8,5 Ah (incluidas)						
Duración de la batería	Aproximadamente 5000 pruebas de 10 A						

2.6. Equipo para el ensayo de tensión aplicada

Se elige un transformador de potencial de 50 kV ATO-HTGTB (Como regla general, la tensión de ensayo del arrollamiento sin derivación del transformador deberá ser igual al doble de la tensión nominal).

Figura 5 Equipo de ensayo de tensión aplicada ATO-HTGTB.

Características y Especificaciones

El transformador Hipot de 3 kVA tiene una caja de control con pantalla digital, es monofásico con salida 50 kV, transformador de ensayo tipo seco, es muy conveniente, flexible y de alta eficiencia.

Tabla 10. Especificaciones técnicas del transformador Hipot 50 kV.

Modelo	ATO-HTGTB-350
Capacidad	3 kVA
Voltaje de entrada	110V/ 120V/ 220V
Frecuencia	50Hz/ 60Hz
Tensión de salida	50kV
Actual	60mA
Salida CC	70 kV
Fase	1 fase
Peso (Transformador + Caja de Control)	48 kg
Método de enfriamiento	Seco
Eficiencia	90%
Voltaje de impedancia	<12%
Elevación de la temperatura superficial	< 55°C
Corriente sin carga	<4%
Forma de onda de voltaje de salida	Onda sinusoidal
Uso	Probador de alto voltaje AC DC
Temperatura Ambiente	0~40°C
Altitud	<2000m
Humedad relativa	<85%

2.7. Equipo para ensayo de tensión inducida de corta duración

Se elige un set motor-generador (Motor de 10 HP trifásico y Generador Síncrono de 33 kVA) acoplado por correa y un variador de tensión trifásico.

Especificaciones del Motor Trifásico

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones del motor trifásico:

Tabla 11. Especificaciones técnicas del motor trifásico para ensayo de tensión inducida.

Potencia	10 HP
Frecuencia	50 Hz
Voltaje	380/660 V
Corriente nominal	15,13 A
Factor de potencia	0,85
Nivel de aislación	1,2 kV
BIL	30 kV

Especificaciones del Generador síncrono

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones del Generador síncrono:

Tabla 12. Especificaciones técnicas del generador síncrono para ensayo de tensión inducida.

Potencia	33 kVA
Frecuencia	50 Hz
Voltaje nominal	800/462 V
Corriente nominal	24 A
Excitación	Independiente (variador de tensión trifásico)
Nivel de aislación	1,2 kV
BIL	30 kV

Especificaciones del variador de tensión

El equipo utilizado como variador de tensión es el TTS-35.

2.8. Equipo para ensayo de rigidez eléctrica

El equipo sugerido es el probador dieléctrico de líquidos OC60P-DI, ensaya de manera precisa y confiable la rigidez dieléctrica de los líquidos aislantes utilizados en una amplia variedad de aparatos eléctricos. El diseño resistente, ligero y portátil garantiza años de funcionamiento seguro y sin problemas tanto en el campo como en el laboratorio.

Este modelo está diseñado para cumplir con las especificaciones de ensayo de todas partes del mundo con celdas de ensayo disponibles para las normas de ensayo ASTM D877, ASTM D1816 e IEC 156. El OC60P-DI le brinda al usuario la capacidad de usar estándares preprogramados en modo básico o crear sus propias pruebas usando el modo personalizado. Un kilovoltímetro digital interno registra automáticamente el voltaje de ruptura para cada muestra de prueba. Cada ensayo puede guardarse en la memoria interna de la unidad y transferirse a una unidad USB.

Figura 6. Equipo OC60P-DI.

Características y Especificaciones

El equipo OC60P-DI tiene las siguientes características:

- Ligero y portátil diseño; Robusto y confiable.
- Detección automática de averías dentro de los 4 µs del punto de ruptura.
- Estándares de ensayo preprogramados.
- Cortocircuito ± 2% de la escala completa.
- Células de ensayo disponibles para pruebas ASTM D877, ASTM D1816 y IEC 156.
- Registro y transferencia de los resultados de las pruebas y el análisis de datos a través de USB2.0.
- Pantalla táctil a color de 7” con brillo ajustable.
- operación segura con enclavamiento magnético de pantalla deslizante.

- Parámetros de ensayo ajustables como el voltaje objetivo, la velocidad de rampa, el tiempo de permanencia y de espera.

En la siguiente tabla se detallan las especificaciones técnicas del OC60P-DI:

Tabla 13. Especificaciones técnicas del equipo de ensayo dieléctrico de aceite.

Número de modelo		**OC60P-DI**
Salida del sistema		0 – 60 kV CA
Precisión de ruptura de voltaje		±2% de la escala completa
Dimensiones (ancho x alto x profundidad)	Neto	16 x 13 x 15 pulgadas (41 x 33 x 38 cm)
	Envío	24 x 19 x 21 pulgadas (61 x 48 x 53 cm)
Peso	Neto	60 libras (25 kg)
	Envío	65 libras (28 kg)
Voltaje y frecuencia de entrada		90-264 V CA; 50 o 60Hz
Batería interna		NiMH, 12 V CC, 8400 mAh
Accesorios incluidos		Cable de entrada, certificado de calibración, manual de operaciones
Estándares precargados		ASTM D1816, JIS C 2101-99, SEV EN 60156, IEC 60156, UNE EN 60156, ASTM D877, NF EN 60156, SABS EN 60156, BS EN 60156, VDE 0370 Parte 5, CEI EN 60156, AS 1767.2.1, IRAM 2341, GOST 6581-75, BS148, IS 6792

2.9. Equipo para ensayo de estanqueidad

La presión en el interior de la cuba puede ser provista por un compresor de aire seco de 2HP. El equipo debe ser capaz de entregar una presión de 0.07 MPa equivalentes a 10,15 psi según la Tabla 1. La presión se medirá mediante un manómetro.

Ilustración 1.Equipo para el ensayo de estanqueidad y manómetro de precisión.

Características y Especificaciones

Características del compresor

Modelo: Bravo CSL10BR 200L 140psi 2HP

Desplazamiento teórico: 10cfm = 283L/min

Diámetro de salida: 1/4"

Tipo de motor: A

Volumen de aceite: 520ml

Tiempo de carga del tanque: 1050"= 17,5min

Ruido: 82dB A

Régimen de trabajo: Intermitente

Número de etapas: 1

Número de pistón: 2-L

Número de polos: 2

Presión de Trabajo	100 - 140psi
Potencia	2 HP
Velocidad Máx.	860rpm
Capacidad	200L
Tensión	220V monofásico

Características del manómetro

Modelo: Manómetro de precisión MAP-40-1-1/8-EN

Régimen de indicación: 0 bar... 1 bar

Margen visualizado: 0 psi... 14.5 psi

Conforme a la norma: EN 837-1

Magnitud nominal manómetro: 40

Protección antideflagrante: Tener en cuenta la advertencia en la certificación Zona 1 (ATEX) Zona 2 (ATEX) Zona 21 (ATEX) Zona 22 (ATEX)

Forma constructiva: Manómetro de muelle tubular

Tipo de fijación: Instalación en la tubería

Medio de funcionamiento: Gases inertes Líquidos neutros

Presión de funcionamiento: 0 MPa... 0.1 MPa

Presión de funcionamiento: 0 bar... 1 bar

Presión de funcionamiento: 0 psi... 14.5 psi

Factor de esfuerzo alternante: 0.66

Clase de precisión de medición: 1,6

Grado de protección: IP43

Temperatura del medio: -20 °C... 60 °C

Temperatura ambiente: -20 °C... 60 °C

Posición de la conexión: Parte trasera, centrada

Conexión neumática: R1/8

Nota sobre el medio de trabajo/mando: Sin acetileno Sin oxígeno

3. Procedimiento para ensayos de rutina de transformadores de distribución

En esta sección se describe los procedimientos correspondientes para llevar a cabo los ensayos de rutina de transformadores de distribución, estableciendo para cada uno el equipo necesario, consideraciones generales y los pasos para la ejecución de los ensayos. Dichos procedimientos se obtuvieron a partir de una revisión bibliográfica de la tesis **"Diseño de un laboratorio de pruebas eléctricas para transformadores de distribución de la empresa R.V.R. Transformadores"** [1] y la **"Guía de laboratorio prácticas de ensayos en el UTNLAT"** [9]**.**

En el ANEXO 3 se presenta un modelo de hoja de registro para los ensayos de rutina realizados.

3.1. Procedimiento para ensayo de impedancia de cortocircuito y pérdidas de carga

En este ensayo se mide la potencia que absorbe el transformador estando a plena carga. Para ello, se aplica la corriente nominal al devanado de alta tensión, con los terminales del lado de baja cortocircuitados con un conductor, capaz de soportar la corriente nominal. De esta forma, en el devanado secundario circula también la corriente nominal, simulando así la condición de plena carga. Se miden la tensión de cortocircuito, la temperatura durante el ensayo, y la potencia absorbida por el transformador en cada fase, lo cual significa, tres mediciones, luego por adición, se determina las pérdidas totales a plena carga.

Equipo necesario: Banco de pruebas, conductores de empalme # 2 AWG.

Consideraciones generales del ensayo:

- Tome en cuenta los riesgos existentes, la fuente de energía y el voltaje (1000 V) durante el ensayo son elevados, si no se toman las debidas precauciones, el ensayo podría ocasionar la muerte de las personas que se encuentren cercanas al lugar.
- Antes de aplicar energía, verifique que todos los accesos al sitio de ensayo estén bloqueados o restringidos.
- Tener en cuenta los valores de potencia y aislamiento requeridos durante el ensayo, que sean acordes con el banco de pruebas, el cual debe ser alimentado de forma continua y sin ningún problema.
- El ensayo debe realizarse solo en la derivación nominal o principal del transformador, (generalmente la posición “3” del conmutador).
- Calcule la corriente de ensayo que se deberá observar durante el ensayo de la siguiente manera:

Si el transformador es monofásico

Dónde:

I: Corriente de ensayo en A.

S: Es la potencia del transformador en kVA.

V: Voltaje de fase nominal de alta tensión en voltios (generalmente 13.800 V)

$$I = \frac{S}{V} * 1000$$

Si el transformador es Trifásico:

$$I = \frac{S}{V * \sqrt{3}} * 1000$$

Ejemplo:

Transformador Trifásico, Potencia S 500 KVA, 13800/220V.

$$I = \frac{S}{V * \sqrt{3}} * 1000 = \frac{500 * 1000}{13800 * \sqrt{3}} = 20{,}91\ A$$

Ejecución del ensayo

- Conecte todos los terminales de baja tensión denotados por la letra “X” entre sí y aterrice la cuba a tierra como se indica en la figura.

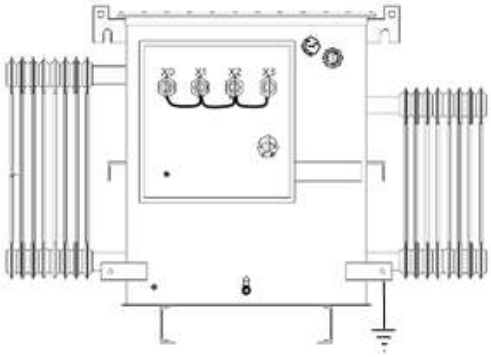


Figura 7.Conexionado de los terminales de baja tensión para el ensayo de pérdidas.

- Conecte los terminales de salida del banco de pruebas a los terminales de alta tensión de transformador denotados por la letra “H”.

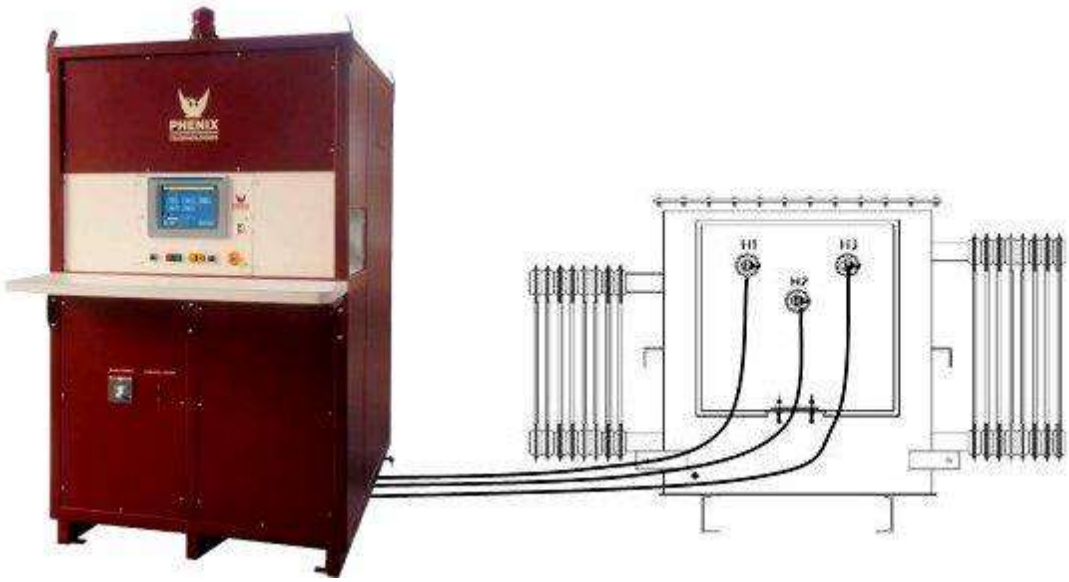


Figura 8. Conexionado de terminales de alta tensión al TTS35.

- Incremente la tensión gradualmente desde cero voltios hasta observar la corriente calculada (esta tensión deberá estar en el rango de 200-700 voltios).
- Registre las mediciones de corriente, voltaje y potencia de cada fase en la hoja de protocolo de pruebas.

3.2. Procedimiento para ensayo de medición de pérdidas en vacío

El procedimiento para este ensayo consiste en aplicar la tensión nominal a los devanados del transformador, que, por conveniencia, se aplica al lado de baja tensión, dejando en circuito abierto el lado de alta tensión. La tensión se ajusta con cuidado a 400V fase-fase o 231 fase-neutro.

Se mide la corriente de vacío, y la potencia absorbida por la bobina de cada fase, luego se suman estas tres mediciones para la obtención de las perdidas en vacío.

Equipo necesario: Banco de pruebas

Consideraciones generales del ensayo.

- Tome en cuenta los riesgos existentes, la potencia de la fuente y la tensión (23 kV) son muy elevados, si no se toman las debidas precauciones el ensayo podría ocasionar hasta la muerte de las personas que se encuentren cerca del lugar ensayo.
- Antes de la energización verifique que todos los accesos al lugar de pruebas se encuentran bloqueados o restringidos.
- Tenga presente los valores de corriente y tensión que se van a necesitar durante el ensayo ya que el banco de pruebas debe suministrarlos de forma continua y sin ningún problema.

Ejecución del ensayo

Conecte los terminales de salida del banco de pruebas a los terminales de baja tensión transformador denotados por la letra “X” y aterrice la cuba del cómo se indica en la figura.

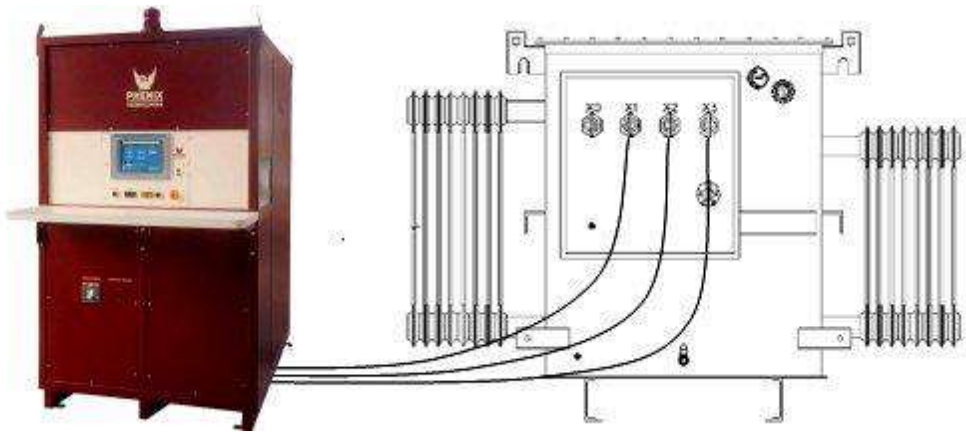


Figura 9. Conexionado de terminales de baja tensión para ensayo de vacío.

-Incremente la tensión gradualmente desde cero voltios hasta el valor nominal del devanado energizado (generalmente 220 o 400 V.).

-Registre las mediciones de corriente, tensión y potencia de cada fase en la hoja técnica de pruebas.

3.3. Procedimiento para ensayo de relación de transformación

Equipo necesario: TTR.

Consideraciones generales del ensayo

- El ensayo se efectúa con el equipo desenergizado.
- La medición debe llevarse a cabo en cada derivación y en todos los bobinados del transformador.
- Las mediciones no deberán variar en ±0,5% de las declaradas en la placa de características.
- Escoja el equipo indicado, debe tomar en cuenta que el equipo de medición tenga la capacidad se censar la relación de transformación. (Lea hoja técnica del equipo).

Ejecución del ensayo.

- Diferencie los terminales del equipo de medición, si no están marcados, los cables gruesos son destinados para la baja tensión “X”, y los cables delgados para la alta tensión “H”.

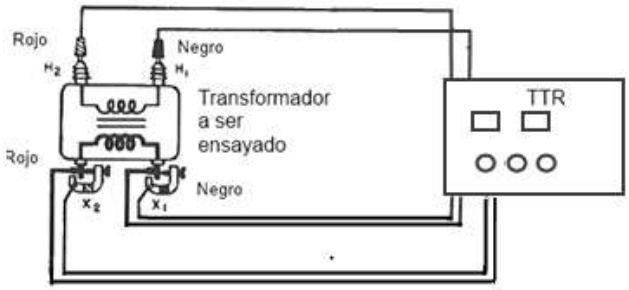


Figura 10. Esquema de conexión para ensayo de relación de transformación.

- Revise el conexionado y la polaridad de los terminales que está dado en la placa de características del transformador. Conecte cada bobinado con su correspondiente, si la polaridad no es la correcta o existe algún cortocircuito la medición no se podrá llevar a cabo.
- La medida se obtendrá instantáneamente conforme se active el equipo de medición, tome anotación de los datos obtenidos en el protocolo de pruebas.

3.4. Procedimiento de medición de polaridad

Equipo necesario: TTR.

Consideraciones generales del ensayo

- Antes de realizar el ensayo identifique los terminales de alta y de baja tensión, tanto del equipo como del transformador.

Ejecución del ensayo.

- Tomar en cuenta el diagrama de conexiones en la placa del transformador.

- Consulte el instructivo del equipo.
- Conecte los terminales del equipo a los terminales del transformador.
- El equipo nos da resultados tanto de la relación de transformación, como de polaridad. Además, un dato adicional es la corriente de excitación.
- Anote el valor obtenido.

3.5. Procedimiento de medición de secuencia de fase

Ejecución del ensayo.

Secuencia de fases para transformadores polifásicos

- En esta prueba, use un dispositivo indicador, como un motor trifásico u otro aparato de circuito dividido o equivalente, que debe conectarse a las terminales de alta tensión del transformador, ya sea directamente o a través de transformadores auxiliares.
- Excite el transformador de ensayo desde el lado de baja tensión, utilizando una tensión adecuada. Luego observe la dirección de rotación del dispositivo indicador. Luego se debe trasladar el dispositivo indicador al lado de baja tensión, conectando a X1 el terminal del dispositivo indicador que se conectó a H1, a X2 el que se conectó a H2 y a X3 el que se conectó a H3.
- Vuelva a excitar el transformador por el mismo lado y con la tensión adecuada, sin cambiar las conexiones de excitación. Observe nuevamente la dirección de rotación del dispositivo indicador.
- La secuencia de fases del transformador es correcta cuando las direcciones de rotación del dispositivo indicador son las mismas.

3.6. Procedimiento de medición de la resistencia del aislamiento

Equipo necesario: Megómetro o Megger, Termocupla Tipo K.

Consideraciones generales del ensayo

- Medir la resistencia de aislamiento con un megómetro de al menos 1000 V, para devanados con tensión máxima del equipo igual o inferior a 72,5 kV, y de al menos 2000 V, para devanados con tensión máxima del equipo superior a esa.
- El estado de los cables de los equipos de medida debe comprobarse antes de iniciar el ensayo, las medidas son extremadamente sensibles, estas son determinantes para el resultado final, es importante que estén en perfecto estado.

- Todos los elementos que intervienen en el funcionamiento del transformador deben estar fijamente en su lugar.
- La medición debe realizarse con el transformador desenergizado y frio, en un rango de temperaturas entre 0 y 40°C.
- Todas las mediciones deben ser referidas a una temperatura de 20 ° C, de ser diferente la temperatura del transformador, se deberá multiplicar el valor obtenido por un factor de corrección “K” que se encuentra en la Tabla siguiente:

Tabla 14. Factor de corrección “K”

Temperatura °C	Factor K	Temperatura °C	Factor K
95	89	35	2,5
90	66	30	1,8
85	49	25	1,3
80	36,2	20	1
75	26,8	15	0,73
70	20	10	0,54
65	14,8	5	0,4
60	11	0	0,3
55	8,1	-5	0,22
50	6	-10	0,16
45	4,5	-15	0,12
40	3,3		

$$R_s = R_m * K$$

Dónde:

R_s: Resistencia corregida a 20°C en Ω.

R_m: Resistencia medida a “X” temperatura en Ω.

K: Factor de corrección a “X” temperatura.

Ejecución del ensayo

- Conecte en cortocircuito todos los terminales de alta tensión “H”, también ponga en cortocircuito todos los terminales de baja tensión “X”, y conecte a tierra el tanque o cuba como se ve en la figura.

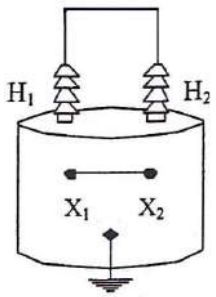


Figura 11. Conexionado de terminales de alta y baja tensión para ensayo de resistencia aislamiento.

- Ajuste el nivel de tensión de ensayo según el lado que va a someter a ensayo sea H o X (que no esté conectado a tierra), tome en cuenta que la tensión no deberá ser mayor del nominal.
- Realice la conexión del equipo y mida la resistencia en cada uno de los tres casos que se dan a continuación:

Medición de resistencia Alta contra baja tensión más tierra:

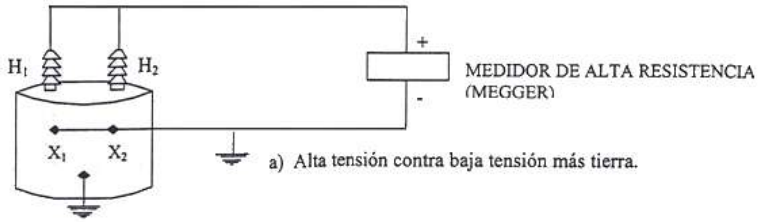


Figura 12. Conexionado para la medición de resistencia de alta contra baja tensión más tierra.

Medición de resistencia baja tensión contra tierra:

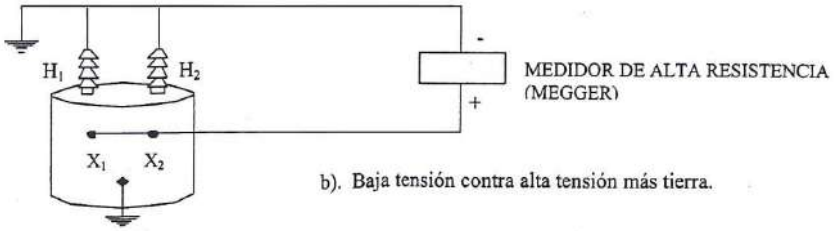
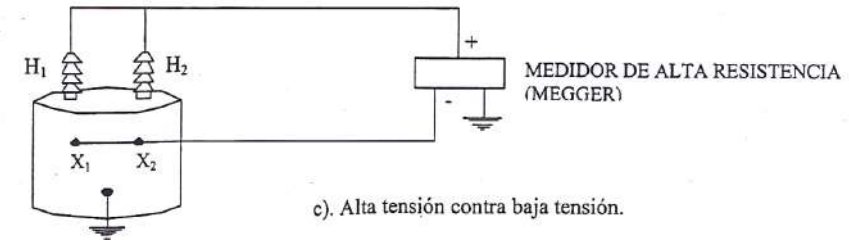


Figura 13. Conexionado para la medición de resistencia de baja tensión más tierra.

Medición de resistencia baja tensión contra tierra:



Tenga presente que cada ensayo deberá durar un minuto.

Detenga el ensayo si la resistencia comienza a caer rápidamente. El ensayo también se puede pausar automáticamente antes de esa hora, en ambos casos, lea las observaciones en el protocolo de ensayo y no repita el ensayo hasta que verifique por qué sucedió.

Anote en esta lectura la tensión del megóhmetro utilizado y la temperatura del devanado bajo prueba. Para esta última lectura, el transformador debe estar en equilibrio térmico con la temperatura ambiente.

3.7. Procedimiento para ensayo de resistencia de devanado

Equipo necesario: Microohmímetro

Consideraciones generales del ensayo

- Verificar ausencia de tensión, puestas a tierra en bornes de la máquina y bloqueos.
- Retirar luego la puesta a tierra de la muestra. (Use Equipo de Protección Personal).
- Examinar que los terminales de MT se encuentren libres de otras conexiones.
- Examinar que los terminales de BT se encuentre libres de otras conexiones.
- Vallar la zona de trabajo como medida de seguridad impidiendo el acceso hacia partes que serán energizadas con tensión de prueba.
- Conexionar el cable de tierra del equipo de medición a la cuba del transformador. (También a tierra).
- Verificar la conexión a tierra del borne 2n (centro de estrella) del bobinado de BT.

Ejecución del ensayo

- Tomar nota de las siguientes temperaturas: Bobinado + Aceite. + Ambiente.
- Verificadas las condiciones de seguridad, conexionar los cables de salida del equipo de medición según las secuencias indicadas.
- Seguir cuidadosamente las instrucciones de conexionado y operación secuencial detalladas en el manual de operación del equipo. Use los EEP.

Después de la medición, se debe cambiar la conexión para una nueva medición solo cuando la luz de alta tensión del dispositivo se apague, lo que indica que la muestra está descargada. En cualquier caso, compruébelo con una pérdiga de descarga.

En un transformador trifásico, las medidas son hechas sobre cada devanado de fase a fase y de fase a neutro cuando sean posibles. En una conexión en triángulo habrá siempre dos devanados en serie, los cuales están en paralelo con el devanado bajo

prueba. Por lo tanto, en una conexión en triángulo, se deben realizar tres mediciones, para calcular la resistencia final de cada devanado.

Las mediciones deberán ser realizadas sobre todas las tomas del transformador: Pos 1 + Pos 2 + Pos3 + Pos 4.

Puesto que la resistencia de cobre varía con la temperatura, todas las lecturas deben ser convertidas a una temperatura de referencia para obtener resultados satisfactorios.

Dado que las medidas en CC, son afectadas por la capacidad (constante de tiempo) del devanado, si no se dispone de un equipo con la suficiente corriente de ensayo (este no es el caso), el obtener una sola lectura válida de resistencia puede tomar hasta una hora o más en un transformador de extra alta tensión.

El tiempo de estabilización de la corriente durante la medición de la resistencia, determina el tiempo promedio de extinción del efecto inductivo.

Correcciones

Generalmente, la mayor parte de los datos son referenciados a 75 °C. Esta es la temperatura más comúnmente usada. La fórmula para convertir lecturas de resistencia en devanados de cobre es la siguiente:

$$\text{R del Devanado a la Temp.°C} = \text{R en Prueba} \times \frac{234.5 - Temp.\,de\,la\,prueba\,°C}{234.5 + Temp.\,del\,devanado\,°C}$$

Donde:

R en ensayo = Resistencia medida en el ensayo a la temperatura T.

Temp. del ensayo °C = Temperatura a la cual se desea referir la resistencia.

Temp. del devanado °C = Temperatura del devanado en prueba.

Para devanados de aluminio, el valor de 234.5 debe ser cambiado por el valor de 225 en la fórmula anterior.

En transformadores de potencia nominal igual o inferior a 5 000 kVA, la diferencia entre la Las temperaturas del aceite superior e inferior pueden ser insignificantes, en cuyo caso es suficiente medir la temperatura del aceite superior.

3.8. Procedimiento para el ensayo de tensión aplicada

Equipo necesario: Banco de pruebas, transformador de potencial, Kilovoltímetro, Cronómetro.

Consideraciones generales del ensayo

- Considere los riesgos involucrados, la fuente de energía y la tensión son muy elevados, si no se toman las debidas precauciones el ensayo podría ocasionar la muerte de las personas que se encuentren cerca del lugar.
- Determine la tensión de aplicación, esto lo debe realizar empleando en nivel básico de aislamiento para el cual fue diseñado el transformador.
- Conecte todos los terminales de baja tensión denotados por la letra “X” entre sí y conecte a tierra junto con la cuba del tanque, conforme la Figura 14.
- Conecte todos los terminales de Alta tensión denotados por la letra “H” entre sí conforme la Figura 14.

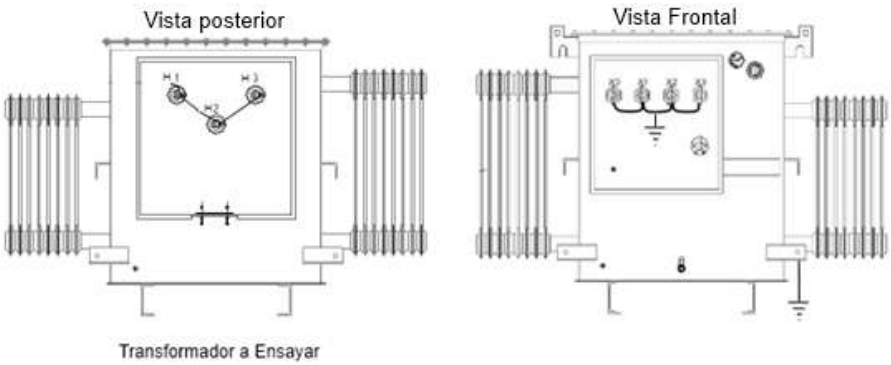


Figura 14. Preparación de transformador a ensayar.

- Conecte la salida de tensión del banco de pruebas a la baja tensión del Transformador de alta tensión y conecte la cuba del transformador a tierra.

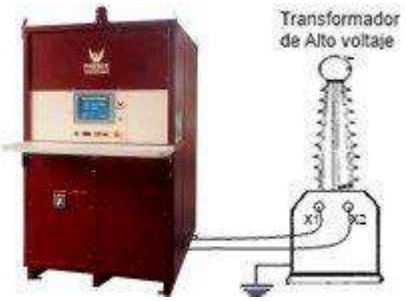


Figura 15. Conexión de equipo de prueba.

- Conecte el divisor de voltaje a la salida del transformador de alto voltaje, y a tierra como se muestra en la Figura 16.
- Conecte en paralelo el transformador a ensayar al divisor de voltaje.

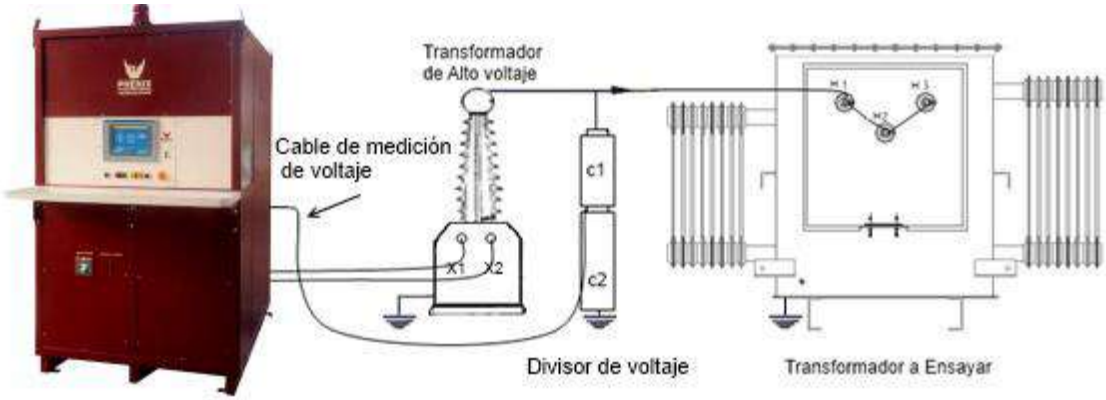


Figura 16. Circuito de ensayo de voltaje aplicado.

- Antes de la energización verifique que todos los accesos al lugar de pruebas se encuentran bloqueados o restringidos.

Ejecución del ensayo:

- Incremente el voltaje hasta llegar al valor preestablecido según de nivel de aislamiento (BIL).
- Después de llegar al voltaje deseado, cuente 60 segundos de duración del ensayo por cronómetro.
- Disminuya gradualmente el voltaje por lo menos hasta ½ del voltaje aplicado para suspender la energización. (Tome en cuenta que si suspende el ensayo sin reducir el voltaje puede ocasionar serios daños al sistema de aislamiento).
- Solo en caso de detectar aumentos repentinos de corriente o sonidos en el tanque podrá suspender el ensayo inmediatamente.
- Registre las observaciones y el voltaje de ensayo en la hoja de protocolo de pruebas.

3.9. Procedimiento para ensayo de tensión inducida

Equipo necesario: Banco de pruebas TTS, Set Motor-Generador, cronómetro.

Consideraciones generales del ensayo

- Tome las precauciones necesarias sobre riesgos existentes, la potencia de la fuente y el voltaje (50 kV) durante el ensayo son muy elevados, si no se toman las debidas medidas de precaución en el ensayo podría ocasionar serias heridas y hasta muerte de las personas que se encuentren cerca del lugar ensayo.
- Tenga presente los valores de potencia y voltaje que se van a necesitar durante el ensayo ya que el banco de pruebas debe suministrarlos de forma continua y sin ningún problema.

- Realice la alimentación del transformador, esta se deberá efectuar por el lado de baja tensión denotado por “X” como se visualiza en la Figura 17.

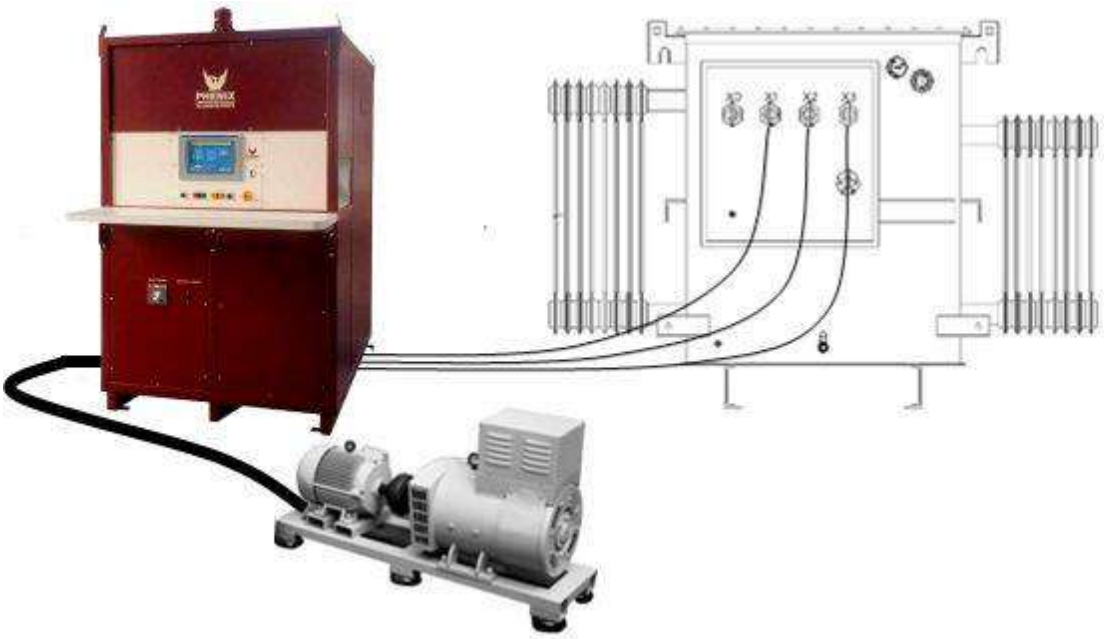


Figura 17. Conexión para el ensayo de tensión inducida

- El voltaje de aplicación deberá ser el doble del voltaje nominal.
- La duración del ensayo es de 60 segundos.

Ejecución del ensayo

- Incremente el voltaje gradualmente desde cero voltios hasta el valor de ensayo determinado.
- Después de llegar al voltaje deseado, tome el tiempo preestablecido del ensayo por cronómetro.
- Luego, disminuya gradualmente el voltaje por lo menos hasta ½ del voltaje aplicado durante el ensayo para suspender la energización. (Tome en cuenta que si suspende la alimentación sin reducir el voltaje puede ocasionar serios daños al sistema de aislamiento).
- Solo en caso de detectar aumentos repentinos de corriente o sonidos en el tanque podrá suspender el ensayo inmediatamente.
- Registre las observaciones, el voltaje, la frecuencia y el tiempo de ensayo en la hoja de protocolo de pruebas.

3.10. Procedimiento para ensayo estanqueidad

Equipo necesario: Equipo compresor de aire, manómetro, cronometro

Ejecución del ensayo

- Aplicar presión mediante aire comprimido seco (o nitrógeno), actuando sobre la superficie del aceite.
- Leer la presión mediante un manómetro instalado entre la válvula de entrada de aire y el transformador.
- Una vez alcanzada la presión especificada en la Tabla 1, interrumpa la entrada de gas cerrando la válvula en la tubería de suministro.
- Esta presión debe permanecer constante durante el tiempo de aplicación especificado en la Tabla 1.

3.11. Procedimiento para el ensayo de rigidez dieléctrica

Equipo necesario: Probador digital de ruptura de dieléctrico líquido.

Consideraciones generales del ensayo

- Tenga en cuenta que el ensayo representa un riesgo potencial por el elevado nivel de tensión que maneja (60 kV), tome todas las medidas de seguridad necesarias.
- El ensayo según norma ASTM D877 debe realizarse con electrodos de disco plano, observe que estén montados en el equipo de medición. Los electrodos se instalan en la celda de ensayo OC-TC. Se suministra un calibre de separación de 0,1 pulgadas.

Figura 18. Celda de ensayo OC-TC.

- Antes de verter el aceite en la copa de ensayo, observe la limpieza de la misma, y de los electrodos, lávelos que con un buen solvente y seque perfectamente con materiales absolventes que no dejen residuos.
- Controle que la temperatura del aceite no sea muy alta, (>40°c) esto puede alterar el resultado del ensayo.
- Terminado el ensayo, retire el líquido de la copa de ensayo y seque el recipiente.

Verifique el funcionamiento del agitador de aceite.

- Programe el equipo en función del ensayo que se va a realizar “ASTM D877”, de esto dependerá el tiempo entre ensayos, velocidad de incremento de voltaje y la agitación del aceite (debe funcionar durante todo el ensayo).

Ejecución del ensayo

- Ingrese la muestra de aceite en el equipo de medición.
- Dejar reposar el aceite por un lapso de entre 2 y 3 minutos.
- Coloque todas las protecciones del equipo, cierre la compuerta por donde ingresa la muestra.
- Inicie el ensayo, cada ensayo consta de seis descargas disruptivas, deseche el resultado de la primera y tome anotación de las cinco restantes.
- Calcule el promedio de las pruebas realizadas.
- Registre el voltaje promedio en la hoja de protocolo de pruebas.
- Si el valor promedio de la rigidez dieléctrica es mayor a 30 kV, se considera que el aceite pasa el ensayo. En caso contario la muestra de aceite debe ser rechazada.

4. Diseño de laboratorio de ensayos de rutina

4.1. Ubicación del Laboratorio

Las obras civiles y atendiendo el propósito del laboratorio, el cual es de carácter didáctico y de investigación, el laboratorio proyectado se localiza físicamente en la ciudad de Coronel Oviedo, específicamente en el Campus de la Universidad Nacional de Caaguazú. En la siguiente imagen puede visualizarse su ubicación en el mapa.

Figura 19. Ubicación del laboratorio de ensayo de transformadores.

4.2. Descripción del Laboratorio

El diseño del laboratorio incluye la sala de control y aula, desde donde se controlan los equipos y se imparten clases de explicaciones teóricas a los alumnos; la jaula de Faraday donde se ubican los equipos a probar y los equipos de ensayos (los motores y generadores para las pruebas de tensión inducida y el trasformador de 50 kV). Los dos lugares estarán ubicados en el mismo recinto.

4.3. Jaula de Faraday

Cuando se trata de restringir el acceso a un lugar donde se realizan ensayos de alto riesgo y blindar un recinto contra campos electromagnéticos la Jaula de Faraday representa el elemento indicado, basta con que el material de la jaula sea de un buen conductor para que esta se convierta en una superficie equipotencial.

La principal función de la jaula será la de retener ondas electromagnéticas en el interior o evitar que se propaguen hacia el exterior manteniendo la integridad de los operarios y los equipos electrónicos que se encuentren en su cercanía.

En primer lugar, se debe proyectar un blindaje que recubra tanto paredes como el techo y el piso del recinto blindado, procurando la mejor unión eléctrica (preferiblemente por medio de soldadura).

El blindaje se lo pude realizar con láminas o mallas metálicas cubriendo toda el área a blindar.

A continuación, se presentan características de la jaula:

4.3.1. Dimensiones del transformador a Ensayar

Como resulta lógico se deberá dimensionar el área de pruebas en función del equipo que ocupe el mayor volumen, en nuestro caso el transformador mayor potencia, que será un transformador de 500 kVA (Se toma como referencia las dimensiones máximas según EE.TT. 04.14.14 de la ANDE):

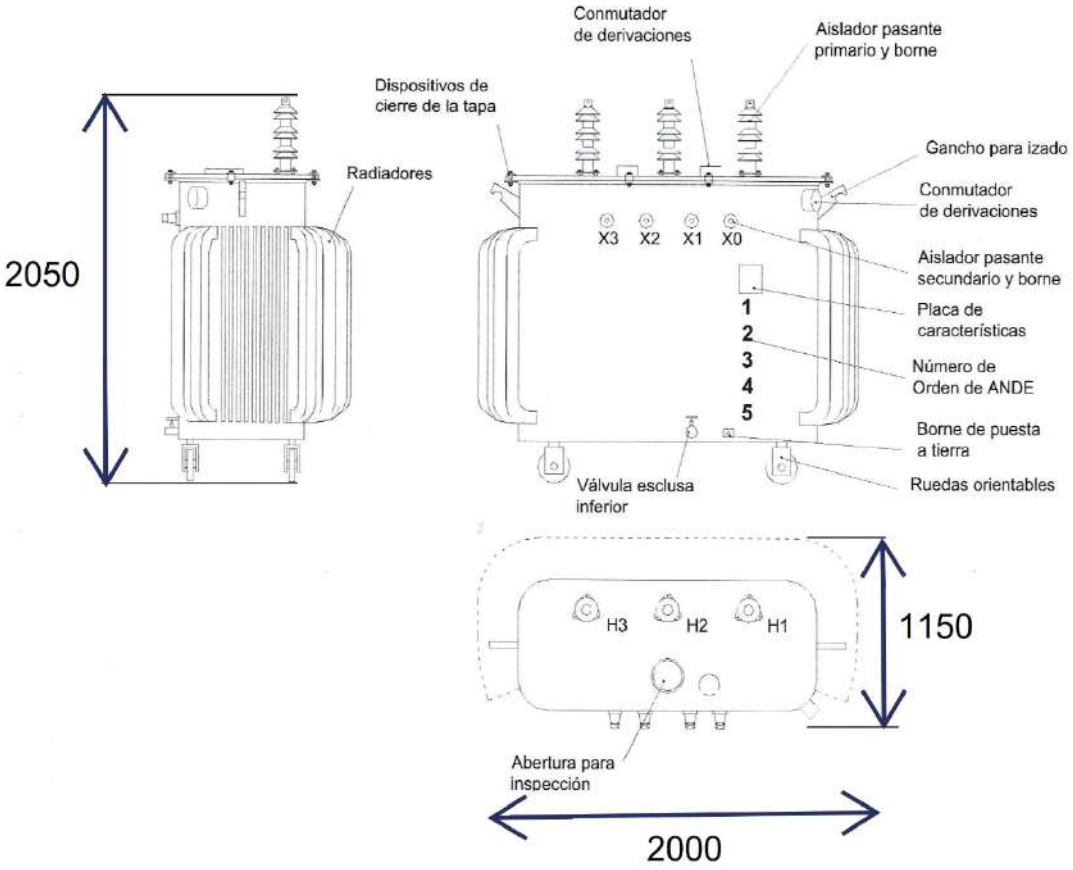


Figura 20. Plano del transformador de 500Kva según EE.TT: de la ANDE.

Las medidas del transformador de 500 kVA son las siguientes:

Alto (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)
2050	2000	1150

4.3.2. Distancia de seguridad

El objetivo del área de laboratorios es ejecutar los ensayos a transformadores de hasta de 500 kVA con el espacio suficiente para albergar hasta 4 equipos de características similares a las descritas, en consecuencia, el nivel más elevado de tensión será de 50 kV por lo que con 1.83 metros de distancia entre partes vivas (energizadas) y el enmallado será más que suficiente (Según la norma NR10).

Adicional a la distancia de seguridad, se deberá contar con el espacio suficiente para una ágil operación dentro del área de pruebas.

A partir de estos datos se pretenderá dar una aproximación del área de ensayos:

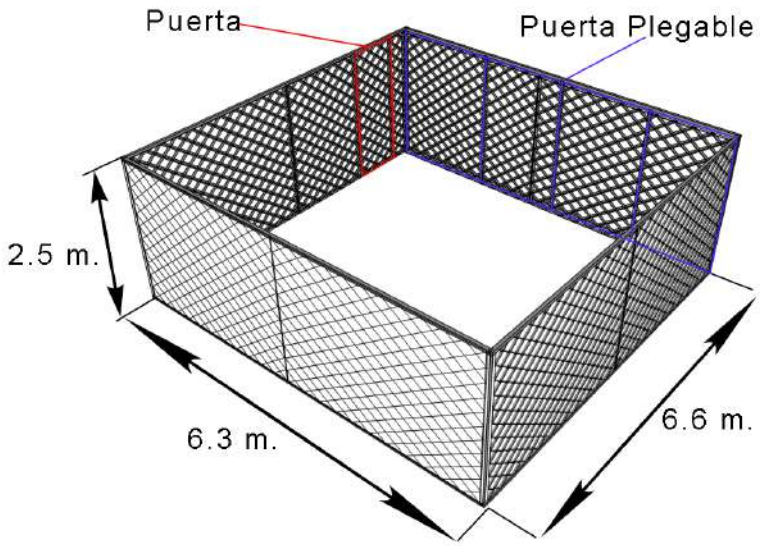


Figura 21. Vista 3D de la Jaula de Faraday.

La altura de la jaula será de 2,5 metros, a su vez es una medida estándar en la que se comercializa la malla metálica (tejido de alambre) en el mercado nacional por lo que se evitará el desperdicio del material [10].

Finalmente, la jaula deberá tener las siguientes dimensiones:

Ancho (m.)	Largo (m.)	Alto (m.)
6,3	6,6	2,5

Figura 22. Dimensiones de la Jaula de Faraday

4.3.3. Material de la Jaula

Como se mencionó anteriormente, cualquier material que sea buen conductor (hierro, aluminio, cobre) es suficiente para que la Jaula se convierta en una superficie equipotencial.

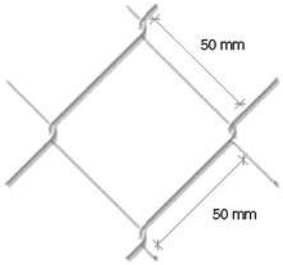
Por otro lado, el aspecto económico es otro punto importante, por ello es común que la solución sea la malla metálica de alambre galvanizado (tejido de alambre).

La malla metálica de alambre galvanizado ofrece buenas características mecánicas, conductividad y se encuentra fácilmente en el mercado nacional por lo que se recomendará el uso de la misma.

Las características geométricas son las siguientes:

Diámetro del alambre 3mm

Longitud del reticulado 50mm



4.4. Cálculo del sistema de iluminación

Para alcanzar el valor estipulado en el Reglamento de ANDE de baja tensión son necesarias 16 luminarias LED cuyas características son las siguientes:

Unidades	Nombre del articulo	P	Φ	Rendimiento lumínico
16	SM400C PSU W60L60 1 xLED36S/830	36 W	3597lm	99.9 lm/W

Los valores obtenidos en la simulación son descritos en la siguiente tabla:

Propiedades	Ē (Medio)	Ē (Objetivo)
Primeros Auxilios Altura útil: 0.80m	401 lx	≥300 lx

En la siguiente figura se puede observar las isolíneas.

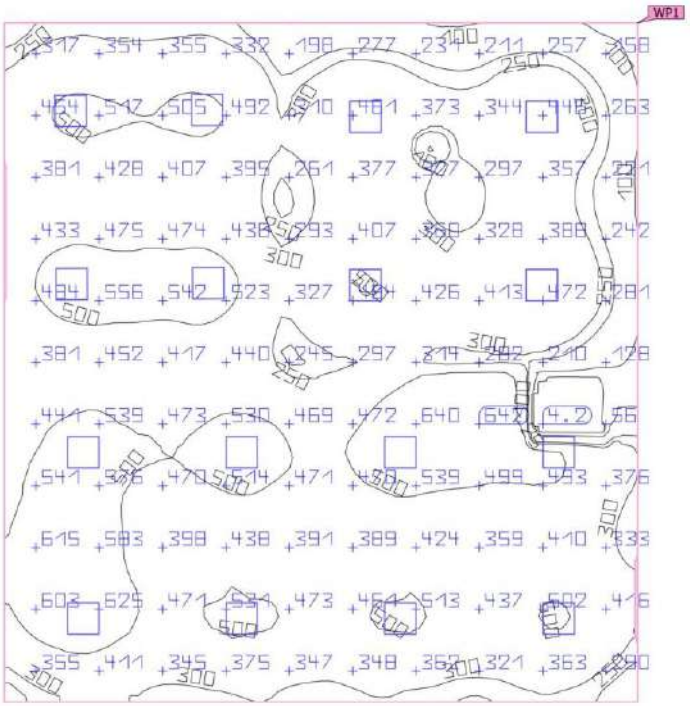


Figura 23. Isolíneas de iluminancia en el Laboratorio de ensayos.

Además, se agregan dos áreas de trabajo con una iluminancia mínima a ser alcanzada según Reglamento de Ande de 500 lux.

Área de trabajo 1

Para alcanzar el valor estipulado en el Reglamento de ANDE de baja tensión es necesaria 1 luminarias LED cuyas características son las siguientes:

Unidades	Nombre del articulo	P	Φ	Rendimiento lumínico
1	SM400C PSD W30L120 1 xLED28S/830	25.5 W	2798 lm	109.7 lm/W

Los valores obtenidos en la simulación son descritos en la siguiente tabla:

Propiedades	Ē (Medio)	Ē (Objetivo)
Primeros Auxilios Altura útil: 0.80m	602 lx	≥500 lx

En la siguiente figura se puede observar las isolíneas.

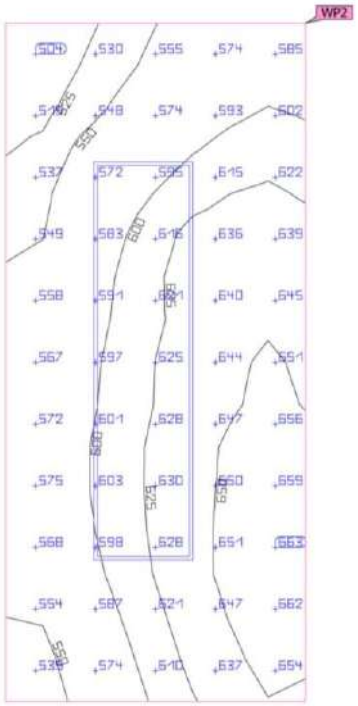


Figura 24. Isolíneas de iluminancia en el área de trabajo 1.

Área de trabajo 2

Para alcanzar el valor estipulado en el Reglamento de ANDE de baja tensión es necesaria 1 luminarias LED cuyas características son las siguientes:

Unidades	Nombre del articulo	P	Φ	Rendimiento lumínico
1	SM400C PSD W30L120 1 xLED28S/830	25.5 W	2798 lm	109.7 lm/W

Los valores obtenidos en la simulación son descritos en la siguiente tabla:

Propiedades	Ē (Medio)	Ē (Objetivo)
Primeros Auxilios Altura útil: 0.80m	593 lx	≥500 lx

En la siguiente figura se puede observar las isolíneas.

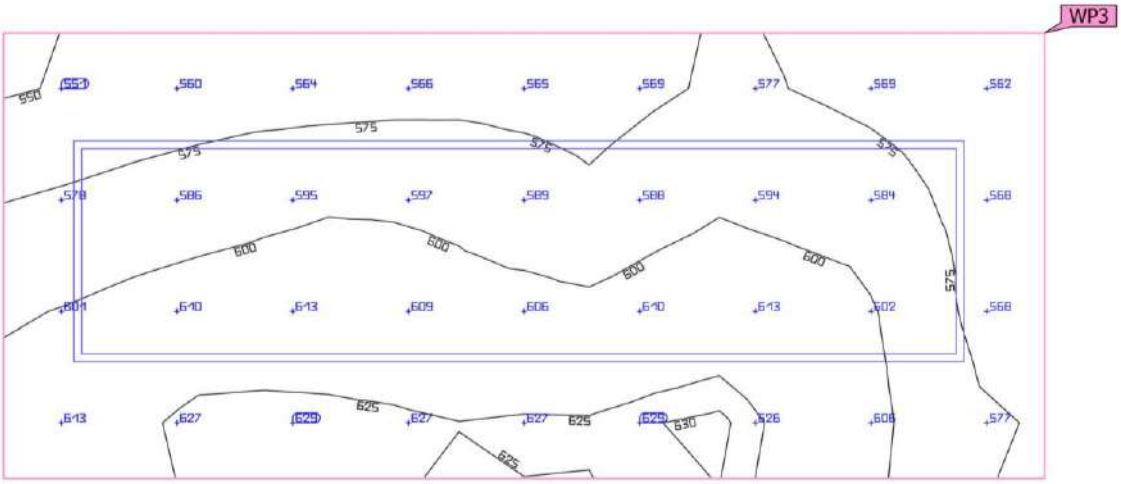


Figura 25. Isolíneas de iluminancia en el área de trabajo 2.

4.5. Dimensionamiento de circuito eléctricos

4.5.1. Dimensionamiento de circuito para equipo de ensayo de vacío y cortocircuito

Se determina la corriente de dicho equipo a partir de la potencia.

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \emptyset} =$$

$$I_c = \frac{21000\ W}{\sqrt{3} \times 380 \times 1} = 31{,}91\ A$$

Se elige un conductor de sección de 4 mm^2 según catálogo de INPACO Tabla N° 3 tipo "D" (Cable Multifilar XLPE) que soporta una corriente nominal de 42 A.

Para la protección termomagnética del circuito se elige una TM de 4x35A.

Se procede a probar por el criterio de corriente admisible.

$$I_C < I_P < I_{adm}$$

$$31{,}91\ A < 35A < 42\ A$$

4.5.2. Dimensionamiento de circuito para equipo de ensayo de tensión inducida (Set Motor-Generador)

Se determina la corriente de dicho equipo a partir de la potencia del motor de 10 HP.

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \emptyset \times n} =$$

$$I_c = \frac{10 \times 750\ W}{\sqrt{3} \times 380 \times 0{,}85 \times 0{,}886} = 15{,}13\ A$$

Se elige un conductor de sección de 2 mm^2 según catálogo de INPACO Tabla N° 3 tipo "D" (Cable Multifilar XLPE) que soporta una corriente nominal de 29 A.

Para la protección termomagnética del circuito se elige una TM de 4x20A.

Se procede a probar por el criterio de corriente admisible.

$$I_C < I_P < I_{adm}$$

$$15{,}13\ A < 20A < 29A$$

4.5.3. Dimensionamiento de circuito para equipo de ensayo de tensión aplicada

Se determina la corriente de dicho equipo a partir de la potencia.

$$I_c = \frac{P}{U \times \cos \emptyset} =$$

$$I_c = \frac{5000\ W}{220 \times 1} = 22{,}72\ A$$

Se elige un conductor de sección de 2 mm^2 según catálogo de INPACO Tabla N° 3 tipo "D" (Cable Multifilar XLPE) que soporta una corriente nominal de 29 A.

Para la protección termomagnética del circuito se elige una TM de 2x25A.

Se procede a probar por el criterio de corriente admisible.

$$I_C < I_P < I_{adm}$$

$$22{,}72\ A < 25\ A < 29\ A$$

4.5.4. Dimensionamiento de circuito para equipo de ensayo de estanqueidad

Se determina la corriente de dicho equipo a partir de la potencia.

$$I_c = \frac{P}{U \times \cos \emptyset} =$$

$$I_c = \frac{1500\ W}{220 \times 1} = 6{,}81\ A$$

Se elige un conductor de sección de 1 mm^2 según catálogo de INPACO Tabla N° 3 tipo "D" (Cable Multifilar XLPE) que soporta una corriente nominal de 20 A.

Para la protección termomagnética del circuito se elige una TM de 2x10A.

Se procede a probar por el criterio de corriente admisible.

$$I_C < I_P < I_{adm}$$

$$6{,}81\ A < 10\ A < 20\ A$$

4.5.5. Dimensionamiento de Tablero de Equipos de Ensayo

En la siguiente tabla se detallan los circuitos del tablero de Equipos de Ensayo, así como las secciones de conductores adoptadas, la distribución de fases y las protecciones termomagnéticas.

Tabla 15. Cuadro de carga del Tablero de Equipos de Ensayo.

Tablero de Equipos de Ensayo							
N°	DENOMINACIÓN	Pot. (W)	S Adop. (mm2)	TM	R	S	T
#1	Equipo para ensayo de vacío y cortocircuito	21.000	4	4x35	21.000		
#2	Transformador Hipot 50 kV	5.000	2	2x25	5.000		
#3	Equipo para ensayo de tensión inducida	7.500	2	4x20	7.500		
#4	Equipo para ensayo de estanqueidad	1.500	1	2x10		1.500	
					TOTAL (W)		35.000

A partir de la tabla anterior se calculan la corriente de línea de cada fase arrojando los siguientes valores:

Fase R: 65,91 A.

Fase S: 50 A.

Fase T: 43,18 A.

Se elige un conductor de sección de 25 mm^2 según catálogo de INPACO (Cable Multifilar atóxico) que soporta una corriente nominal de 78 A.

Para la protección termomagnética del circuito se elige una TM regulable de 4x100A, regulada a 0,7 (4x70A).

Se procede a probar por el criterio de corriente admisible.

$$I_C < I_P < I_{adm}$$

$$65{,}91\ A < 70\ A < 78\ A$$

Dimensionamiento de Tablero de iluminación, tomacorriente y A.A.

En la siguiente tabla se detallan los circuitos del Tablero de iluminación, tomacorriente y A.A., así como las secciones de conductores adoptadas, la distribución de fases y las protecciones termomagnéticas.

Tabla 16. Cuadro de carga del Tablero de iluminación, tomacorriente y A.A.

Tablero de iluminación, tomacorriente y A.A.							
N°	DENOMINACIÓN	Pot. (W)	S Adop. (mm2)	TM	R	S	T
#1	Iluminación	628	4	4	628		
#2	Tomacorriente	1.600	4	10		1.600	
#3	Equipo A.A.	1.500	4	10			1.500
#4	Equipo A.A.	1.500	4	10	1.500		
#5	Equipo A.A.	2.400	4	15		2.400	
#6	Equipo A.A.	2.400	4	15			2.400
				SUBTOTAL	2.128	4.000	3.900
					TOTAL (W)		10.028

A partir de la tabla anterior se calculan la corriente de línea de cada fase arrojando los siguientes valores:

Fase R: 9,67 A.

Fase S: 18,18 A.

Fase T: 17,73 A.

Se elige un conductor de sección de 4 mm^2 según catálogo de INPACO (Cable Multifilar atóxico) que soporta una corriente nominal de 25 A.

Para la protección termomagnética del circuito se elige una TM de 4x20A.

Se procede a probar por el criterio de corriente admisible.

$$I_C < I_P < I_{adm}$$

$$18{,}18\ A < 20\ A < 25\ A$$

ANÁLISIS ECONÓMICO

Presupuesto del laboratorio de ensayos de rutina de transformadores

En esta sección se pretende determinar cuál será el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto de laboratorio de ensayos de rutina.

Se realiza un desglose de todos los egresos en la siguiente tabla.

Tabla 17. Resumen de costos del proyecto Laboratorio de ensayos de rutina.

Recursos	**Costo (USD)**
Costos de equipos de ensayo	177.128
Costo de montaje e instalación	3.300
Imprevistos (5%)	9.021
TOTAL (USD)	189.449

Costos de equipos de ensayo

El costo de la adquisición de los equipos para realizar los ensayos de rutina es de 177.128 USD. En la siguiente tabla se detalla el costo de cada equipo.

Tabla 18. Resumen de costos de equipos de ensayo.

Detalle	**Modelo**	**Cantidad**	**Precio (USD)**
Equipo para prueba de vacío y cortocircuito	TTS35	1	146.919
Equipo para prueba de resistencia de aislamiento	AEMC 5060	1	3.650
Equipo par prueba de relación de transformación	AEMC DTR-8510	1	3.105
Equipo para prueba de estanqueidad	Compresor 2 HP	1	1.007
	Manómetro y accesorios	1	82
Equipo de prueba dieléctrica de aceite	HIPOTRONICS OC60-Di	1	9.200
Equipo para prueba de resistencia de devanado	AEMC 6255	1	5.389
Equipo para prueba de tensión aplicada	Transformador 50kV ATO-HTGTB-350	1	2.448
Equipo para prueba de tensión inducida	Set Motor-Generador	1	4.500
Jaula de Faraday	-	1	828
		Total (USD)	177.128

Los precios anteriores no incluyen delivery ni despacho. Los equipos de la marca AEMC pueden ser adquiridos mediante el representante oficial de la marca en Paraguay (Tecno-Electric SA). El equipo TTS y HIPOTRONICS son de procedencia americana, pueden ser importados mediante su representante ubicado en Argentina (DSGroup). El transformador de potencial es de procedencia China, en cambio puede solicitarse su fabricación a la empresa Trafosur u otro local.

Costo de montaje e instalación

El costo de mano de obra de la instalación de los equipos y el montaje de tableros eléctricos es de aproximadamente de 3.300 USD.

Costo de la jaula de Faraday

Se realiza un cálculo del costo estimativo de la jaula de Faraday en la siguiente tabla.

Tabla 19. Resumen de costo de la jaula de Faraday

Denominación	Cantidad	Unidad	Precio (Gs.)	Subtotal (Gs.)
Malla metálica	104	m2	11.000	1.144.000
Caño cuadrado	78	m.	9.350	731.170
Bisagra	15	unidad	4.000	60.000
Consumibles	1	unidad	500.000	500.000
Mano de obra	40	horas	90.000	3.600.000
			Total (Gs.)	6.035.170
			Total (USD)	**828**

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente proyecto final de grado se ha realizado el diseño de un laboratorio de ensayos de rutina para transformadores de distribución de hasta 500 kVA.

A partir de la revisión de las Especificaciones Técnicas de la ANDE, la norma NBR 5356-1 y la norma ASTM D877 se identificaron los ensayos de rutina de transformadores.

Mediante la utilización de equipos normalizados en el laboratorio se podrán realizar los siguientes ensayos de rutina:

- medición de la resistencia de los devanados;
- medición de la relación de transformación y polaridad y verificación del desplazamiento angular y secuencia de fase;
- medición de impedancia de cortocircuito y pérdidas de carga;
- medición de pérdidas sin carga y corriente de excitación;
- ensayos dieléctricos de rutina;
- medición de la resistencia de aislamiento;
- ensayo de rigidez dieléctrica del aceite;
- estanqueidad y resistencia a la presión.

Se proveen guías de procedimientos para la ejecución de los ensayos anteriormente mencionados.

Finalmente se elaboró el presupuesto del proyecto de laboratorio de ensayos de rutina. No se realizó un análisis de costo-beneficio por tratarse de un aporte a la FCyT. No obstante, al contar con un laboratorio se podría impartir clases prácticas orientadas a los alumnos y profesionales del área de electricidad, también puede encararse de tal manera a que pueda ser utilizado comercialmente, a través de servicios que la Facultad puede ofrecer con estos equipos a empresas del rubro eléctrico.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La presente tesis contiene una descripción de los ensayos de rutina según las normas NBR 5356-1 y ASTM D877, selección de los equipos normalizados para el laboratorio de transformadores, una guía de procedimientos para la realización de los ensayos de rutina y un modelo de hoja de registro para los ensayos los ensayos de rutina realizados.

El área requerida para la ejecución de los ensayos de transformadores de distribución de hasta 500 kVA es de 156 m^2, considerando la óptima ubicación de los equipos, condiciones de seguridad, comodidad del personal e impartición de clases prácticas a alumnos de la FCyT.

Las dimensiones de la jaula de Faraday deberán ser: 6,3 metros de ancho, 6,6 metros de largo y 2,5 metros, esto teniendo en cuenta la distancia de seguridad según la norma NR10. Dicha jaula deberá estar puesta sólidamente a tierra.

El costo estimativo del proyecto de laboratorio es de 189.449 dólares.

La utilización del laboratorio de ensayos de rutina puede tener un carácter didáctico para prácticas de alumnos de la FCyT, o encararse de tal manera a que pueda ser utilizado comercialmente, a través de servicios que la Facultad puede ofrecer con estos equipos a empresas del rubro eléctrico.

RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

- Tomar las debidas precauciones durante las pruebas eléctricas, durante las conexiones, ya que las malas conexiones pueden causar daños al equipo y a la persona que realiza el ensayo. Esto evitará accidentes y daños al equipo.
- Diseñar el sistema de puesta a tierra para la jaula de Faraday en las coordenadas geográficas en donde se construirá el Laboratorio, con un valor sugerido de resistencia de puesta a tierra menor a 5 Ω.
- Realizar un estudio de mercado para determinar el costo-beneficio de la utilización comercial del laboratorio.
- Realizar el proyecto de la obra civil del laboratorio de ensayo de transformadores atendiendo las características a tener en cuenta para la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

[1] L. A. V. Restrepo, Diseño de un laboratorio de pruebas eléctricas para transformadores de distribución de la empresa R.V.R. Transformadores, Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA , 2013.

[2] J. P. C. Aleaga, Diseño de un laboratorio de pruebas para transformadores de distribución para la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.-LOJA, Cuenca: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA , 2010.

[3] J. D. L. G. and D. M. M. B, Diseño de un laboratorio para ensayos de rutina a transformadores y ensayos dieléctricos diversos clase 25 kV, San Lorenzo: UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN, 2007.

[4] J. P. González Rolón, Diseño de un laboratorio para práctica de sistemas de protecciones eléctricas de potencia basado en dispositivos programables utilizados en subestaciones de alta tensión para la FCyT de la UNCA, Coronel Oviedo: FCyT, 2022.

[5] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 5356-1. Transformadores de potência., Brasilia: PETROBRAS, 2007.

[6] ANDE, Especificaciones Técnicas ANDE N°04.13.25 Rev. 3 Transformador monofásico convencional de distribución, Asunción, 2019.

[7] ANDE, Especificaciones Técnicas ANDE N°04.14.14 Rev. 6 Transformador trifásico convencional de distribución, Asunción, 2014.

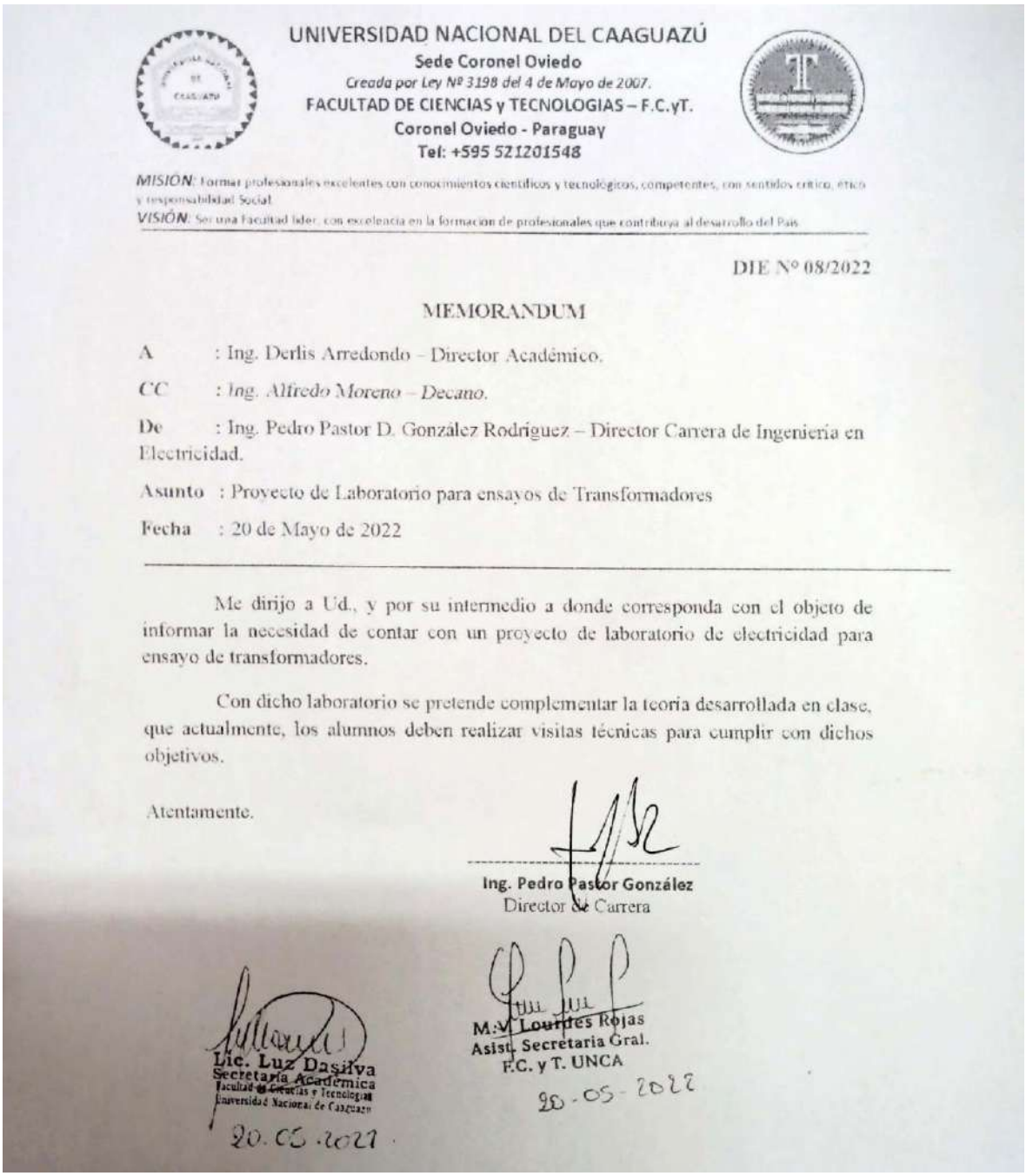
[8] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 5356-3 Transformadores de potência Parte 3: Níveis de isolamento, ensaios dielétricos e espaçamentos externos em ar, Brasilia: ELETROSUL, 2007.

[9] INDUCOR INGENIERIA S.A., GUIA DE LABORATORIO PRACTICAS DE ENSAYOS EN EL UTNLAT, Buenos Aires: UTNLAT, 2007.

[10] Haefely, High Voltage Contruction Kit manual, 2001.

ANEXO

ANEXO 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ
Sede Coronel Oviedo
Creada por Ley Nº 3198 del 4 de Mayo de 2007.
FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGIAS – F.C.yT.
Coronel Oviedo - Paraguay
Tel: +595 521201548

MISION: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DIE Nº 08/2022

MEMORANDUM

A : Ing. Derlis Arredondo – Director Académico.

CC : *Ing. Alfredo Moreno – Decano.*

De : Ing. Pedro Pastor D. González Rodríguez – Director Carrera de Ingeniería en Electricidad.

Asunto : Proyecto de Laboratorio para ensayos de Transformadores

Fecha : 20 de Mayo de 2022

Me dirijo a Ud., y por su intermedio a donde corresponda con el objeto de informar la necesidad de contar con un proyecto de laboratorio de electricidad para ensayo de transformadores.

Con dicho laboratorio se pretende complementar la teoría desarrollada en clase, que actualmente, los alumnos deben realizar visitas técnicas para cumplir con dichos objetivos.

Atentamente.

Ing. Pedro Pastor González
Director de Carrera

Lic. Luz Dasilva
Secretaria Académica
Facultad de Ciencias y Tecnología
Universidad Nacional de Caaguazú
20.05.2022

M.V. Lourdes Rojas
Asist. Secretaria Gral.
F.C. y T. UNCA
20-05-2022

ANEXO 2

PHENIX

ANEXO 3

HOJA DE REGISTRO DE ENSAYOS DE TRANSFORMADORES							FCyT
Aceite mineral ☐ Aceite Bio degradable ☐					Trifásico ☐ Monofásico ☐		
Marca		Potencia kVA			Serie No.		
Normas		Tipo de refrigeración			Frecuencia Hz		
Magnitudes Primarias			Magnitudes Secundarias				
Conexión Triangulo-Estrella			Conexión Triangulo- Paralelo Conexión Estrella- Serie				
TAP	V	A	V	A	V	A	
1							
2							
3							
4							
5							
Cantidad de bornes			Cantidad de bornes				

Perdidas en Vacío			Perdidas en cortocircuito		
Kp (TP)=	Kc (TC)=	Kp.Kc (TPxTC)=	Kp (TP)=	Kc (TC)=	Kp.Kc (TPxTC)=
V1=	I1=	W1=	V1=	I1=	W1=
V2=	I2=	W2=	V2=	I2=	W2=
V3=	I3=	W3=	V3=	I3=	W3=
V1=	I1=	W1=	V'=	I'=	W'=
V2=	I2=	W2=	Vcc=	In=	Wcc=
V3=	I3=	W3=	Perdidas en el Cobre a: _____ °C		
V'=	I'=	W'=	R eq. prim. x Inp^2=		W
V''=	I''=	W''=	R eq. prim. x Ins^2=		
Vn=	Io= Io%=	Wo=	W adic.=Wcc- Wcu		

Resistencia de aislamiento con Megger		
AT contra BT _____ kV	AT contra Tierra _____ kV	BT contra Tierra _____ kV
MΩ	MΩ	MΩ

Ensayo de Rigidez dieléctrica del aceite			
N° de Pruebas	Promedio	Método	Rigidez
	kV/__mm		kV/cm

Ensayo de tensión aplicada							
Circuito	Nivel	kV Nominal	kV Aplicado	Frec.	Tiempo	Resultado	Observación
AT - MASA	25 kV	50		50 Hz	60 seg.		
BT- MASA	1,2 kV	10		50 Hz	60 seg.		

Ensayo de tensión inducida							
Circuito	V BT	V Nominal	V Aplicado	Frec.	Tiempo	Resultado	Observación
BT	400	800		100 Hz	60 seg.		
BT	400	800		100 Hz	60 seg.		

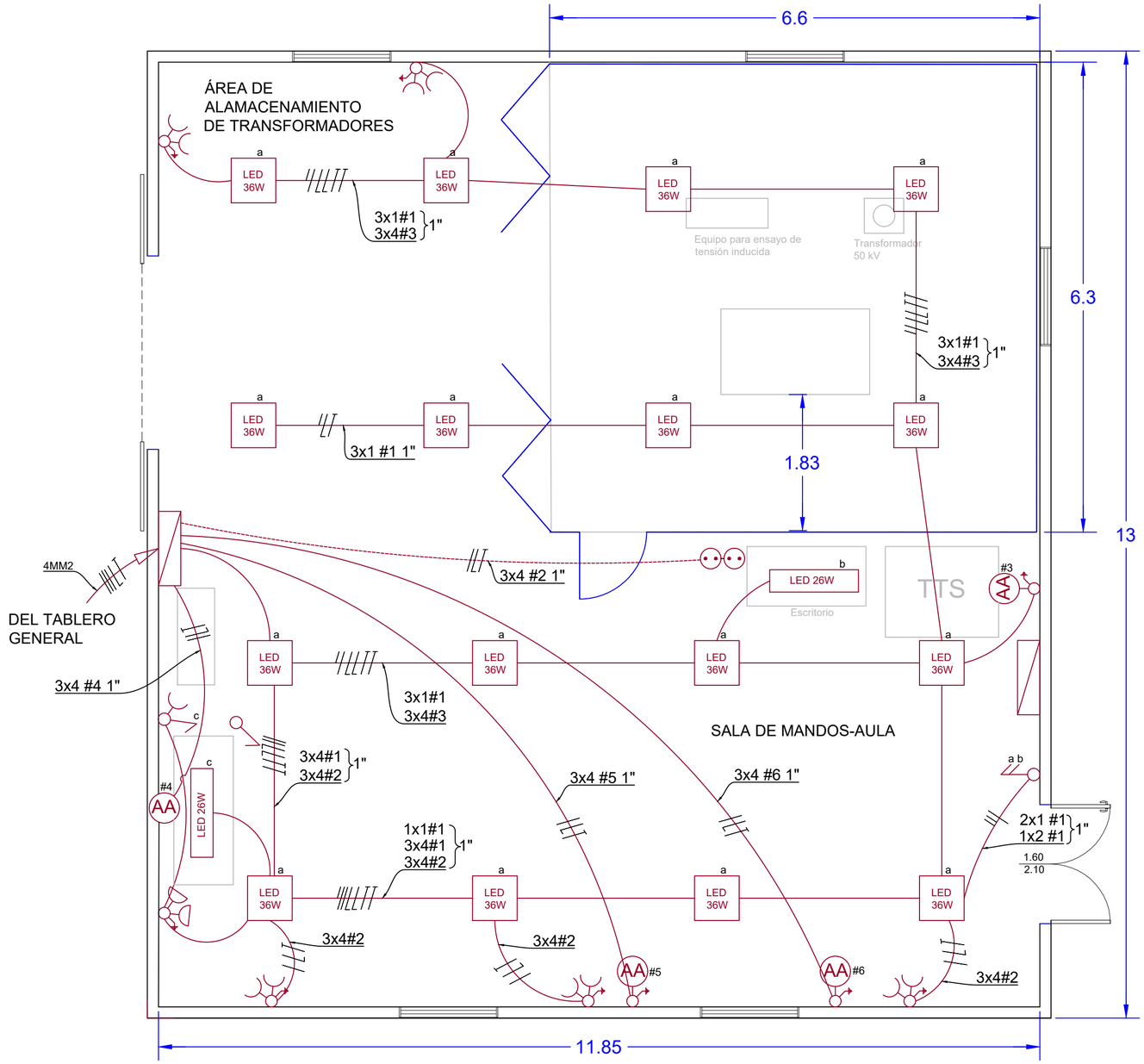
Ensayo de Polaridad – Relación de transformación – Secuencia – Grupo de Conexión					
TAP	Columna	Columna	Columna	Relación Nominal	Resultado
1					
2					
3					
4					
5					
Polaridad		Secuencia	Grupo de conexión		

Ensayo de estanqueidad			
Presión	MPa	Duración	

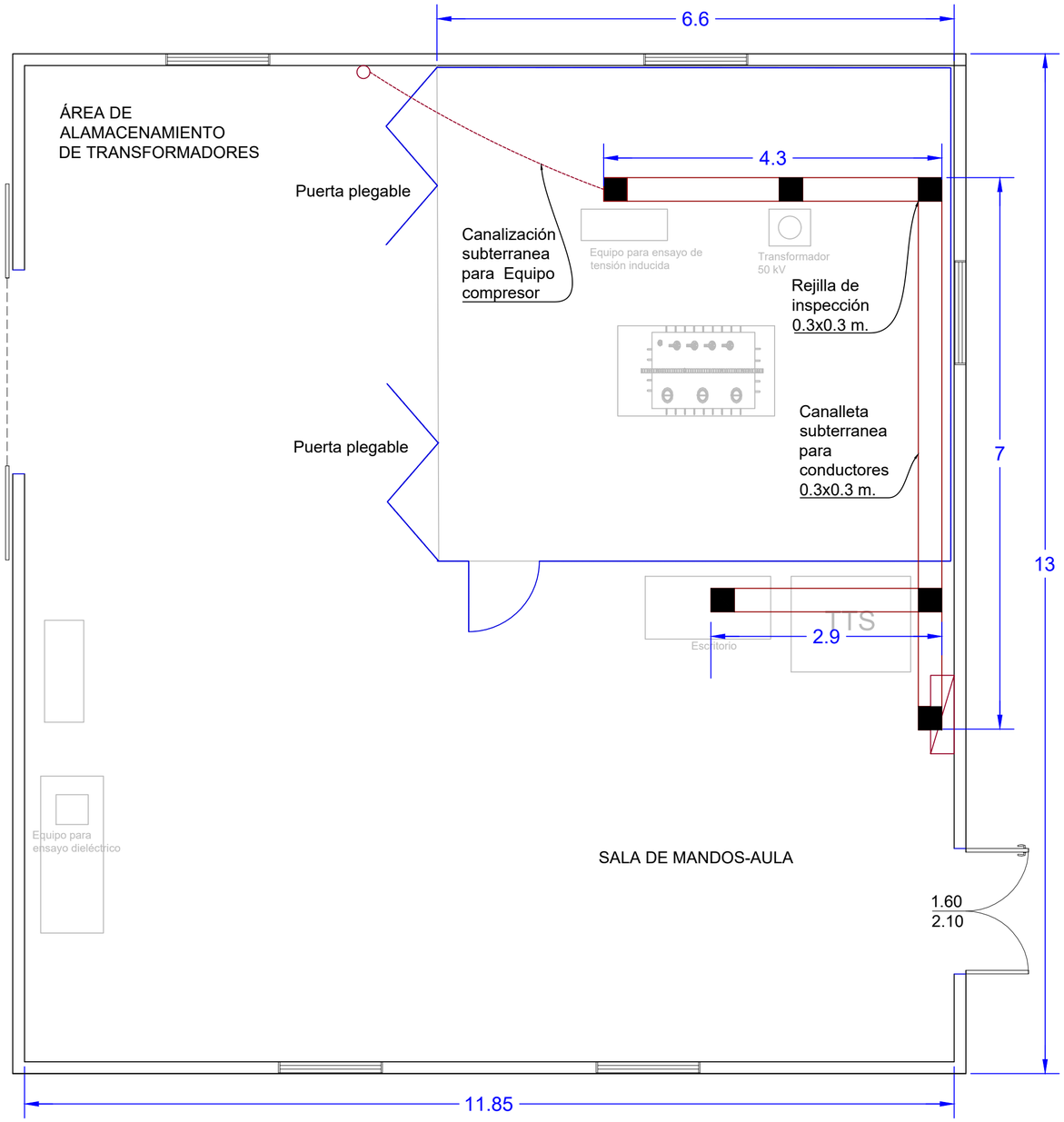
Valores referidos a 75 °C

Wcu | Wadic. | Wcc | Wtot. | Vcc%

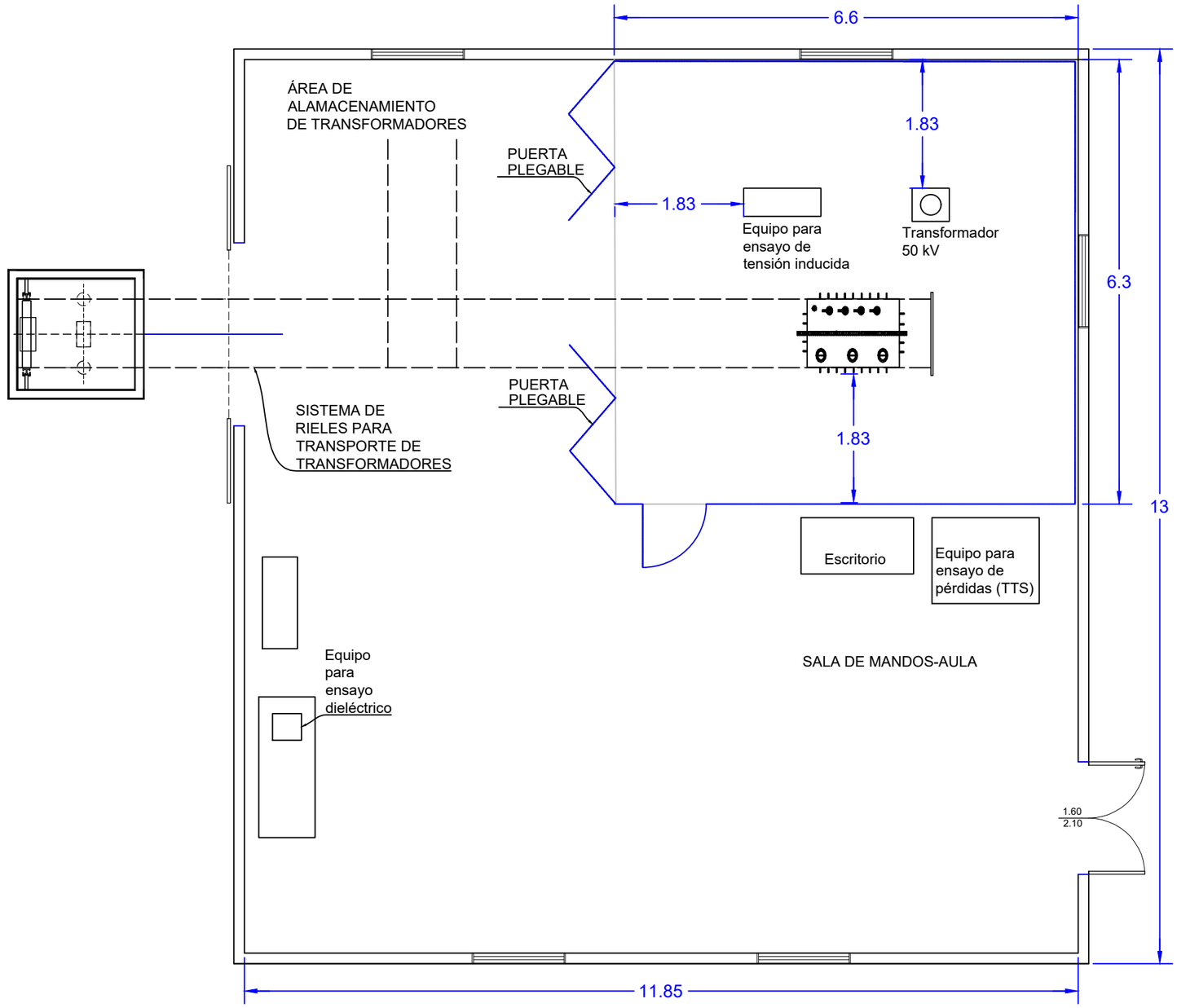
Ensayado por:	Resultado	Fecha



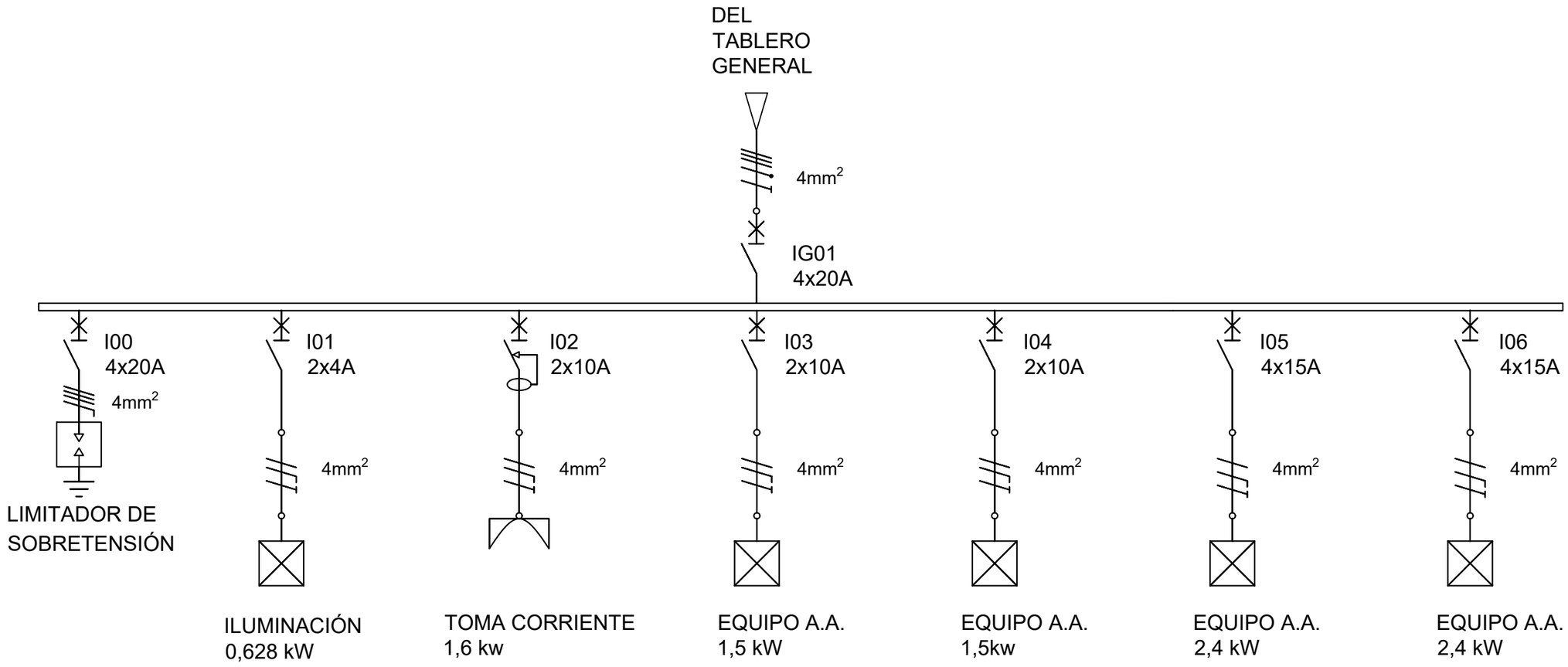
OBRA: LABORATORIO DE ENSAYOS
INSTITUCIÓN: FCyT UNCA
DIRECCIÓN: CAMPUS DE LA UNCA
PLANO ELÉCTRICO B.T.
REALIZADO Y DONADO EN JULIO DE 2023 POR:
FRANCISCO JAVIER MARIN SANABRIA



OBRA: LABORATORIO DE ENSAYOS
INSTITUCIÓN: FCyT UNCA
DIRECCIÓN: CAMPUS DE LA UNCA
PLANO DE OBRA CIVIL
REALIZADO Y DONADO EN JULIO DE 2023 POR:
FRANCISCO JAVIER MARIN SANABRIA

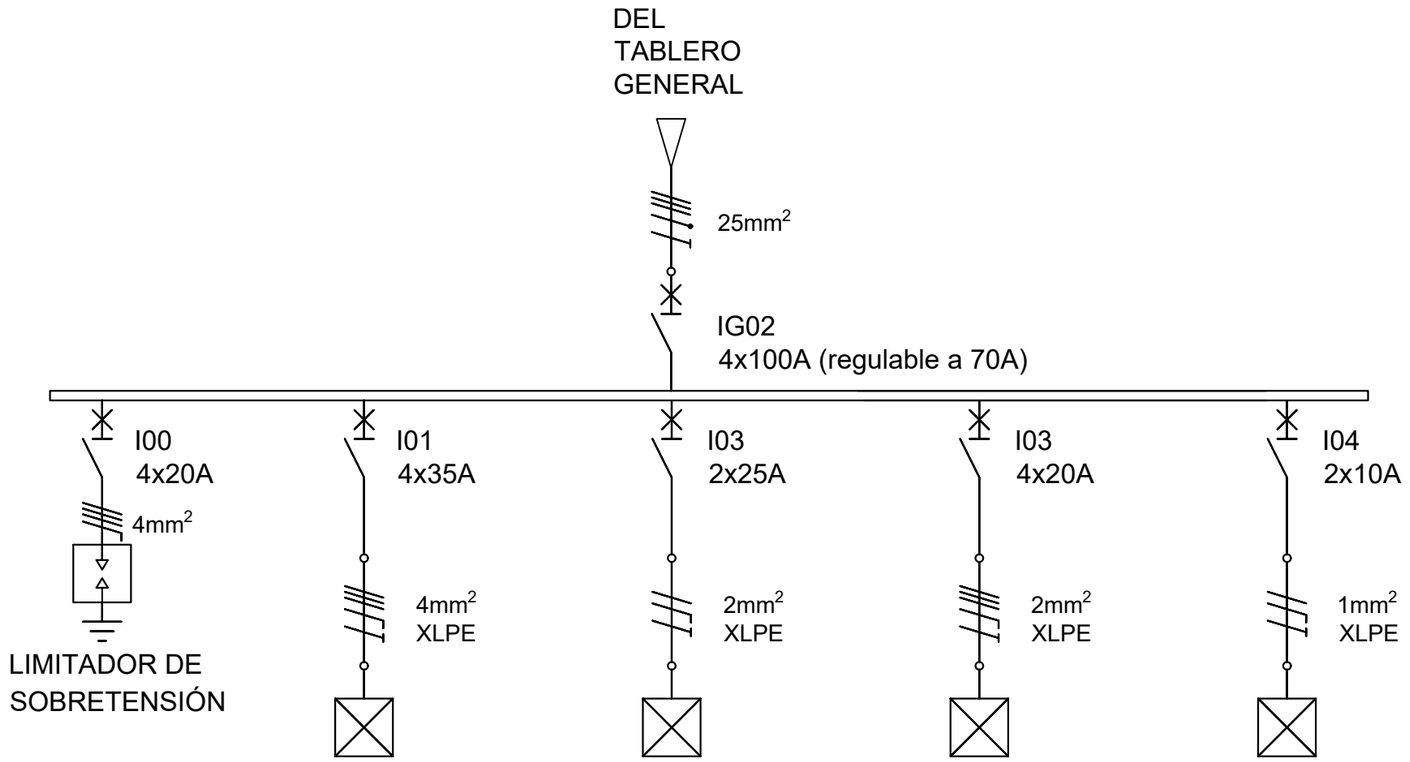


OBRA: LABORATORIO DE ENSAYOS
INSTITUCIÓN: FCyT UNCA
DIRECCIÓN: CAMPUS DE LA UNCA
PLANO DE UBICACIÓN DE EQUIPOS
REALIZADO Y DONADO EN JULIO DE 2023 POR:
FRANCISCO JAVIER MARIN SANABRIA



Tablero de iluminación, tomacorriente y A.A.							
N°	DENOMINACIÓN	Pot. (W)	S Adop. (mm2)	TM	R	S	T
#1	Iluminación	628	4	4	628		
#2	Tomacorriente	1.600	4	10		1.600	
#3	Equipo A.A.	1.500	4	10			1.500
#4	Equipo A.A.	1.500	4	10	1.500		
#5	Equipo A.A.	2.400	4	15		2.400	
#6	Equipo A.A.	2.400	4	15			2.400
				SUBTOTAL	2.128	4.000	3.900
					TOTAL (W)		10.028

OBRA: LABORATORIO DE ENSAYOS
INSTITUCIÓN: FCyT UNCA
DIRECCIÓN: CAMPUS DE LA UNCA
ESQUEMA UNIFILAR
REALIZADO Y DONADO EN JULIO DE 2023 POR:
FRANCISCO JAVIER MARIN SANABRIA



Tablero de Equipos de Ensayo							
N°	DENOMINACIÓN	Pot. (W)	S Adop. (mm2)	TM	R	S	T
#1	Equipo para ensayo de vacío y cortocircuito	21.000	4	4x35		21.000	
#2	Transformador Hipot 50 kV	5.000	2	2x25	5.000		
#3	Equipo para ensayo de tensión inducida	7.500	2	4x20		7.500	
#4	Equipo para ensayo de estanqueidad	1.500	1	2x10		1.500	
					TOTAL (W)		35.000

OBRA: LABORATORIO DE ENSAYOS
INSTITUCIÓN: FCyT UNCA
DIRECCIÓN: CAMPUS DE LA UNCA
ESQUEMA UNIFILAR
REALIZADO Y DONADO EN JULIO DE 2023 POR:
FRANCISCO JAVIER MARIN SANABRIA