



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO DE LA DISTRIBUCION FISICA DEL LABORATORIO
Y GUIAS DE PRUEBAS PARA CABLES SUBTERRANEOS,
TRANSFORMADORES E INTERRUPTORES A NIVEL DE
TENSION DE 13,8 KV”**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

EDISON JAVIER MARTÍNEZ MUÑOZ

ROMEL GERMAN TOLEDO CALVOPIÑA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento total es para Dios por: permitirme tener una maravillosa familia, estar en una de las mejores universidades del Ecuador, los profesores que aportaron su granito de arena para instruirme tanto en lo académico como en la vida personal destacando a un profesor pero lastimosamente no me recuerdo su nombre pero me enseñó algo muy valioso: “Mientras más alto se llegue más humilde hay que ser” y “Nunca mirar por debajo ni por encima de nadie y a todos tratarlos por igual” y a los muchos de los amigos y compañeros que conocí dentro de la ESPOL sin mirar clase social ni estatus solamente como me trataron y me ayudaron muchas veces a sobrellevar la vida dentro de la ESPOL. Extrañare esas tardes de futbol que siempre eran una medicina para olvidar por un momento las tareas que mandaban.

Edison Javier Martínez Muñoz

En primer lugar quiero agradecer a la ESPOL por darme la oportunidad de educarme a la FIEC que me permitió estudiar siempre lo que quise, a todos mis profesores en especial a mi director Dr. Cristóbal Mera por haberme guiado en este proyecto.

Agradezco a mis amigos que formaron parte de mi carrera a todo el grupo de potencia, a los que formaron parte de mi vida: Bolívar, David, Luis, Franco, Andrés, a los que siempre me acompañaron en los momentos más difíciles de mi vida: Ing. Víctor Breedy y Johnny.

Y de una manera especial quiero agradecer al Padre José Manangon y la Lcda. Mery Martínez por haber apoyado siempre.

Romel Germán Toledo Calvopiña

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a Dios, mi familia en especial a mis padres por haberme tenido mucha paciencia, mis profesores por esas enseñanzas de que para triunfar hay que sufrir un poco y mis amigos de la ESPOL por estar con ellos y pasar tardes divertidas haciendo algún actividad recreativa.

Edison Javier Martínez Muñoz

Este trabajo va dedicado a mis padres, mi hermana por su enorme trabajo del día a día y a la memoria de mi abuela materna; Dios les ayude siempre.

Romel Germán Toledo Calvopiña

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
PhD. Cristóbal Colon Mera Gecón

PROFESOR DE MATERIA
INTEGRADORA

.....
Ing. Jimmy Córdova

TUTOR ACADÉMICO

“DISEÑO DE LA DISTRIBUCION FISICA DEL LABORATORIO Y GUIAS DE PRUEBAS PARA CABLES SUBTERRANEOS, TRANSFORMADORES E INTERRUPTORES A NIVEL DE TENSION DE 13,8 KV”

***EDISON JAVIER MARTÍNEZ MUÑOZ, ROMEL GERMÁN TOLEDO CALVOPÍÑA
Mat. # 200623064, 200715381***

II TERMINO - 2017

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

La ESPOL y los autores de este documento no se responsabilizan por el mal manejo de los equipos, mal uso de los procedimientos para la realización de las pruebas propuestas y el no cumplimiento de las normas de seguridad mínima para realizar cualquier prueba eléctrica"

Edison Javier
Martínez Muñoz

Romel German Toledo
Calvopiña

RESUMEN

Para la implementación y construcción de un laboratorio primero se debe considerar los trámites pertinentes para su certificación con la norma ISO/IEC 17025, además de su diseño físico y eléctrico.

Los elementos que se proponen realizar pruebas dentro y/o fuera del laboratorio son: los transformadores de distribución con las pruebas SFRA y PD; interruptores de potencia con las pruebas DRM y Voltaje Mínimo; y por último los cables subterráneos con las pruebas FD con VLF y Localización de PD.

Para las todas las guías de pruebas se considera la norma IEEE Std 510-1983 para resguardar la seguridad del personal del laboratorio, así como a terceros; y también de los Equipos de Protección Personal (EPP) como: el casco, las gafas aislantes, ropa de protección, guantes dieléctricos, botas dieléctricas y el medidor de ausencia de tensión.

Los equipos para realizar las pruebas en transformadores son: FRAX 101 para la prueba SFRA y MPD 600 para la prueba PD. Para los interruptores es el CIBANO 500 para la prueba DRM y Voltaje Mínimo. Y para los cables subterráneos son: Tan Delta para la prueba FD con VLF y Teleflex SX para la prueba de Localización de PD.

En el diseño del trazado físico del laboratorio se consideró los espacios físicos especificados en la norma UNE 207020 IN para las pruebas a diferentes niveles de voltaje contando con un área de aceites, desembarque, oficina y otras más.

En el diseño eléctrico se consideró varios circuitos separados de: alumbrado uno de 110 V y otro 220 V; tomacorrientes de 110 V y de 220 V; los acondicionadores de aire; grúa; compresor; horno y equipos de computación de la oficina para el cálculo de la dimensión de los disyuntores que sean necesarios. En el cual se necesitó un transformador de 150 KVA para suplir toda la demanda del laboratorio.

Palabras Clave: ISO/IEC 17025, SFRA, PD, DRM, Voltaje Mínimo, FD con VLF, Localización de PD, IEEE Std 510-1983, FRAX 101, MPD 600, CIBANO 500, Tan Delta, Teleflex SX, UNE 207020 IN.

ABSTRACT

For the implementation and construction of a laboratory you must first consider the relevant procedures for its certification with the ISO / IEC 17025 standard, in addition to its physical and electrical design.

The elements that are proposed to carry out tests inside and / or outside the laboratory are: the distribution transformers with the SFRA and PD tests; power switches with DRM and Minimum Voltage tests; and finally the underground cables with the FD tests with VLF and Localization of PD.

For all the test guides, the IEEE Std 510-1983 standard is considered to safeguard the safety of laboratory personnel, as well as third parties; and also Personal Protective Equipment (PPE) such as: the helmet, insulating glasses, protective clothing, dielectric gloves, dielectric boots and the absence of tension meter.

The equipment to perform the tests on transformers are: FRAX 101 for the SFRA test and MPD 600 for the PD test. For the switches is the CIBANO 500 for the DRM and Minimum Voltage test. And for the underground cables are: Tan Delta for the FD test with VLF and Teleflex SX for the PD Localization test.

In the design of the physical layout of the laboratory, the physical spaces specified in the UNE 207020 IN standard were considered for tests at different voltage levels, with an area of oils, landings, offices and others.

In the electrical design several separate circuits were considered: lighting one of 110 V and another 220 V; 110 V and 220 V outlets; the air conditioners; crane; compressor; furnace and computer equipment of the office for the calculation of the dimension of the circuit breakers that are necessary. In which a transformer of 150 KVA was needed to supply all the demand of the laboratory.

Keywords: ISO/IEC 17025, SFRA, PD, DRM, Minimum Voltage, FD with VLF, Localization of PD, IEEE Std 510-1983, FRAX 101, MPD 600, CIBANO 500, Tan Delta, Teleflex SX, UNE 207020 IN.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objtivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Marco Teórico	3
CAPÍTULO 2	12
2. METODOLOGIA PARA LAS GUIAS DE PRUEBAS PROPUESTAS Y CRITERIO DEL DISEÑO DEL LABORATORIO.....	12
2.1.1 SFRA en transformadores.....	18
2.1.2 Prueba PD para transformadores.....	20
2.1.3 Prueba DRM para interruptores.....	21
2.1.4 Prueba Voltaje Mínimo para interruptores.....	23
2.1.5 Prueba Factor de Disipación con VLF en cables subterráneos.....	24
2.1.6 Prueba Localización PD en cables subterráneos.....	26
2.2 Guías de pruebas propuestas.....	28
2.2.1 Prueba SFRA en transformadores.....	28

2.2.2	Prueba PD en transformadores.	33
2.2.3	Prueba DRM y Voltaje Mínimo en interruptores.....	35
2.2.4	Prueba FD con VLF en cables subterráneos.	40
2.2.5	Prueba Localización de PD con TDR en cables subterráneos.	43
2.3	Criterio de Diseño para el Laboratorio de pruebas eléctricas.....	47
CAPÍTULO 3		54
3.	ANÁLISIS DE Resultados y del criterio del diseño del laboratorio	54
3.1	Dimensiones de las áreas del trazado físico.	54
3.2	Diseño eléctrico.....	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		71
BIBLIOGRAFÍA		75
ANEXOS		78

ABREVIATURAS

ANSI	American National Standards
CNEL	Corporación Nacional de Electricidad
ASTM	American Society for Testing and Materials
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
NACE	National Association of Corrosion Engineer
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
MPY	Milésimas de pulgadas por año
NATSIM	Normas de acometidas cuartos de transformadores y sistemas de medición para suministro de electricidad.
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
SNI	Sistema Nacional Interconectado
ISO	Organización Internacional de Estandarización
IEC	International Electrotechnical Commission
EPP	Elemento de Protección Personal
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
NEC	Código Nacional de Electrificación
PD	Descargas Parciales
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
SFRA	Análisis de respuesta por barrido de frecuencia
VLF	Very Low Frequency

SIMBOLOGÍA

Ac	Área circular
HP	Caballos de fuerza
Icc	Corriente de corto circuito
Kwh	Kilovatio-hora
m	Metro
mV	Milivoltio
n	Rendimiento
P	Potencia
Pe	Potencia eléctrica
t	Tiempo
Ta	Temperatura mínima
Tm	Temperatura máxima
v	Velocidad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Laboratorio de pruebas eléctricas LabIntec.	3
Figura 1.2: Organigrama para la certificación y acreditación de un laboratorio de pruebas eléctricas.	4
Figura 1.3: Transformador de distribución.....	6
Figura 1.4: Deformación de una bobina de un transformador.	6
Figura 1.5: Interruptores para distribución de 72 KV.	8
Figura 1.6: Cable subterráneo quemado debido a falla en su aislamiento.	10
Figura 2.1: Casco de protección personal	14
Figura 2.2: Gafas protectoras	15
Figura 2.3: Ropa para realizar trabajos en instalaciones electricas	15
Figura 2.4: Guantes dielectricos para pruebas electricas.....	16
Figura 2.5: Calzado dieléctrico marca Nazca	17
Figura 2.6: Dectector de ausencia de tensión	18
Figura 2.7: Regiones de análisis de la curva SFRA	19
Figura 2.8: Circuito equivalente para un PD.....	20
Figura 2.9: Gráficas de voltajes de las PD en un transformador	21
Figura 2.10: Curva de Resistencia vs Tiempo para la prueba DRM.....	22
Figura 2.11: Circuito de disparo para un interruptor de potencia.....	23
Figura 2.12: Circuito Equivalente del Cable Envejecido para la Prueba de Factor de Disipación ($\tan \delta$)	24
Figura 2.13: Diagrama fasorial de la corriente en el Dieléctrico	25
Figura 2.14: Equipos de medición para la prueba VLF en cables subterráneos	25
Figura 2.15: Circuito equivalente de un cable subterráneo para las mediciones de PD	26

Figura 2.16: Pulsos de excitación para estimar la ubicación de una PD en cables subterráneos	28
Figura 2.17: Megger FRAX 101.	29
Figura 2.18: Caja de Prueba FTB 101.....	29
Figura 2.19: Tabla de resultados SFRA	32
Figura 2.20: Omicron MPD 600.....	33
Figura 2.21: Grafica de Lissajous para el análisis de la prueba PD en transformadores	34
Figura 2.22: OMCRON CIBANO 500.	35
Figura 2. 23: Curva DRM de una fase del interruptor.....	38
Figura 2. 24: SebaKMT Tan Delta. Imagen obtenida del “Operating Instructions tan Delta Test Attachment”	40
Figura 2. 25: Curva de voltaje de prueba y tan δ promedio en una fase del cable subterráneo.	43
Figura 2. 26: MEGGER Teleflex SX.	44
Figura 2. 27: Transmisor de impulso PD - TX	44
Figura 2. 28: Estimación de la distancia del DP mediante el análisis de la curva TDR.	46
Figura 2. 29: Planta Arquitectónica del Laboratorio de Pruebas Eléctricas.....	53
Figura 3.1: Área de aceites del Laboratorio.....	55
Figura 3.2: Área de prueba.....	56
Figura 3.3: Área de desembarque.....	57
Figura 3.4: Área del transporte plataforma.....	57
Figura 3.5: Área de equipos.	58
Figura 3.6: Área de secado.	59
Figura 3.7: Área del compresor.....	59

Figura 3.8: Base del transformador.	60
Figura 3.9: Conexión del transformador de potencia.....	61
Figura 3.10: Área de herramientas personales.	61
Figura 3.11: Circuito de alumbrado.	62
Figura 3.12: Trazado del circuito de fuerza.	64
Figura 3.13: Malla de puesta a tierra.	67
Figura 3.14: Diagrama Unifilar.....	70
Figura A.1.1: Conexión del módulo FTB 101.....	79
Figura A.1. 2: Diagrama de Conexiones del FRAX 101.	79
Figura A.1.3: Diagrama de conexiones del MPD 600.....	81
Figura A.1. 4: Diagrama de conexiones del CIBANO 500.	83
Figura A.1. 5: Diagrama de conexiones del Tan Delta.	85
Figura A.1. 6: Vista Posterior del Teleflex SX.....	86
Figura A.1. 7: Diagrama de conexiones del Teleflex SX.	87
Figura A.3. 1: Vista aérea del Laboratorio.....	90
Figura A.3. 2: Corte longitudinal del Laboratorio.....	91
Figura A.3. 3: Corte transversal del Laboratorio.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Resistencia del terreno.....	52
Tabla 3.1: Circuitos monofásicos de 220 [V] para lámparas.	62
Tabla 3.2: Disyuntor y calibre del conductor para alumbrado de 220 [V].	63
Tabla 3.3: Circuitos monofásicos de 110 [V] para focos.	63
Tabla 3.4: Disyuntor y calibre del conductor para alumbrado de 110 [V].	63
Tabla 3.5: Circuito de fuerza.	64
Tabla 3.6: Circuitos trifásicos de 220 [V] para motores.	64
Tabla 3.7: Disyuntor y calibre de conductor para circuitos trifásicos de 220 [V] para motores	65
Tabla 3.8: Corriente de las centrales de aire.....	68
Tabla 3.9: Circuitos de tomacorrientes de 120 [V].....	69

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La empresa distribuidora eléctrica CNEL lleva a cabo proyectos de optimización del sistema de distribución eléctrica, considerando su monitoreo y control, pero para realizar los mantenimientos se requiere de la verificación del buen estado de cada elemento del sistema.

Para que se realice estos mantenimientos o colocaciones de los nuevos y viejos elementos del sistema de distribución se deben realizar pruebas eléctricas a los mismos para que sigan con el cumplimiento del buen servicio y las normas eléctricas vigentes.

Estos tipos de pruebas eléctricas son importantes para el buen funcionamiento del elemento ya conectado en el sistema eléctrico de distribución dando así una continuidad del servicio de energía eléctrica.

Para realizar esto se necesita de un laboratorio de pruebas eléctricas con el espacio adecuado, los equipos necesarios para realizar estas pruebas y los tipos de pruebas que se deben realizar para verificar que el elemento ya sea nuevo o viejo pueda conectarse al sistema de distribución eléctrica.

Además para contar con los servicios de este nuevo laboratorio es necesario una acreditación y certificación de la norma **ISO/IEC 17025** presentando documentaciones de: políticas, sistemas, programas, procedimientos e instructivos.

1.1 Descripción del problema

Actualmente CNEL Guayaquil no cuenta con un laboratorio para que se realicen pruebas eléctricas a los elementos de distribución como existen en otras ciudades.

Dentro del laboratorio deben existir equipos de medición que estén regidos por las normas eléctricas existentes para realizar las pruebas que sean necesarias para todos los elementos de distribución.

Además el laboratorio debe estar a disposición para realizar pruebas de campo con lo cual se contaría con vehículos para la movilización de equipos y personal.

Y poner a disposición de las empresas encargadas de la instalación de los equipos tanto en baja tensión y media tensión una nueva alternativa para la verificación del correcto funcionamiento de los mismos y evitar riesgos en la actividad eléctrica.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Elaboración del trazado del espacio físico de un nuevo laboratorio de pruebas eléctricas considerando los equipos necesarios para las pruebas.
- Diseño eléctrico del trazado del nuevo laboratorio.
- Elaboración de guías para pruebas modernas en transformadores de distribución, interruptores y cables subterráneos con técnicas y equipos que actualmente se utilizan.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaboración del trazado del espacio físico considerando: dimensiones y espaciamientos necesarios para los equipos de pruebas y medición, normas de seguridad eléctrica vigente.
- Diseño eléctrico del trazado del nuevo laboratorio considerando la alimentación de potencia requerida para los diferentes equipos de medición de un laboratorio de pruebas eléctricas.
- Guías para seguridad, preparación, conexiones de los equipos, procedimientos y análisis de resultados para pruebas en: cables subterráneos, transformadores e interruptores a nivel de tensión de 13,8 KV.

1.3 Marco Teórico

Un laboratorio de pruebas eléctricas es un lugar donde existen diversos instrumentos de medidas y equipos donde se pueden realizar experimentos o investigaciones de cualquier elemento del sistema de potencia como se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1 Laboratorio de pruebas eléctricas LabIntec

Imagen obtenida del “http://www.labintec.com.mx/labintec_galeria.html”.

Su importancia radica que las investigaciones o experimentos que se realicen dentro y fuera del laboratorio estén controladas y normalizadas de tal modo que [1]:

- Se pueda asegurar que no produzcan influencias externas que alteren el resultado del experimento.
- Se pueda garantizar que el experimento o medición sea repetible.

En el país actualmente existen pocas empresas que ofrecen el servicio de un laboratorio de pruebas eléctricas para la verificación del estado de los elementos de una red eléctrica ya sea esta, industrial, residencial o parte del Sistema Nacional Interconectado (SNI). Y estas pocas empresas la mayoría son privadas.

Todo laboratorio de pruebas eléctricas debe contar con una acreditación internacional y/o nacional (INEN) para garantizar que se ofrece un servicio de calidad, con resultados precisos y confiables, que es lo que buscan los clientes cuando se desean contratar cualquier servicio [2].

La importancia de la acreditación es que el laboratorio demuestre que tiene implementado un sistema de gestión, que son competente técnicamente y que los resultados de las pruebas que se realicen tengan validez [2].

Para lograr una certificación y acreditación de la norma **ISO/IEC 17025** para el laboratorio se debe considerar los siguientes aspectos, Figura 1.2.



Figura 1. 2 Organigrama para la certificación y acreditación de un laboratorio de pruebas eléctricas

En la norma **ISO/IEC 17025** se establecen los criterios o requerimientos generales que deben cumplir cualquier laboratorio de calibración y de ensayo. El cual debe ser de conocimiento de todo el personal del laboratorio y de los encargados en la implementación del sistema de gestión de calidad y de la acreditación posterior de los ensayos, análisis y servicios prestados [2].

La estructura general de la norma **ISO/IEC 17025** consta de dos capítulos fundamentales [2]:

- Requisitos de Gestión: Son los requerimientos que se deben implementar en el laboratorio para asegurar la calidad de los análisis de los resultados.
- Requisitos de Técnicos: Son los requerimientos que se deben implementar en el laboratorio para asegurar la calidad técnica.

La finalidad del laboratorio de pruebas eléctricas es determinar las características y comportamiento de los diferentes elementos del sistema eléctrico de distribución a través de los siguientes ensayos generales [1]:

- Ensayos de frecuencia industrial.
- Ensayos de impulso de maniobra para todos los equipos que estén bajo ensayo.
- Ensayos de aislación de frecuencia industrial.

Un laboratorio de pruebas eléctricas deberá de disponer de: fuentes de tensión, transformadores, y generadores de impulso diseñado para generar formas de onda de tipo impulso atmosférico [1].

Las dimensiones físicas que ocupara el nuevo laboratorio de pruebas deberán hacerlo de forma adecuada, tanto para realizar ensayos dieléctricos en materiales aislantes como a equipos del sistema de distribución eléctrica.

Los elementos de distribución más importantes y que se va a proponer hacerles pruebas son: transformadores de distribución, interruptores de potencia y cables subterráneos.

El transformador (Figura 1.3) es un elemento muy importante en el sistema eléctrico de distribución debido a que disminuye el nivel de voltaje de 13,8 KV a diferentes niveles de voltaje residencial a 110/220 V generalmente.



Figura 1. 3: Transformador de distribución

Imagen obtenida en “<https://ve.all.biz/transformadores-de-distribucion-monofasicos-g9316>”.

Muchas de las pruebas que se realizan en el transformador comúnmente son para verificar el rendimiento eléctrico: la rigidez dieléctrica del aceite, número de transformación, conocer las impedancias del transformador. Pero ninguna de ellas me permite conocer el estado mecánico del mismo como: la integridad mecánica del núcleo y los devanados después de que el transformador haya sido transportado de un lugar a otro o después de una falla por sobre corrientes.

Existe un alto porcentaje de falla en el transformador como consecuencia de la deformación y desplazamiento de los devanados que hacen necesaria una técnica de prueba para la detección de este tipo de daños mecánicos en el transformador como se muestra en la Figura 1.4 un transformador que ha sufrido un daño mecánico en su bobina.



Figura 1. 4 Deformación de una bobina de un transformador [3]

La prueba de **Análisis de Respuesta por Barrido de Frecuencia (SFRA)** es un método útil y sensible para verificar el estado mecánico del transformador.

Para esta prueba no existe un acuerdo unánime para la normatividad correcta para la medición e interpretación de resultados con el cual se debe seguir un protocolo y registro documentado de cada prueba lo más preciso posible y así mantener las condiciones para poder comparar con futuras pruebas que se le hagan al transformador.

Actualmente para analizar la respuesta del SFRA se usa el factor de relación "R" para conocer el estado de deformación de las bobinas del transformador. Normalizando la covarianza de dos muestras de las curvas del FRA (mediciones y datos de referencia).

Otra prueba muy importante que se debe realizar al transformador es la prueba de **Descargas Parciales (PD)** que proporciona información muy útil del estado del aislamiento, que incluso detecta efectivamente los puntos más débiles del mismo.

Pero existe una dificultad a la hora de realizar la prueba PD que es que las señales emitidas por una actividad PD pueden tener una magnitud muy baja por el cual el equipo de medición de PD debe ser muy sensible. Sin embargo esto da lugar a una mayor susceptibilidad a las interferencias de ruido eléctrico.

El laboratorio deberá de poseer un blindaje electromagnético y para las pruebas de campo establecer formas y maneras para minimizar el nivel de ruido.

Otro elemento importante en el sistema eléctrico es el interruptor (Figura 1.5) que me permite aislar un elemento del resto del sistema eléctrico cuando ocurre un evento de contingencia como por ejemplo una sobre corriente.



Figura 1. 5 Interruptores para distribución de 72 KV [4]

Por eso es muy importante que el interruptor no falle porque es el último eslabón para la protección de elementos sensibles del sistema eléctrico como por ejemplo: transformadores, generadores, etc.

En el diseño de interruptores automáticos de gas SF₆ usado comúnmente en las subestaciones se basa en la conmutación de dos juegos de contactos paralelos: los contacto de baja resistencia (principal) que sirve para llevar la corriente de carga sin aumento excesivo de temperatura y los contactos de arco (auxiliar) de Tungsteno-Cobre que inicia el enfriamiento del arco y la interrupción de la corriente [5].

Para evaluar el estado de los contactos de arco se debe realizar una inspección interna, pero se deben seguir procedimientos de mantenimientos costosos y que requieren mucho tiempo por los manejos del gas SF₆. Haciendo que el desgaste del mismo o la desalineación de los contactos de arco debido a la inspección disminuya la capacidad de corte del interruptor

Para conocer el estado de los contactos de arco es necesario realizar la prueba de **Medición de Resistencia Dinámica (DRM)**.

Actualmente se ha realizado un estudio complementario para validar la medición a la velocidad nominal y a alta corriente en la prueba DRM en Interruptores [6].

Por un lado las pruebas en los sistemas de potencia confirmaron que una fuente de 2800 A continua el cual podría quemar los polvos del gas SF6 y así verificar la condición de los contactos del interruptor.

Por otro lado las pruebas de validación a velocidad nominal a varios tipos de interruptores SF6 determinaron que una corriente de 700 A es suficiente para evitar la separación parcial del contacto y producir una curva de DRM muy aceptable.

Otra prueba que se deja a un lado con frecuencia es la prueba de **Voltaje Mínimo** aunque esta especificada y recomendada en normas **IEC**. El objetivo de la prueba es asegurar que el interruptor pueda operar correctamente al nivel de voltaje mínimo provisto por la batería de la estación cuando el interruptor debe operar para un corte de circulación de corriente. La prueba se realiza aplicando el mínimo voltaje de operación especificado y verificando que el interruptor opere dentro de los parámetros técnicos establecidos [4].

El último elemento en analizar son los cables subterráneos que actualmente se encuentran instalados en una red de distribución eléctrica en el centro de Guayaquil.

Durante muchos años las pruebas con corriente continua a cables subterráneos han dado muy buenos resultados para las pruebas de aislamiento. Para estas pruebas se utiliza una fuente de voltaje de hasta cinco veces el voltaje nominal del cable siendo de fácil uso, ligero, y de bajo costo.

En los últimos años se han realizado estudios en donde estos tipos de pruebas tienen unas limitaciones sustanciales debido a que el voltaje de ruptura del cable defectuoso es más alto que en pruebas en corriente alterna haciendo pasar a cables con defectos que pueden causar fallas subsecuentes y además de dañar el cable en buen estado [7].

Actualmente en las normas europeas recomiendan pruebas con corriente alterna **A Muy Baja Frecuencia (VLF)** para verificar el estado del aislamiento del cable subterráneo.

El equipo consta de un probador de aislación de corriente alterna que trabaja a muy baja frecuencia generalmente a 0,1 Hz, durando un ciclo completo de paso de voltaje de prueba unos 10 s.

Las pruebas periódicas de cables subterráneos envejecidos se lo realizan para determinar la degradación del sistema de potencia y pérdidas del servicio. Como se muestra en la Figura 1.6 un cable subterráneo en donde se ha quemado debido a la falla del aislamiento.



Figura 1. 6 Cable subterráneo quemado debido a falla en su aislamiento

Imagen obtenida en "<http://www.inducor.com.ar/servicio-fallas-en-cables.html>".

Otra prueba muy importante para verificar el estado del aislamiento del cable subterráneo es la localización de actividad DP mediante impulsos que se analizan por medio de **Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR)**.

El TDR es un método apropiado para localizar fallas y otros cambios de impedancia en los cables subterráneos. Los TDR transmiten pulsos de salida de baja tensión y frecuencia alta, que viajan por el cable. Cuando cambia la impedancia del cable, algo o toda la energía transmitida es reflejada de nuevo al TDR, visualizándose en su pantalla.

En los últimos años, los generadores de impulso para la prueba TDR han creado una importante controversia porque es probable que sean destructivos para los cables aislados XLPE.

Los generadores de impulso, por lo menos en el caso de los cables XLPE, pueden caer en la categoría de prueba destructiva. Si bien no destruyen

la muestra completa del cable, los períodos largos de elevación de alta tensión pueden contribuir al daño acelerado por defectos relacionados con el servicio y pueden conducir a una falla prematura. La elevación también puede acelerar problemas menores o el arbolado hacia una falla pero todavía tiene ventajas si la elevación de alta tensión y los períodos de pruebas son reducidos.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA PARA LAS GUIAS DE PRUEBAS PROPUESTAS Y CRITERIO DEL DISEÑO DEL LABORATORIO.

En este capítulo se explica la teoría de todas las pruebas propuestas y los equipos que se necesitaran para realizar estas pruebas.

Se propone una elaboración de guías para las pruebas propuestas en donde se toma en consideración la aplicación de las normas para la seguridad del personal que va a realizar las pruebas en el nuevo laboratorio tanto para realizar las pruebas eléctricas a los equipos como protección de los mismos, cumpliendo así un punto importante que sería evitar riesgos de accidentes y hasta muertes del personal.

También las guías toman en consideración la preparación del elemento que está bajo ensayo y los preparativos previos recomendados en las normas internacionales antes de realizar las pruebas, procedimiento de la prueba basada en manuales de los equipos de medición y una metodología para el análisis de los resultados de las pruebas basados en normas internacionales.

También se muestra al final de este capítulo los criterios para el diseño de un trazado físico general para el nuevo laboratorio con los espacios requeridos para los equipos, herramientas, vestidores, maquinarias de carga y oficina de cómputo para la recepción y análisis de resultados. Así como también las señalizaciones respectivas para la protección del personal especificados en normas internacionales para la seguridad, el montaje de un laboratorio de pruebas eléctricas. Y para el diseño eléctrico se toma en consideración las cargas eléctricas que se van a consumir en el laboratorio como: iluminación, tomacorrientes, compresor, grúa eléctrica; así como también el diseño de un banco de transformador trifásico que podrá suplir toda la demanda eléctrica del laboratorio.

2.1 Pruebas propuestas para transformadores, interruptores y cables subterráneos.

En esta sección se enfocara en la teoría de las siguientes pruebas en el nuevo laboratorio:

- Transformadores: Análisis de Barrido de Frecuencia (SFRA) y Descargas Parciales (PD).
- Interruptores: Medición de la Resistencia Dinámica de Contactos de Arco (DRM) y Tensión Mínima de la Bobina de Disparo.
- Cables Subterráneos: Prueba de Factor de Disipación ($\tan \delta$) con Corriente Alterna de Baja Frecuencia (VLF) y Descargas Parciales (DP) mediante Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR).

Para que se realice cualquier tipo de pruebas eléctricas en el laboratorio se debe considerar los protocolos de seguridad para: el manejo del equipo de medición, los objetos a ensayar, y la seguridad del personal del laboratorio y de terceros que lo visiten.

Se considera los siguientes protocolos generales [8]:

- Todos los terminales sin puesta a tierra del equipo o del equipo de medición se deben considerar como energizado.
- Las conexiones a tierra deben estar sólidamente aterrizadas con cable de capacidad para llevar la máxima corriente posible a tierra, tomando en consideración la resistencia del terreno.
- Se debe evitar el contacto de los terminales en vivo por parte del personal, ya sea mediante blindaje en los terminales o proporcionando barreras en el área del mismo.
- El laboratorio debe contar con la instrumentación necesaria para indicar el nivel de voltaje de prueba.
- Se debe proveer de una conmutación adecuada para la des-energización de los circuitos de prueba por razones de seguridad.
- Todas las pruebas la deben realizar personal calificado.

En el uso de los equipos de medición, cada dispositivo debe usarse de tal manera que no presente un peligro al personal si se convierte en parte del circuito de prueba o deja de funcionar correctamente.

Indumentaria y Herramientas para la Realización de Pruebas Eléctricas.

Para que se realice cualquier prueba eléctrica ya sea esta dentro del laboratorio o fuera de ella el personal que va realizar la prueba debe contar con los equipos de protección personal (EPP) adecuados para evitar cualquier accidente.

- Protección para la Cabeza (Casco): Debe ser un elemento que cubre totalmente el cráneo, protegiéndolo contra efectos de golpes, impactos, riesgos eléctricos y cómodo para la persona que lo usa [9] como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Casco para protección del personal
Imagen obtenida del "http://cali.locanto.com.co/ID_959076200/CASCO-DIELECTRICO-CLASE-E-TIPO-1.html"

- Protección de la Vista (Gafas de Protección): Cualquier gafa protectora debe cumplir con la norma **ANSI Z87.1-1987** que especifica que estas gafas deben ser resistentes al impacto de una bola de acero de 0,6 cm viajando a una velocidad de 45,7 m/s.

Estas gafas deben tener propiedades dieléctricas adecuadas para la tensión de trabajo y características resistente al impacto de partículas debido a veces por los arcos eléctricos [9] como se muestra en la Figura 2.2.



Figura 2.2 Gafas protectoras

Imagen obtenida del

“http://www.ergow.com/index.php?action=detalleProducto&modul=catalogo&i d_producto=222”

- Ropa de Protección: Esta ropa no puede ser inflamable para darles protección al personal debido a los arcos eléctricos que se puedan producir mediante la realización de las pruebas.

Para la elección de la ropas de protección se divide en categorías de riesgos como esta en las tablas: **130.7C (10)** y **130.7C (11)** en [10] como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3 Ropa para realizar trabajos en instalaciones eléctricas

Imagen obtenida del “<http://norma-ohsas18001.blogspot.com/2013/12/ropa-de-seguridad.html>”.

- Protección para las manos (Guantes Dieléctricos): Sirven como medida de protección cuando el personal entra en contacto con partes activas y no normalmente activas puestas a tensión.

La elección del tipo de guantes a usar debe ser en función del nivel de tensión en el que trabaje el personal. Es preciso la verificación del buen estado de los guantes antes de ponérselos y realizar las pruebas.

Deben cumplir la norma **ASTM D120** con los valores permitidos máximos de voltajes para el uso de cada guante dieléctrico en la realización de una prueba en la Figura 2.4 un ejemplo de un guante dieléctrico utilizado normalmente para realizar una prueba eléctrica a equipos.



Figura 2.4 Guantes dieléctricos para pruebas eléctricas

Imagen obtenida del
“<https://vizonindustrial.com/caracteristicasguantesdielectricos/>”

- Protección para los pies (Calzado): La característica principal del calzado para protección es que debe ofrecer una resistencia eléctrica entre 100 k Ω y 1000 M Ω en las condiciones previstas durante la realización de la prueba.

Todo calzado aprobado por las normas ANSI tiene un dedo al pie y ofrece protección al impacto y protección a la compresión del mismo.

Las características de este calzado son: material de cuero satinado, color negro con planta de caucho natural dieléctrico antideslizante y

posee protección contra humedad [11] como se muestra en la Figura 2.5.



Figura 2.5 Calzado dieléctrico marca Nazca

Imagen obtenida del “<http://www.metalmarchile.cl/botines-y-botas-de-seguridad/68-bota-pvc-cpunta-tornado-negra-807-6192-t-41-bata.html>”

- Detector de Ausencia de Tensión: Este equipo sirve para verificar la ausencia de tensión en equipos que se considera des-energizados para evitar accidentes al personal que realiza la prueba.

Estos detectores (Figura 2.6) usan ya sea principios ópticos y/o acústicos para verificar si un elemento tiene un voltaje determinado, captando con su sensor el campo eléctrico generado por este voltaje y emite un señal de alarma a la persona que lo está utilizando.



Figura 2.6 Detector de ausencia de tensión

Imagen obtenida del
“http://www.producel.com/phps/productos_SEG_det.php?titulo=Detectores%20de%20tensi%C3%B3n”

2.1.1 SFRA en transformadores.

El método de barrido de frecuencia sirve principalmente para detectar deformaciones y desplazamientos de las bobinas de un transformador debido a las sobre corrientes causadas por una falla en la operación del sistema de distribución eléctrica y aumentar la vida útil del mismo. También sirve como método de verificación que en el transporte de un nuevo transformador este no haya sufrido alguna avería mecánica en su núcleo o bobinado.

Para realizar la prueba de FRA con barrido de frecuencia consiste en la medición de la admitancia de los elementos inductivos y capacitivos del devanado del transformador. Estas mediciones se lo realiza inyectando un voltaje en un amplio rango de frecuencias y los resultados de las mediciones se lo compara con una gráfica llamada “huella digital” del transformador que es la respuesta de frecuencia única del transformador para realizar el diagnóstico de la prueba [12].

La respuesta de esta medición se muestra mediante una gráfica de amplitud de voltaje en dB versus frecuencia en escala logarítmica llamado “Diagrama de Bode” como se muestra en la Figura 2.7 una

respuesta típica de frecuencia a los devanados de un transformador [12].

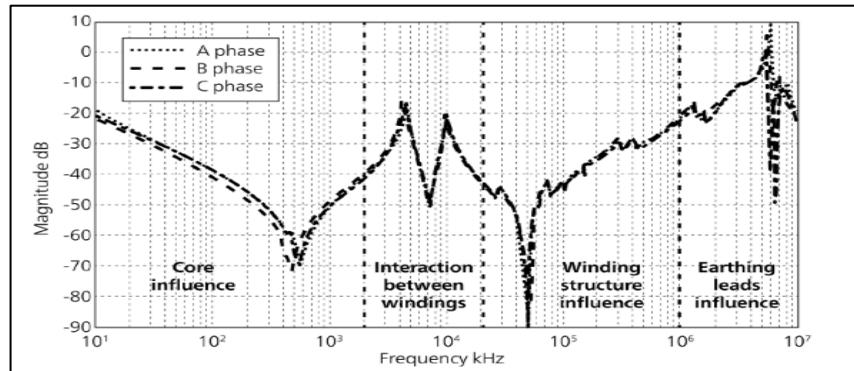


Figura 2.7 Regiones de análisis de la curva SFRA [12]

Para una buena interpretación de la gráfica del FRA se debe comprender que elementos son responsables de las diversas regiones y formas de la curva.

A bajas frecuencias la bobina del transformador se comporta como un elemento inductivo siguiendo una tendencia decreciente con una pendiente aproximada de 20 dB por década. Existen dos componentes de inductancia que afectan al FRA uno es la inductancia de magnetización del núcleo y la otra la inductancia de fuga del núcleo. El primero afecta al FRA en la región de bajas frecuencias hasta 100 Hz y el otro lo afecta a frecuencias muy altas.

A altas frecuencias la bobina del transformador se comporta como un elemento capacitivo y la respuesta del FRA sigue una tendencia creciente con una pendiente aproximada de 20 dB por década.

Las conexiones de pruebas recomendadas y el número de pruebas que se realice a las bobinas del transformador dependerán de su configuración: “Grupo 1 (sin adelanto/atraso)” y “Grupo 2 (con atraso de 30 grados)” como se muestra en la **Tabla 1** en [12].

2.1.2 Prueba PD para transformadores.

Esta prueba se lo realiza al transformador en cualquier momento para diagnosticar el estado de su asilamiento. Puede evaluarse durante las pruebas de mantenimiento de rutina para tomar decisiones estratégicas con respecto a la oportuna reparación o reemplazo de los componentes afectados. Y sirve para garantizar la calidad durante las pruebas de aceptación en fábrica y puesta en servicio.

Una descarga parcial es un impulso eléctrico en un vacío lleno de gas o en una superficie dieléctrica de un aislamiento solido o líquido. Esta descarga solo une parcialmente el espacio entre el aislamiento de fase a tierra o de fase a fase [13].

La perturbación eléctrica provocada por una descarga parcial (PD) con voltaje alterno puede ser modelada mediante un circuito análogo de capacitancia como se muestra en la Figura 2.8 [13].

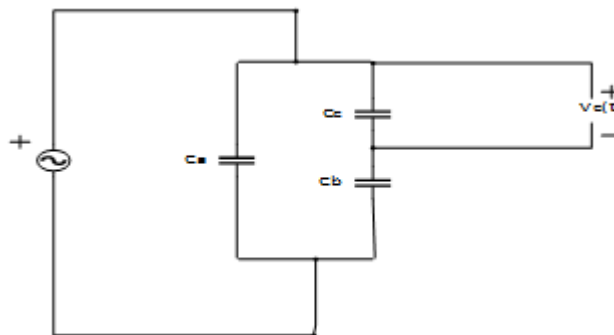


Figura 2.8 Circuito Equivalente para una PD

Donde:

C_a : Capacitancia del Resto del Aislante.

C_b : Capacitancia en serie con la Cavidad.

C_c : Capacitancia de la Cavidad.

$V_c(t)$: Voltaje Alterno de la Cavidad.

La descarga en la cavidad (C_c) cae bruscamente hasta un voltaje llamado de extinción de descarga (U_e).

Después de esto se vuelve a cargar la cavidad hasta llegar al voltaje de ignición de la descarga (U_i) produciéndose una descarga nuevamente, y así sucesivamente hasta que se llega al valor pico de $V_c(t)$, pasando la misma llega a valores de PD negativos hasta alcanzar el valor de $-U_i$.

Los pulsos de PD son positivos en los intervalos de 0° - 90° y de 270° - 360° y negativos en el intervalo de 90° - 270° concentrándose en el cruce por cero del voltaje $V_c(t)$ como se muestra en la Figura 2.9 [13].

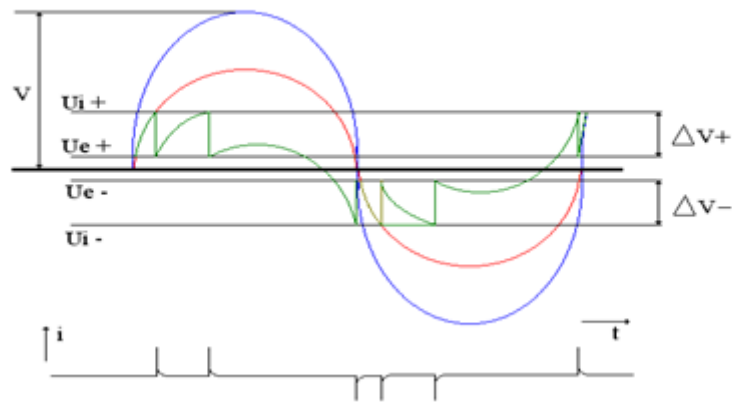


Figura 2.9 Grafica de voltaje de las PD en un transformador

2.1.3 Prueba DRM para interruptores.

Esta prueba se lo realiza conjuntamente con otras pruebas de rutina como por ejemplo la prueba de resistencia estática de los contactos principales del interruptor.

La medición se realiza inyectando corriente continua a través del interruptor y monitoreando simultáneamente la caída de voltaje y el flujo de corriente durante el funcionamiento del interruptor. A partir de estos dos parámetros, se puede calcular un valor de resistencia versus tiempo comparando con otra curva llamada "firma" de un DRM que se le haya hecho antes a los contactos del interruptor [14].

El trazo de la gráfica la “firma” de la resistencia vs tiempo comienza como una línea recta antes que el interruptor empiece a moverse, a medida que el interruptor empieza a moverse la resistencia aumenta ligeramente. En la parte de contactos principales, hay un pico en la curva de resistencia y en el contacto de arco, la resistencia llega al infinito y cuando el flujo de corriente llega a cero el interruptor se abre como se muestra en la Figura 2.10 [14].

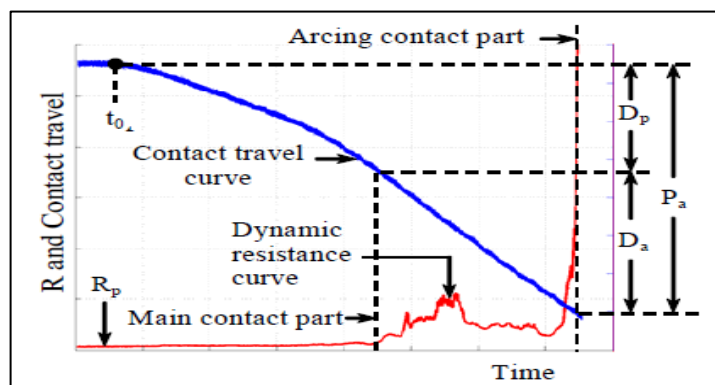


Figura 2.10 Curva de Resistencia vs Tiempo para la prueba DRM [14]

Se extrae los siguientes parámetros que sirven para el diagnóstico relacionado con la posición de los contactos principales y los contactos de arco que son:

- t_o : Tiempo inicial de apertura de contacto.
- $R_p(\mu\Omega)$: Resistencia de contacto principal promedio.
- $R_a(\mu\Omega)$: Resistencia de contacto de arco promedio.
- $D_p(mm)$: Distancia de viaje del contacto principal.
- $D_a(mm)$: Distancia de viaje del contacto de arco.
- $P_a(mm)$: Distancia de apertura del contacto de arco.
- $R_a \times D_a(m\Omega \cdot mm)$: Área debajo de la curva de la resistencia del contacto en función del recorrido.

El último parámetro proporciona un criterio para evaluar el desgaste del contacto del interruptor y / o el estado de alineación de contacto.

2.1.4 Prueba Voltaje Mínimo para interruptores.

En los sistemas de potencia de medio voltaje, cada subestación en la que están instalados los interruptores tiene una batería para suministrar corriente continua al circuito de disparo del interruptor (Figura 2.11).

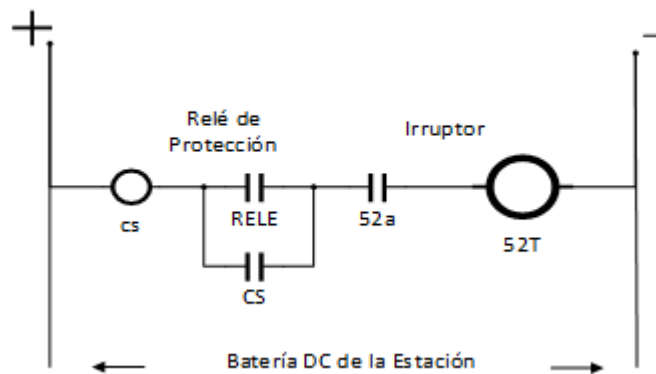


Figura 2.11 Circuito de disparo para un interruptor de potencia

Este suministro de DC es parte vital del sistema de protección, requiere atención y un mantenimiento cuidadoso para una alta confiabilidad del sistema de potencia y la protección del mismo [15].

En esta prueba se determina el voltaje mínimo de operación del interruptor. Es una medición de la fuerza necesaria para mover la armadura de la bobina. En esta prueba no interesan los parámetros de temporización de los contactos simplemente si operan o no.

La prueba consiste en inyectar pulsos de voltaje a las borneras de las bobinas (cierre o apertura).

Para la ejecución de la prueba se define un voltaje de inicio, un incremento constante del valor del voltaje, el tiempo muerto entre los pulsos de voltaje, la duración del pulso de voltaje y el valor nominal del voltaje de las bobinas de cierre y apertura.

La prueba culmina cuando el interruptor realice una operación de cierre o de apertura. El valor del voltaje mínimo de operación será capturado por el equipo de medición.

2.1.5 Prueba Factor de Disipación con VLF en cables subterráneos.

Esta prueba se lo realiza cuando:

Después de que un cable se instala o es reparado.

- Cuando se realiza pruebas preventivas en los sistemas de alimentación subterráneos.
- Cuando el cable ha estado en operación por más de 5 años.
- La zona donde se encuentra instalado el cable esta siempre en reparación y/o cambios constantes.

Un cable recubierto envejecido puede ser representado mediante el siguiente circuito equivalente como se muestra en la Figura 2.12 [16].

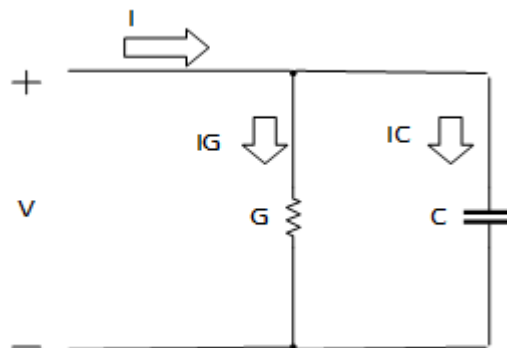


Figura 2.12 Circuito Equivalente del Cable Envejecido para la Prueba de Factor de Disipación (Tan δ) [16]

La cantidad $\tan \delta$ es la medida de las pérdidas dieléctricas del aislante en un campo eléctrico de corriente alterna que es llamado **factor de disipación** o **tangente de pérdidas del ángulo δ del material**. Los valores típicos para k y $\tan \delta$ se muestra en la **Tabla 3** en [19].

Para un voltaje aplicado V en la Figura 2.12, la corriente a través del dieléctrico sin pérdidas es I_C y la corriente debido a las pérdidas es I_G . El ángulo formado por la corriente $I = I_C + I_G$, y el Voltaje V es θ , el

$\cos \theta$ es el factor de potencia de I como se muestra en la Figura 2.13 el diagrama fasorial de la corriente y el voltaje en el dieléctrico del cable.

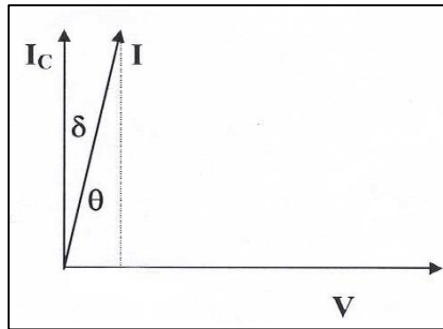


Figura 2.13 Diagrama Fasorial de la Corriente en el Dieléctrico

La prueba de VLF mide grandes cargas capacitivas con una baja corriente para cargar la muestra del cable a un alto voltaje durante un intervalo de tiempo relativamente largo [17].

El equipo de medición para esta prueba consta de: un conjunto de fuente de corriente DC de alto voltaje; un convertidor de DC a AC que posee un inductor de alta tensión y un rectificador giratorio que cambia la polaridad del voltaje del cable que se está probando; un circuito de resonancia que consta de un inductor y un capacitor paralelo a la capacitancia del cable como se muestra en la Figura 2.14 [16].

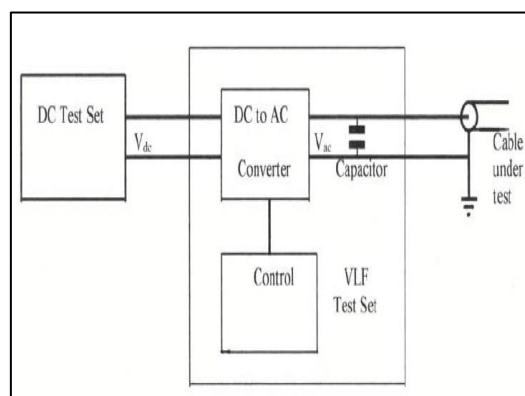


Figura 2.14 Equipos de medición para la prueba VLF en cables Subterráneos [16]

En la prueba de VLF con forma de onda sinusoidal el equipo de prueba VLF se conecta al cable puesto a prueba y se eleva la tensión de ensayo hasta un valor especificado en la **Tabla 5** en [17]. Después de terminado la prueba y verificando que el cable pase la prueba, la tensión se regula a cero.

La medición del factor de disipación con una onda de forma sinusoidal 0,1 Hz ofrece una evaluación comparativa de la condición del envejecimiento del aislamiento en cables tipo PE (Caucho Etilo), XLPE (Polietileno Reticulado) y EPR (Caucho Etilo-Propileno). Los resultados de la prueba clasifica a los cables en: nuevos, defectuosos y altamente degradados [17].

2.1.6 Prueba Localización PD en cables subterráneos.

La prueba de PD detecta defectos en el aislamiento del cable que son huecos vacíos que se forman en los cables y/o accesorios.

En esta prueba se aplica un alto voltaje al cable. Si las condiciones son suficientes se genera una descarga a través del vacío en el aislamiento del cable, entonces el equipo de medición de DP detecta estas señales en μA generados en el sitio de la descarga que viaja a través del cable al equipo de medición [18].

La Figura 2.15 muestra el circuito equivalente comúnmente usado para las mediciones de PD en cables subterráneos.

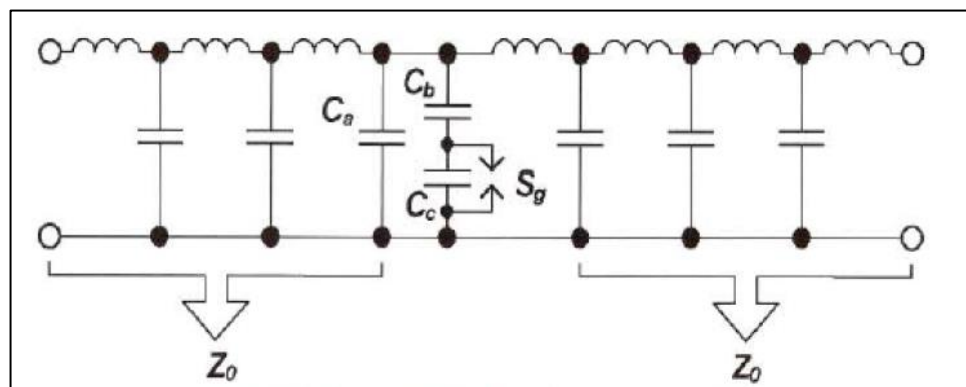


Figura 2.15 Circuito equivalente de un cable subterráneo para las mediciones de PD [18]

Donde:

C_a : Capacitancia de un elemento del cable que no tiene el defecto.

C_b : Capacitancia remanente de un elemento del cable.

C_c : Capacitancia de un elemento del cable que tiene el defecto del vacío.

S_g : La chispa de la descarga en el vacío del elemento del cable.

La reflectometría (TDR) se basa en el mismo principio del radar, un impulso de energía de bajo voltaje se trasmite por el cable y cualquier discontinuidad en la impedancia genera un reflejo para detectar y localizar el defecto [19].

Para detectar la ubicación de un PD la excitación y la medición se implementa desde un extremo de un cable. Una señal de PD se divide en dos señales iguales que viajan a través del cable en direcciones opuestas. La señal directa que viaja hacia el extremo cercano se registra como pulso "A". La señal que viaja en dirección opuesta se refleja en el extremo remoto y viaja de regreso al extremo cercano donde se registra como pulso "B". Utilizando la diferencia entre los tiempos de llegada de estos dos pulsos y la velocidad de propagación del pulso, la ubicación del PD puede ser estimado. El pulso "C" representa la grabación del pulso "A" después de haber sufrido reflejos sucesivos en los extremos del cable cercano y remoto. Su diferencia de tiempo con respecto al pulso "A" es el tiempo de ida y vuelta del cable. En la Figura 2.16 se muestra los pulsos para la localización de los PD en el cable [20].

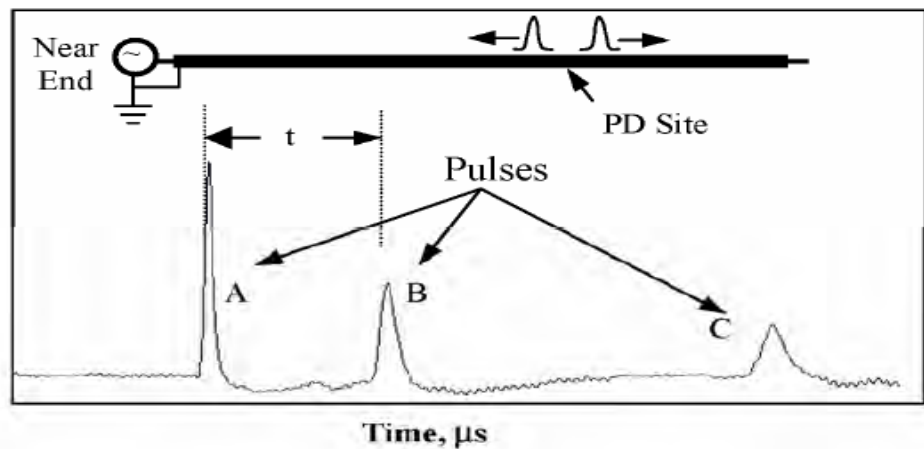


Figura 2.16 Pulsos de excitación para estimar la ubicación de una PD en cable subterráneo [20]

La ubicación PD se determina como una función del tiempo de llegada del impulso PD en los diversos sensores. Este método es útil en circuitos ramificados y para longitudes de cable muy largas. Se toma consideraciones técnicas y económicas que limitan el número de circuitos a ensayar simultáneamente.

Los resultados del TDR sirven para obtener datos preliminares sobre el estado del cable y sirve como herramienta de diagnóstico para la evaluación del estado inicial del cable [18].

2.2 Guías de pruebas propuestas.

2.2.1 Prueba SFRA en transformadores.

El equipo que se utilizara para la prueba es el **MEGGER FRAX-101** (Figura 2.17) que puede detectar cambios mecánicos y eléctricos en el núcleo y el ensamble del devanado en los transformadores de potencia.



Figura 2. 17 Megger FRAX 101 [21]

Además el equipo cuenta con un software de adquisición de datos llamado **FRAX** que permite un análisis eficiente de datos. Se pueden abrir pruebas ilimitadas al mismo tiempo y el usuario tiene el control sobre que barrido comparar. La respuesta del SFRA se la puede visualizar en forma de grafica de magnitud vs frecuencia [21].

También se utiliza la caja de prueba **FTB 101** que sirve para la verificación de los estados de los cables de conexión y el correcto uso del equipo **FRAX**. En la Figura 2.18 se muestra la imagen de la caja de prueba FTB 101 [21].



Figura 2. 18 Caja de Prueba FTB 101 [21]

Preparación para la prueba [11]:

- El transformador debe estar completamente aislado de cualquier fuente de alimentación de voltaje.
- El tanque del transformador debe estar conectado a tierra.
- Todo instrumento de medición debe estar apropiadamente conectado a tierra para sus configuraciones especificadas y aislado de cualquier fuente de alimentación de voltaje. Los cables de prueba, los equipos de medición y la fuente de alimentación del equipo no deben tener interferencia externa a cambios repentinos como aumento del cableado o pasos de personas ajenas a la prueba.
- Durante la prueba habrá un estricto cumplimiento de las normas de seguridad y directrices locales.

Preparación para el transformador [11]:

- Se recomienda que la configuración del transformador este lo más cercano a la configuración de servicio.
- Todas las conexiones de los casquillos externos deben estar desconectados.
- Se recomienda la utilización de cables de prueba cortos para conectarse directamente a los casquillos del transformador.

Para la conexión del equipo al transformador véase el **Anexo #1**.

Procedimiento de la Prueba SFRA:

1. Abrir el software **FRAX** desde el computador en donde aparecerá la pantalla de inicio.
2. En la pantalla de inicio hacer clic en el botón **Connect** en la parte inferior derecha de la pantalla o aplastando la tecla F7.
3. Después de que esté conectado el software al equipo se hace clic en el botón **New Test** o presionando las teclas **Ctrl+N** para abrir una nueva sesión de prueba SFRA. Se hace clic en el botón **Select**

Test o presionando las teclas **Ctrl+F** para abrir una sesión de prueba SFRA realizado anteriormente.

4. Al hacer clic el botón **New Test** aparecerá una ventana emergente en donde se podrá seleccionar el grupo de barrido según el usuario lo desee.
5. Después de seleccionar el tipo de barrido que se desea haciendo clic en el botón **OK** aparecerá una ventana emergente en donde se muestra la tabla de las características del transformador como: tipo, compañía, capacidad, etc. En esta ventana solo nos interesara el grupo de conexión del transformador haciendo clic en la flecha a lado de la palabra **Vector Group** se selecciona el tipo de conexión del transformador.
6. Después de hacer clic en **OK** aparecerá una ventana emergente en donde pedirá el nombre de la prueba SFRA (fecha que se realiza la prueba) y haciéndole clic en guardar los resultados se guardaran en una carpeta destinada para guardar los resultados dentro de la carpeta del programa **FRAX**.
7. Después de haber guardado aparecerá una ventana nueva en donde en el lado superior izquierdo se encuentra todos los posibles ensayos que se pueden realizar al transformador.
8. Se procede a realizar el ensayo en el lado de alta tensión del transformador con los terminales **H1-H0** abiertos seleccionándolo con un clic desde la pestaña a la esquina superior izquierda de la ventana del software.
9. Se hace clic en el botón **Start** o se presiona la tecla **F9** para dar inicio al ensayo. Se espera que se trace la gráfica en la ventana que se demora aproximadamente un minuto y medio.
10. Se repite los pasos 8 y 9 para todos los ensayos que se le realizan al transformador [12].
11. Después de que se haya analizado los resultados de los ensayos del SFRA se guarda estos en el software para futuras

comparaciones. Generando los informes de los resultados mediante un documento Word u otros programas con extensión **.doc**.

12. Se hace clic el botón **Generate** y se generara un documento de Microsoft Word que después se guarda en el computador.

Metodología para el Análisis de Resultados de la Prueba:

El software **FRAX** incluye un analizador de los datos de la prueba SFRA basados en dos metodologías: método de correlación y método de la **Norma China DL/T 911-2004**.

Se escogerá el analizador de la **Norma China DL/T 911-2004** donde el software calcula la **Correlación Normalizada LR_{xy}** entre dos muestras y el **Coefficiente de Factor Relativo R_{xy}** y que deberán estar entre los valores mostrados en la **Tabla 1** en [22].

Utilice el navegador de pruebas para seleccionar dos barridos que se desea comparar. Los cálculos se realizan automáticamente y la **Conclusión** de los resultados se presenta en una tabla como se muestra en la Figura 2.19 [21].

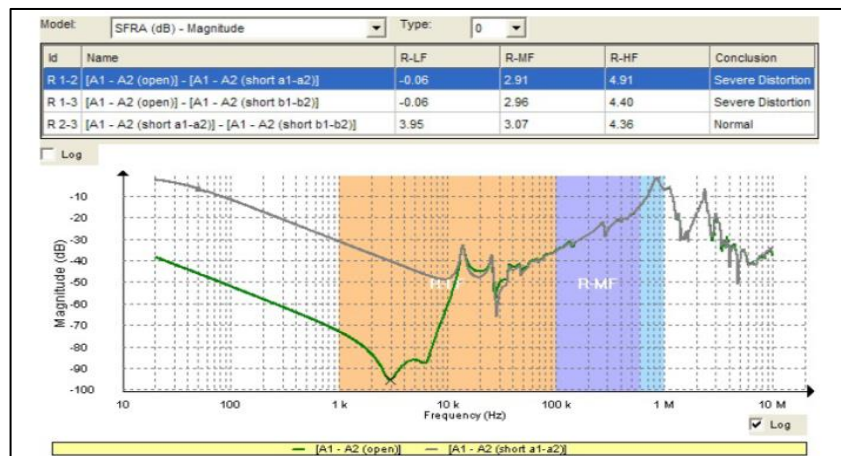


Figura 2.19 Tabla de resultados SFRA [21]

2.2.2 Prueba PD en transformadores.

El equipo que se utilizara para realizar esta prueba va a ser el **OMICRON MPD 600**. El sistema modular cuenta con varias funciones avanzadas de visualización y evaluación de resultados. En la Figura 2.20 se muestra el equipo que se va a utilizar para esta prueba.



Figura 2. 20 Omicron MPD 600 [23]

Para que se realice la prueba se necesita accesorios adicionales [23].

Preparación para el transformador:

- La superficie de los aisladores debe estar limpia y seca.
- Utilizar para la conexión del circuito de alta tensión, caños rígidos, sin puntas y de espesor mínimo de 1 pulgada.
- Limpie con solvente dieléctrico todos los aisladores pasantes del transformador.
- Observar que los terminales de alta tensión y baja tensión del transformador se encuentren libres de otras conexiones.

Preparación para la prueba [23]:

- No introduzca objetos en las entradas y salidas del circuito de la prueba.
- No realice ni utilice el equipo en condiciones ambientales adversos y que no estén especificados en los equipos de mediciones de PD.
- Coloque los equipos de pruebas en una basa sólida y seca.

- Utilice cables de fibra óptica limpios y secos.
- No utilice los equipos de pruebas junto a gases o explosivos.

Para la conexión del equipo al transformador y su calibración véase el **Anexo #1**.

Procedimiento para la Prueba PD.

1. Haga clic en el botón **Mode** de la barra de menú del Software **MPD/MI** y seleccione la opción **Basic**.
2. En la ficha **Setting**, seleccione **line** en el recuadro despegable **Trigger source**.
3. Seleccione **250 KHz** en el recuadro f_{Center} .
4. Seleccione **300 KHz** en la casilla **Bandwidth**.
5. La opción **High Sensitivity Mode** debe marcarse solo para mediciones en donde le afecte mucho el ruido.
6. Realice la medida haciendo clic en el botón con un círculo rojo en la ventana principal del software.

Metodología para el Análisis de Resultados de la Prueba

El software **MPD/MI** que tiene el equipo para la medición de PD visualiza y analiza los resultados basados en la norma **IEC 60270-2000** mostrando las gráficas de PD en forma de elipse (Figura 2.21) (**Grafica de Lissajous**) [23].

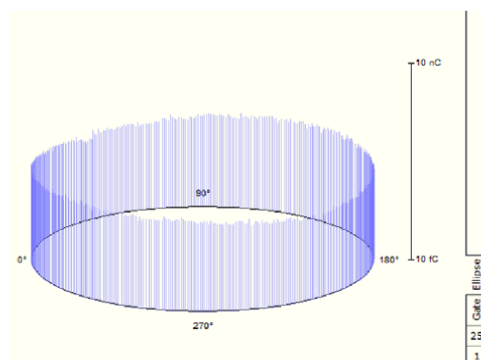


Figura 2.21 Grafica de Lissajous para el análisis de la prueba PD en transformadores [23]

Una conclusión de que si los resultados de la Prueba de PD son aceptables es que si cumplen con lo siguiente [24]:

- La magnitud del nivel de descarga parcial no excede el nivel de descarga del terminal del transformador.
- El aumento de los niveles de descargas parciales no supera el 39% del terminal del transformador durante los 60 minutos de la prueba.
- Los niveles de descargas parciales durante el periodo de prueba no hubo ninguna tendencia en aumentar y no hay un aumento sostenido durante los últimos 20 minutos de la prueba.

2.2.3 Prueba DRM y Voltaje Mínimo en interruptores.

El equipo que se utiliza para estas pruebas es el **OMICRON CIBANO 500** (véase la Figura 2.22) que es muy útil para indicar la condición de los contactos de arcos que el caso de interruptores SF6 que deben cumplir estrictamente los procedimientos de mantenimientos para manejar de manera segura el gas SF6 y los subproductos del arco.



Figura 2. 2 OMCRON CIBANO 500 [25]

Para esta prueba también se necesitara del Módulo de Contacto Principal **CB MC2** [25] que permite enviar señales de corriente a los contacto principales del interruptor de potencia y la comunicación con el **CIBANO 500** lo hace a través de cable **EtherCAT** que elimina las interferencias capacitivas.

Este equipo también cuenta con un software llamado **Primary Test Manager (PTM)** que es ideal para las pruebas de diagnóstico y

evaluación de estado de los interruptores de potencia que es compatible con Windows 7 y 8.

Preparación para el Interruptor [25]:

- Desconectar el interruptor en su totalidad.
- Imposibilite las posibles reconexiones.
- Verifique la ausencia de tensión en el interruptor.
- Cortocircuite y ponga a tierra el interruptor en ambos extremos.
- Establezca protección correspondiente contra elementos contiguos de baja tensión.

Preparación para las Pruebas [25]:

- Utilice cables de alimentación con la capacidad adecuada.
- No introduzca objetos en ninguna toma de entrada ni de salida.
- No utilice el equipo **CIBANO 500** si no ha establecido una conexión firme a tierra de al menos de una sección de **6 mm²** y esta conexión debe estar lo más cerca posible del operador.
- Cuando se conecte cables a las tomas de entradas o de salidas, use cables tipo banana de **4 mm**.
- El operador no se debe situar justo al lado o debajo de la conexión del equipo de prueba para evitar lesiones personales por caídas de las abrazaderas.

Para la conexión del equipo al interruptor véase el **Anexo #1**.

Procedimiento para la Prueba DRM en Interruptores [26,27]:

1. Se enciende el equipo pulsando el botón de encendido/apagado ubicado en el panel lateral [25]. Espere unos segundos hasta que el equipo realice una verificación del hardware interno hasta cuando la luz verde deje de parpadear.

2. Se inicia el software **Primary Test Manager (PTM)** y en la ventana de inicio ubicamos la zona de comunicación con el **CIBANO 500**.
3. Se escoge la opción conectar para enlazar el software con el equipo y en la ventana de inicio del **Primary Test Manager** se escoge la opción crear nuevas pruebas manuales.
4. En la ventana principal del software **Primary Test Manager** se escoge la opción de prueba de resistencia.
5. El software mostrara una ventana llamada **Configuración del Hardware** en donde se configurara las entradas/salidas de la fuente de tensión/corriente y entradas/salidas de los módulos **CB MC2**.

*Configuración de los módulos **CB MC2** de la siguiente forma:*

6. Se hace clic en cada uno de los iconos de la columna **Inspección Visual** para identificar en qué fase está conectado cada módulo **CB MC2**.
7. En la columna **Fase** elegimos la letra correspondiente. Los tres iconos de la columna **Canal 1** deben estar activados y con sus respectivos nombres de la fase y el módulo **CB MC2** correspondiente. Los iconos de la columna de **Canal 2** deber estar desactivados (desactivándolo haciéndole un clic a cada icono).
8. Se procede a configurar la fuente de tensión/corriente del **CIBANO 500** y haciendo clic en los íconos se activan las salidas 1, 2 ,3 y 4 de la **Fuente B** hasta que se tornen de color rojo. La **Salida 1** se configura como disparo, la **Salida 2** se configura como cierre, la **Salida 3** se configura como respaldo, la **Salida 4** como motor y la **Salida N** se configura como referencia.
9. Se procede a la configuración de la **Zona de Ajustes y Condiciones** en donde se ingresan los valores de voltaje nominal que será de **125 VDC** de las bobinas de cierre/apertura, el tiempo de alimentación de respaldo de **50 ms** y la velocidad de muestreo de **10 KHz**.

10. En la **Zona de Secuencia** de la ventana de **Ajustes y Configuraciones** se elige la opción de apertura **O**.
11. Se escoge la opción de **Iniciar** de la zona de mediciones esto tomara unos segundos para procesar la información ingresada y solicitara confirmar el inicio de la prueba presionando el botón de color gris ubicado en la parte superior del **CIBANO 500**.

Metodología para el Análisis de Resultados de la Prueba DRM:

El software **PTM** puede mostrar una gráfica resultante de la resistencia de los contactos (eje y) y el tiempo de recorrido de los contactos (eje x) de cada fase interruptor en la ventana principal como se muestra en la Figura 2.23.



Figura 2. 3 Curva DRM de una fase del interruptor [25]

Para el análisis de los resultados de la prueba para la comprobación de los estados de los contactos de arco de cada fase del interruptor los valores de $R_a \times D_a$ deben estar en **3-5 mΩ.mm** para la condición normal de los contactos y mientras que un valor de **10 mΩ.mm** es un indicador de un defecto de los contactos de arco en Interruptores de Potencia de Alta Tensión.

Procedimiento de la Prueba de Voltaje Mínimo en Interruptores [26,27]:

1. Se repite los pasos 1, 2 y 3 descritos en la **prueba DRM**.
2. En la ventana principal del **Primary Test Manager (PTM)** se selecciona la opción de prueba de Voltaje Mínimo.
3. Se abrirá una ventana emergente llamada **Configuración del Hardware** donde se configura las salidas de tensión/corriente y los ajustes de condiciones de la prueba.
4. Se realiza las configuraciones de salida de tensión/corriente del **CIBANO 500** haciendo clic sobre los iconos para que se activen las salidas 1, 2, 3, 4 de la **Fuente B** del equipo hasta que se tornen de color rojo.
5. Luego se configura la zona de **Ajustes y Condiciones**. En donde se ingresan los valores nominales de voltaje de las bobinas de cierre-apertura, voltaje inicial de alimentación de la bobina a un **30%** del voltaje nominal de operación de las bobinas, escalón de voltaje de alimentación de la bobina lo cual no debe ser muy alto, duración del impulso de comando que debe ser lo suficiente para lograr energizar las bobinas y pausa entre impulsos de **10 veces** el tiempo de duración del impulso de comando.
6. Una vez ingresado los valores se escoge el botón de iniciar disparo o cierre para medir el mínimo voltaje de la bobina de disparo o de la bobina de cierre según sea el caso que se requiera medir. El equipo se demorara unos segundos para procesar los datos ingresados hasta que el software confirme al usuario el inicio de la prueba aplastando el botón color gris ubicado en la parte superior del **CIBANO 500**.
7. En cada pulso de tensión que emita la fuente del **CIBANO 500** la bobina de cierre-apertura tratara de activarse sin éxito hasta que el voltaje sea lo suficiente para energizarse y operar. Después de que el interruptor haya abierto y cerrado sus contactos se presiona el botón gris de la parte superior del equipo para desactivar la fuente de tensión del equipo.

Metodología para el Análisis de Resultados de la Prueba de Voltaje Mínimo:

Para la interpretación y análisis de resultados se basara en la norma **IEC 62271-1:2007** [28] en donde dice que los voltajes de operación mínimos de la bobina de cierre- apertura deben estar entre el **85%-110%** del voltaje nominal del circuito DC de disparo del interruptor.

Los valores medido por el equipo **CIBANO 500** se los compara con los valores que deben estar en el rango de la norma, también comparándolo con los valores del fabricante del interruptor. Se hace una comparación entre estos valores para que el interruptor pase o no la prueba.

2.2.4 Prueba FD con VLF en cables subterráneos.

El equipo que se va usar para realizar la prueba va ser **sebaKMT TAN δ** (Figura 2.24) que permite determinar con gran precisión el estado del cable. Los efectos del envejecimiento del cable como la humedad [29].



Figura 2. 4 SebaKMT Tan Delta [29]

El equipo también posee dos unidades dentro del maletín que son: la Unidad de Medición de Datos (**MDU**) y la Unidad de Corriente de Terminación (**TCU**) [29].

Posee un software para el análisis de la prueba **EasyGo** que facilita el manejo y la protocolización especialmente de las secuencias de ensayo.

Preparación para el Cable [16]:

- Los extremos del cable deben estar limpios y bajo supervisión.
- Los cables deben estar des-energizados y conectados a tierra.






Preparación para la Prueba [16]:

- El conductor concéntrico del cable bajo ensayo debe estar conectado a tierra del sistema.
- Se debe conectar un cable de tierra de seguridad a la caja del equipo de prueba.
- Revisar si los equipos de medición tienen suficiente batería para realizar la prueba.


Para la conexión del equipo al cable véase el **Anexo #1**

Procedimiento de la Prueba Tan Delta con VLF [29]:

1. Presione el botón de encendido **(10)** del **TCU** y espere unos segundos hasta que el indicador LED este en verde. Luego presione el botón de encendido **(3)** del **MDU** y espere unos segundos hasta que el indicador LED este en verde.
2. Desde el computador portátil seleccione el software **EasyGo** y seleccione desde el menú de la ventana principal la opción **TAN**.
3. Seleccione la opción **Operating Mode** donde se abre un submenú y se escoge la opción **Report Data** en donde se coloca la siguiente información: números de cables por sección y tipo de cable. Después de colocar los datos y cerrar la ventana de submenú aparecerá un visto de color verde.
4. Luego se escoge la opción **Phase selection** donde se selecciona desde la ventana que aparecerá la fase que se desea realizar la prueba.

5. Luego se cierra el submenú y se escoge la opción **Rated Voltage** donde se colocara el nivel de voltaje de la prueba según el nivel de voltaje nominal del cable que es de **13,8 KV** y el software lo toma como valor de U_0 .
6. Luego se cierra el submenú y se escoge la opción **Insulation Type** donde se coloca el tipo de aislamiento de cable al que le vamos a realizar la prueba donde aparece una ventana de listado de diferentes tipos de aislamientos.
7. Después de que se coloca los parámetros de los pasos 3, 4, 5 y 6 en el software aparecerá una pantalla de medición y seleccione el icono  de la pantalla de medición en donde aparecerá una ventana con iconos de submenús en donde se escoge el icono . Donde se selecciona los diferentes niveles de voltajes para la prueba que son en este caso de: **0,5 U_0 , 1,0 U_0 , 1,5 U_0 y 2,0 U_0** y luego cierre el submenú.
8. Ahora seleccione el icono  para que se especifique el número de mediciones de valores de **$\tan\delta$** por cada nivel de voltaje para la prueba. En este caso se escoge **10 mediciones** por cada nivel de voltaje. Luego cierre el submenú.
9. Ahora seleccione el icono  donde se especifica la frecuencia de la onda sinusoidal del voltaje de prueba. En este caso se selecciona el valor de **0,1 Hz**. Luego cierre el submenú.
10. Ahora con el icono  de la pantalla de medición de inicio a la prueba.
11. Repita los paso 4 y 12 para hacer la medición de las otras fases del cable subterráneo.

Metodología para el Análisis de Resultados de la Prueba:

El software **EasyGo** muestra la curva de voltaje prueba en tiempo real con una curva de color rojo. Para acceder a ella en la pantalla de mediciones se escoge el icono  en donde se despliega un submenú, donde se puede escoger que valor (curva verde) medido muestre la gráfica junto a la gráfica del voltaje de prueba (Figura 2.25).

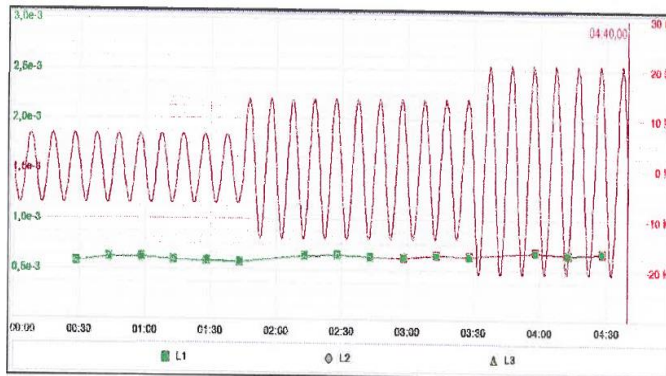


Figura 2. 5 Curva de voltaje de prueba y $\tan \delta$ promedio en una fase del cable subterráneo [29]

Para el análisis de los resultados de la prueba se evalúa según los varios criterios. Para los cables de aislamiento XLPE una buena condición de su aislamiento indica un valor muy bajo de $\Delta \tan \delta$, manteniéndose constante el valor de $\tan \delta$ al incrementar el nivel de voltaje. Para una condición de envejecimiento del aislamiento el valor $\tan \delta$ aumenta ligeramente al aumentar el nivel de voltaje. Un valor de $\Delta \tan \delta$ más allá de **0,0006** indica un estado muy envejecido del aislamiento del cable [17].

A través de los **valores absolutos del $\tan \delta$** se puede sacar las conclusiones de la condición del aislamiento del cable XLPE, permitiendo que se realicen diferentes mediciones recomendadas acorde a la norma **IEEE Std 400-2001**.

2.2.5 Prueba Localización de PD con TDR en cables subterráneos.

El equipo que se va utilizar para realizar la prueba es **Megger Teleflex SX** (Figura 2.26) que es práctico y portátil con una pantalla táctil [30].

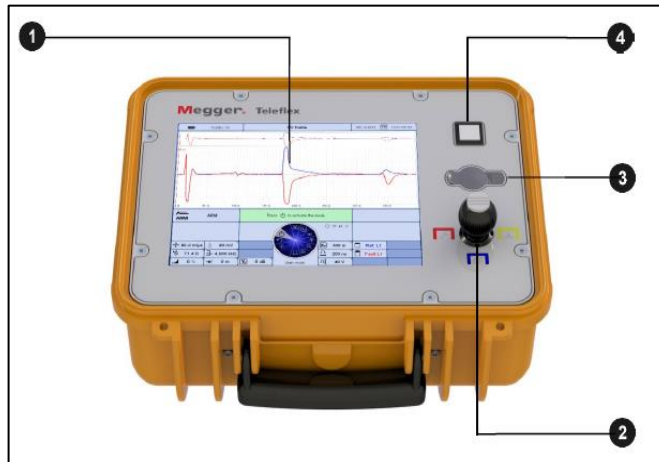


Figura 2. 6 MEGGER Teleflex SX [30]

El equipo cuenta con el software **EasyGo** que facilita el análisis de los resultados de la prueba.

Además para detectar la localización de los PD en los cables se debe contar con el transmisor de impulsos **PD-TX** (Figura 2.27) que se coloca muy cerca de la posible localización de falla PD del cable subterráneo.

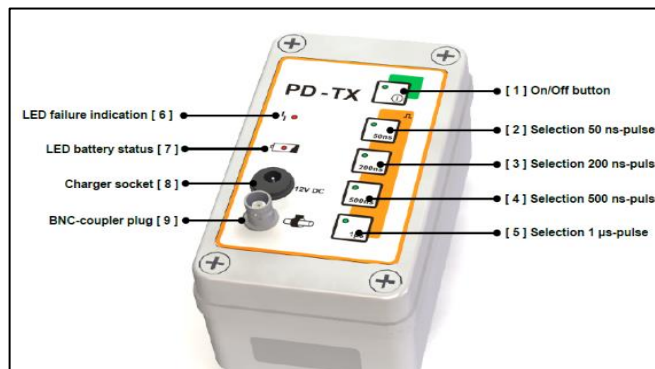


Figura 2. 7 Transmisor de impulso PD – TX [31]

Preparación para el Cable:


- Los extremos del cable deben estar limpios y bajo supervisión.
- Los cables deben estar des-energizados y conectados a tierra.
- Revisar el bloqueo para la protección del personal y el equipo de prueba.


Preparación para la Prueba:

- Antes de iniciar la prueba se debe realizar una visita al sitio de prueba, para garantizar la colocación del vehículo y proporcionar seguridad a todos los involucrados en las pruebas y terceras personas.
- Se debe realizar una prueba para pre localización de DP en el cable subterráneo con cualquier otro método de detección.
- El sistema de prueba debe estar asegurado contra la reconexión, conectado a tierra y cortocircuito.
- Las fases que no están bajo prueba deben estar cortocircuitados y puestas a tierra.
- Solo debe usar el equipo de prueba si se verifica antes su buen funcionamiento y su buen uso para evitar peligros al operador.

Para la conexión del equipo al cable véase el **Anexo #1**.

Procedimiento de la prueba de Localización PD en cables subterráneos [30,31]:

1. Encienda el equipo **Teleflex SX** pulsando el botón de encendido **(4)** y el software de la pantalla táctil da inicio mostrando la ventana en la pantalla táctil del equipo.
2. En la pantalla de Inicio de la pantalla táctil del **Teleflex SX**, ya sea moviendo la perilla **(2)** del **Teleflex SX** o deslizando el dedo en la pantalla del menú de selección **(7)**, se selecciona el icono .
3. En el submenú que se despliega seleccione la fase del cable conectado a la entrada **U/I (6)** del equipo **Teleflex SX**. Cierre el submenú.
4. Encienda el transmisor de pulsos **PD-TX** con el botón de encendido **(1)** y seleccione el ancho de banda óptimo del pulso con los botones **(2), (3), (4)** y **(5)** dependiendo de la longitud del cable bajo prueba como se describe en [32].

5. En la pantalla de menú seleccione la opción de **V/2** con el dedo para o con la perilla del equipo **Teleflex SX (2)** que se ajuste el valor de la velocidad de propagación (depende de la inductancia y capacitancia del cable).
6. Inicie la prueba seleccionando el icono  de la pantalla de menú con el dedo o con la perilla del equipo **Teleflex SX (2)**.
7. Si existen otras fases en donde se asumen que hay actividad DP debido a pruebas anteriores de detección de PD se repiten los pasos 3 y 6.

Metodología para el Análisis de Resultados de la Prueba.

En la curva del resultados de los impulsos TDR se selecciona el cursor para verificar la distancia en donde se reflejó la onda emitida del extremo más alejado del **Teleflex SX** y el primer reflejo del impulso que se registra (Lugar del PD) y con el eje X (Distancia) se estima la posición de la PD del cable subterráneo como se muestra en la Figura 2.28 como l_2 [32].

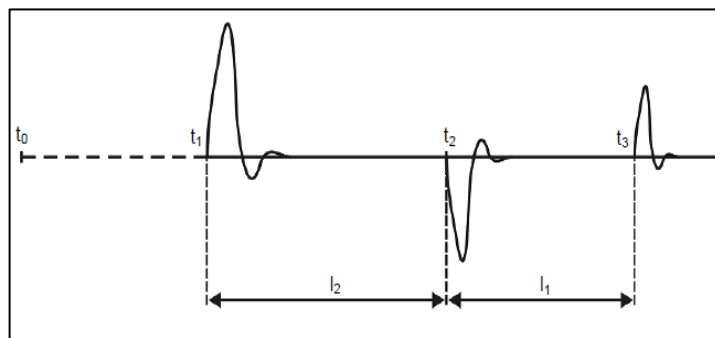


Figura 2. 8 Estimación de la distancia del DP mediante el análisis de la curva TDR [31]

La interpretación de los resultados de la ubicación de los PD está aún en desarrollo. Muchas organizaciones y empresas poseen banco de datos de las características DP para diferentes defectos y han creado reglas para la interpretación de los datos. Los nuevos datos se

compraran con los anteriores para identificar el tipo, la localización y la gravedad del defecto.

2.3 Criterio de Diseño para el Laboratorio de pruebas eléctricas.

Se toma en consideración los siguientes criterios para el diseño del laboratorio:

Trazado Físico del Laboratorio

Para el criterio de diseño del trazado físico se toma en consideración a cada sección del laboratorio como sigue:

- *Desfogue de aceites*; se colocó esto para almacenar los aceites de los equipos ya que el aceite de los transformadores tienen que ser tratados para luego darles de baja. Se coloca el piso del laboratorio de pruebas a una altura de **40 cm** para no tener ningún inconveniente con algún fenómeno adverso climático.
- *Área de transformadores*; está colocado a **40 cm** sobre el piso el laboratorio, para que se pueda limpiar y para comodidad al rato de recoger los escombros del mismo, ubicado en la parte izquierda del mismo, se tiene una pendiente de desfogue para que pueda bajar los aceites con un volumen aproximado de la tercera parte de volumen del transformador, en la parte del piso cuenta con moquetas para limpiar el cazado ya que el lugar debe permanecer sin ninguna gota de aceite.
- *Área de prueba*; se coloca a **40 cm** del piso, cuenta con un canal de desfogue que tiene las mismas características del área de transformadores ubicado al lado izquierdo céntrico a una distancia de **1,3 m** de la pared para seguridad en el momento de realizar cualquier prueba para un elemento de distribución a nivel de 13,8 KV.

Para criterios de diseño se toma las referencias de la **tabla 1**, y de la **tabla A1** basados en la Norma **UNE 207020 IN** [32].

- *Herramientas personales*; contamos con todo lo necesario para realizar las pruebas se cuenta con indumentaria fresca e ignífuga para que el momento que produzca un arco evite que se combustione y no

cause deshidratación, el casco y los guantes tienen que estar en buen estado revisar la fecha de elaboración de los mismo, tiene que tener el casco su respectivo barbiquejo, se debe tener líquidos para mantener los equipos personales limpios.

- *Oficina*; sirve para guardar los archivos de las pruebas, documentación de los contratos, llevar un registro de los trabajos realizados anteriormente y a futuro.
- *Área de aseo del personal*; es donde los técnicos retiran todas las impurezas y donde se pueda cambiar de indumentaria de trabajo a ropa normal.
- *Bodega de repuesto*; es donde guardamos todos los repuestos que se puedan reutilizar como pernos, tuercas, rodela, entre otros antes de ser dados de baja.
- *Almacén de repuestos*; es donde tenemos todo el stock de repuestos de los diferentes equipos del sistema eléctrico de distribución.
- *Horno eléctrico*; se tiene un horno eléctrico para secado forzado del bobinado del transformador y los interruptores para que se pueda realizar las pruebas.
- *Compresor de tornillo*; es un servicio industrial muy útil ya que con eso realizamos la limpieza de los equipos de distribución y su respectiva área de trabajo.
- *Área de desembarque*; se lo utiliza para descargar los equipos que se va a realizar las pruebas.
- *Áreas de Colocación de Equipos*; esta área esta designada para los equipos que tienen que realizarse las pruebas.

Todas las pruebas se lo realiza a puerta cerrada delimitando el área de trabajo, el laboratorio cuenta con una pared de **7 metros** de altura y un espesor **0,14 metros**, considerando la pared a esa altura para que no cause ningún destello por incidencia de la luz solar al momento de realizar las pruebas.

Se cuenta al final de la misma con una ventana de **1 metro** a los dos lados del perímetro del laboratorio para que haya iluminación en el mismo. El techo tiene una terminación en V invertida a dos aguas con la finalidad que el agua lluvia caiga por gravedad.

Se cuenta también con un cuarto de transformadores para suplir la carga total del laboratorio de pruebas, este cuarto cuenta con las medidas apropiadas y su respectiva ventilación basadas en el **NATSIM** (NORMAS DE ACOMETIDAS CUARTOS DE TRANSFORMADORES Y SISTEMAS DE MEDICION PARA EL SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD) [33].

El laboratorio cuenta con un área de parqueo para los vehículos de pruebas de campo que sean necesarios, también de los clientes que contraten el servicio y personal del laboratorio. Contando con un área de control para supervisar y controlar al personal que labora, los equipos y materiales que se encuentre dentro del mismo.

Se cuenta con una grúa para movilización de equipos pesados dentro del laboratorio, los cálculos para la potencia eléctrica de la grúa que se necesita para el laboratorio es de **75 HP** (véase **Anexo #2**).

Diseño Eléctrico del Laboratorio

Para el funcionamiento del Laboratorio de pruebas tenemos se coloca algunas máquinas para realizar las pruebas y maniobras de los equipos de prueba, se debe colocar un transformador de **150 KVA** para suplir toda la demanda eléctrica, en la parte posterior del mismo se coloca un tablero con barras colectoras para la distribución total de la carga, tanto para las instalaciones en la oficina como para las pruebas de los equipos.

En el **circuito de luminaria** tenemos cinco circuitos, dos de ellos a **110 V**. y el resto a **220 V** todos monofásicos cada uno individualizado con su respectiva carga instalada que sale del tablero secundario.

Parte de fuerza los circuitos son independientes de los cuales cinco de ellos son a **220 V. trifásico**: Un circuito para el compresor, otro para la grúa, y para el horno eléctrico, para alguna maniobra se consideró dos

circuitos más con un factor de coincidencia del circuito de tomacorriente de 1,125 todo esto en trifásico.

Además se lo distribuyo para 110 V. monofásico con tres circuitos: circuito 1 de 8 tomacorriente, circuito 2 de 4 tomacorrientes, circuito 3 de 14 tomacorrientes todo esto a 110 V. que serán utilizados en la alimentación de las computadores y algunos equipos más.

De tableros secundarios tenemos dos: uno de ellos donde se coloca las barras de cobre de $1/2" \times 1 1/2"$ a **560 A.** para distribuir la carga tanto monofásica como trifásica, este tablero es el disyuntor principal **PD-1** de **400 A.** (véase **Anexo #3**), el tablero tiene que ir conectado a tierra con un conductor donde también se coloca el disyuntor principal teniendo cinco circuitos trifásicos según el **Anexo # 3**, se coge un conductor de cobre **# 4 AWG** para la puesta a tierra y de aquí se reparte la carga al otro tablero secundario **PD-2** donde se tiene los circuitos de alumbrado a 220 V. /110 V. monofásico además se coloca todos los circuitos de tomacorriente a 110 V. colocando las barras de cobre de $1/8" \times 1/2"$, la caja también va puesta a tierra con un conductor de cobre **# 6 AWG** según el (**Anexo # 3**).

La puesta a tierra está formada por varios conductores (electrodos) unidos entre sí, enterrados en contacto directo con el terreno y conectados con la instalación eléctrica a través de la línea de tierra, se debe conectarse a tierra los pararrayos, gabinetes, cajas metálicas de derivación, tableros medidores y en general todos los cubiertos que contengan los equipos eléctricos para que de esta manera se posibilite el paso, desde el terreno, corrientes con diferentes orígenes, tales como desequilibrios eléctricos, sobretensiones de origen atmosférico, sobretensiones de maniobra o conocidas también como cargas estáticas, produciéndose en el terreno distribuciones de potencial que no puedan afectar la seguridad de las personas y los equipos en sí, en todo estudio de las instalaciones de puesta a tierra se debe considerar:

- Seguridad de las personas
- Protección de las instalaciones

- Protección de los equipos sensibles; para lo que es necesario conocer:
 - a) los elementos que forman las instalaciones,
 - b) la naturaleza de las diferentes corrientes que circulan
 - c) las respuestas de los elementos a estas corrientes
 - d) el terreno, teniendo en cuenta su heterogeneidad (rocas que lo forman, estratos, textura) y sobre qué factores actúan (humedad, temperatura).

El valor máximo de resistencia de paso a tierra será de **1 ohmios** que se conectara en la malla de tierra para que deje pasar las descargas. La resistividad del suelo será dependiendo de la naturaleza del terreno:

Naturaleza del terreno	Resistividad ρ ($\Omega.m$)
Arcilla compactada	100 a 200
Arcilla plástica	50
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Balasto	3000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Calizas blancas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Cuarzo	800
Grava	3000 a 5000
Granito procedentes de alteración	1500 a 10000
Granito muy alterados	100 a 600
Gres procedentes de alteración	1500 a 10000
Gres muy alterados	100 a 600

Hormigón	2000 a 3000
Humus	10 a 50
Limo	20 a 100
Margas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica	800
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Turba húmeda	5 a 100

Tabla 2.1 Resistencia del terreno [34]

El laboratorio para las pruebas eléctricas cuenta con un área de construcción total de **336.7 m²**, de esto **70 m²** está designado para oficina, área de limpieza, bodega y almacén y lo restante es para el laboratorio en sí como se muestra en la Figura 2.29.

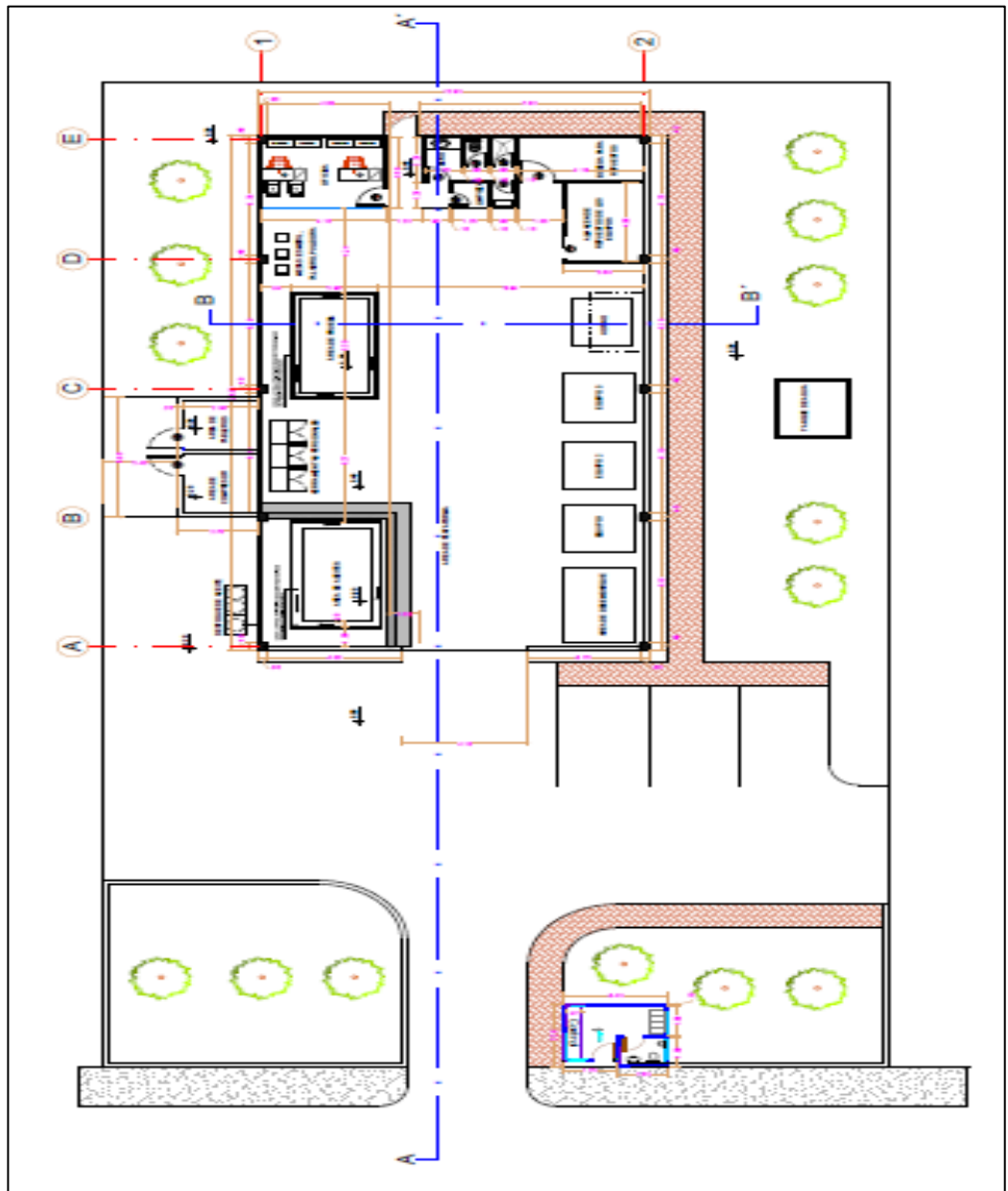


Figura 2. 9 Planta Arquitectónica del Laboratorio de Pruebas Eléctricas

Adjunta en el Anexo # 3 de los planos.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DEL CRITERIO DEL DISEÑO DEL LABORATORIO

3.1 Dimensiones de las áreas del trazado físico.

El laboratorio tiene un área de **336,7 m²**, que está diseñado con columnas en cemento armado de **0,4 x 0,3 m**. Además el área de trabajo está a **0,4 m** sobre el nivel del piso, cuenta con un total de 9 Áreas que son:

Área de Aceites

Es en donde se colocan los equipos de prueba para transformadores e interruptores para ser analizado por inspección visual, procediendo a limpiarlos y verificar su estado.

Posee un canal de derivación con una pendiente del **2%** para que el momento de cambiar el aceite no quede nada, con un volumen aproximado de **1632 litros** porque ese es el volumen para albergar todo el aceite en el caso que se derrame, el canal debe abarcar 1,5 veces el volumen de aceite.

El área que comprende es de **4,7 x 2,3 m** con un ducto de **0,3 m** de ancho y **0,35 m** de altura ocupando todo su perímetro, ubicado a **0,4 m** sobre el piso y al final de su contorno se coloca una alfombra para limpiar el calzado en el caso de algún derrame de aceite.

En parte de afuera del área de aceites se coloca unas tinajas para almacenar el aceite en mal estado. Se muestra en la Figura 3.1 el Área designada para el tratamiento de aceite.

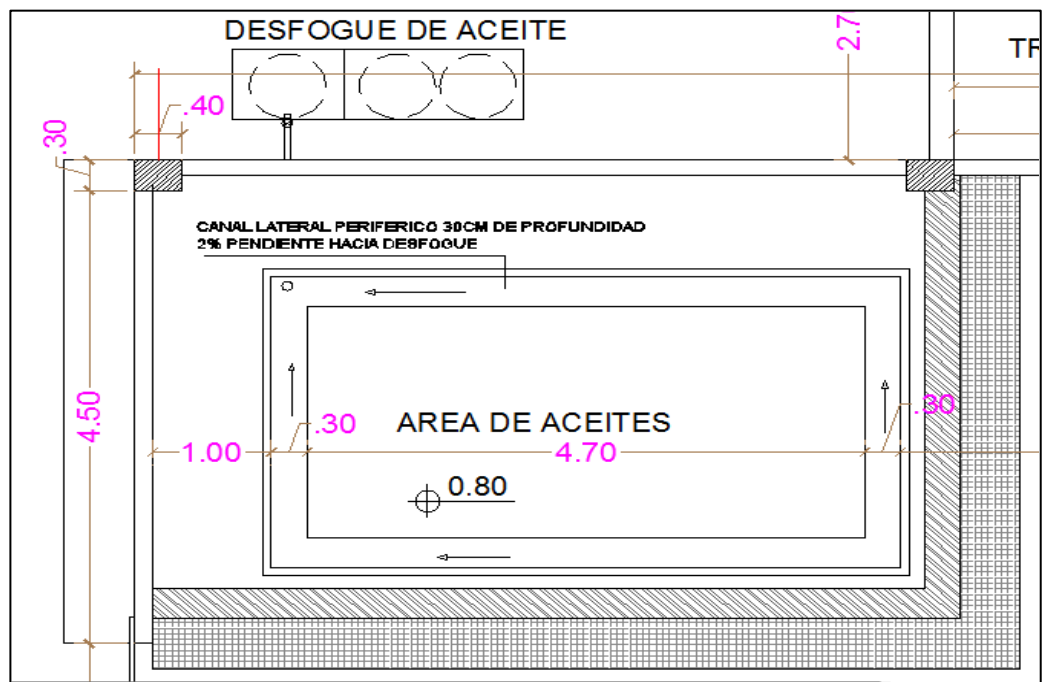


Figura 3.1 Área de aceites del Laboratorio

Área de prueba

Es el área más importante del laboratorio es donde se va a tomar todas las pruebas a los equipos, estratégicamente ubicada a un costado de la pared lo cual nos ayuda a delimitar el área de seguridad el momento de realizar las pruebas, construida en hormigón a **0,4 m.** sobre el piso para tener una mayor visualización en momento del trabajo, cuenta con un canal de derivación que tiene las mismas medidas que la del área de los aceites además cuenta con tomas **3Ø**, como **1Ø** cerca del mismo para poder energizar los equipos, cumplan con el estándar requerido y verificar que este en óptimas condiciones.

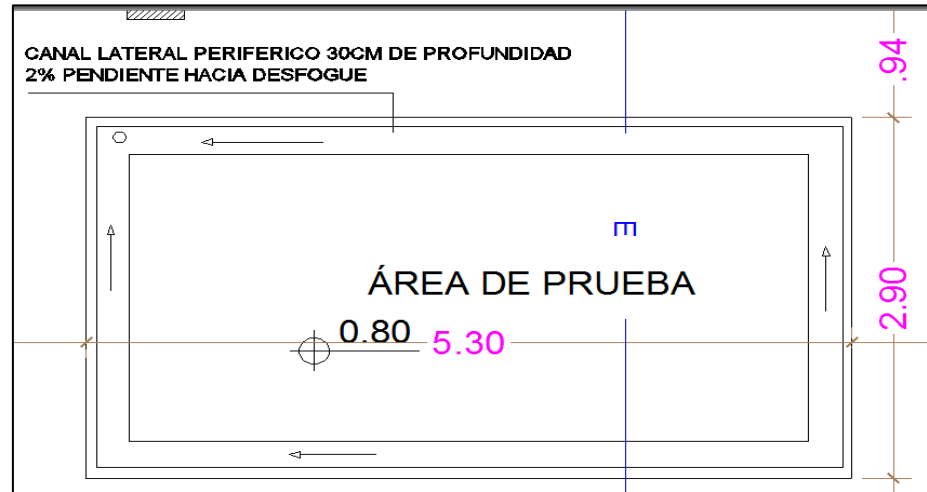


Figura 3.2 Área de prueba

Área de desembarque

Ubicada al costado derecho del laboratorio de pruebas para el momento de recibir los equipos eléctricos a ser analizados como son: transformadores, interruptores y cable subterráneo se los verifique para realizar las pruebas y luego se los traslade al exterior a los diferentes niveles de distribución se lo realice de forma rápida y ordenada, con una longitud de 3,84 y ancho de 2,37 está a nivel del piso se lo desembarca ahí tanto los transformadores, como interruptores con la ayuda de la grúa se los moviliza de una área a otra, dentro del laboratorio y para la instalación nos ayudamos de la plataforma, en especial para los transformadores.

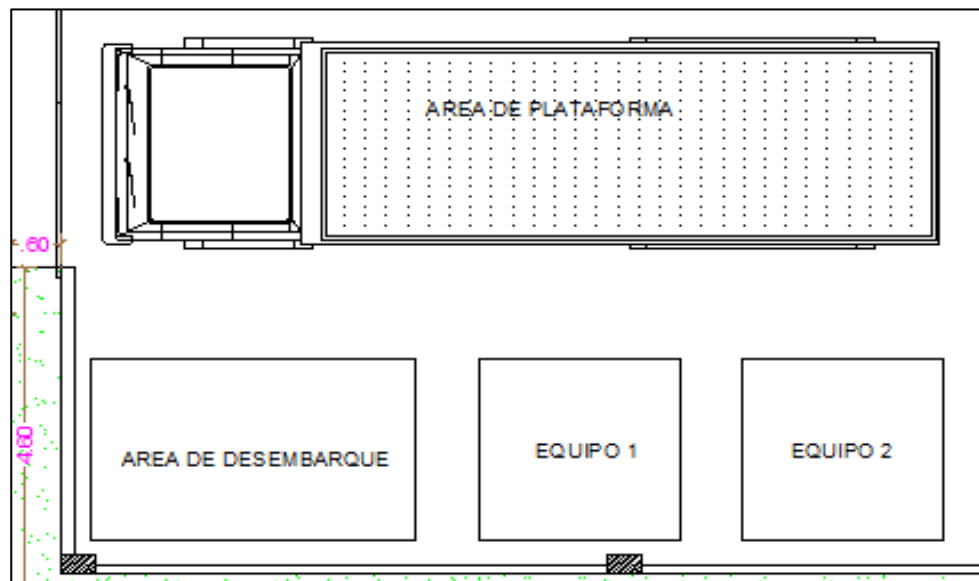


Figura 3.3 Área de desembarque

Área de la plataforma

La plataforma es el medio de transporte con el que cuenta el laboratorio para el arribo y traslado de los diferentes equipos, por estética este lugar debe estar libre sin ningún obstáculo permaneciendo siempre limpio, el personal siempre debe estar atento para supervisar tanto el arribo para ver en el estado que llegue y también en el momento del embarque, con la grúa sujeta bien a los equipos se manipulan correctamente.

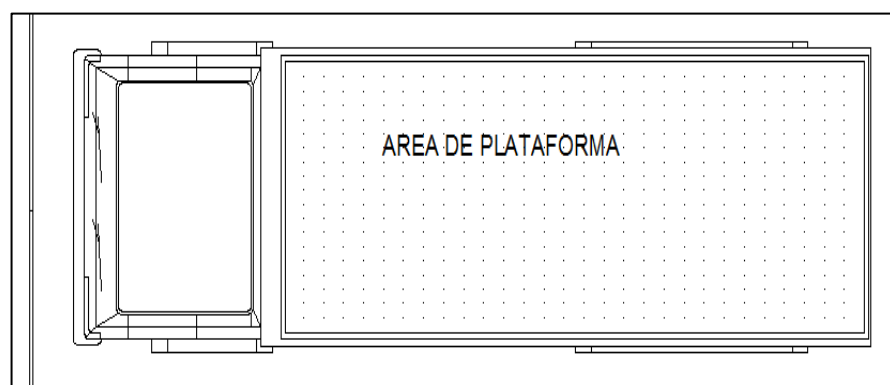


Figura 3.4 Área del transporte plataforma

Área de los equipos

Parte importante del laboratorio ya que es donde se da proceso para realizar las pruebas a los: transformadores, interruptores, cable subterráneo diagnosticarlos, repararlos y ver que estén en buenas condiciones, una vez realizadas las pruebas deben ser comparadas con los estándares y normas utilizadas en el laboratorio para su buen funcionamiento.

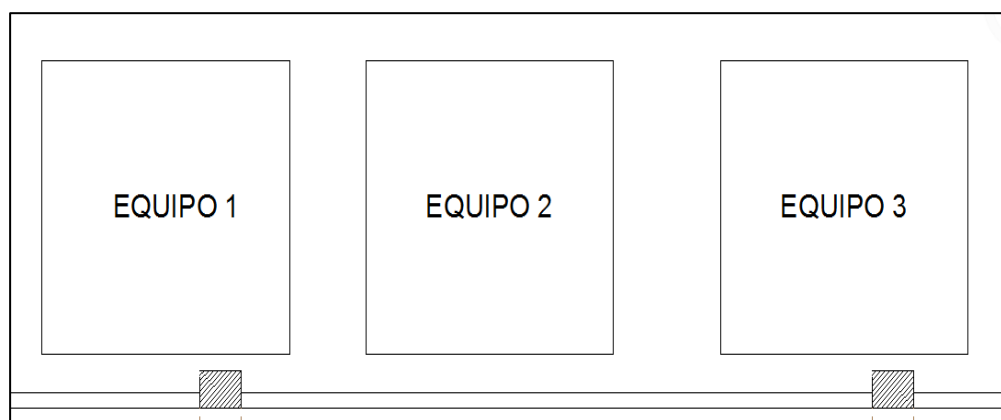


Figura 3.5 Área de equipos

Área de secado

Es un área exclusiva ya que nos ayuda con el secado de las diferentes partes de: los transformadores, interruptores contamos con un horno eléctrico, para la evaporización calentamos las piezas por encima de la temperatura ambiente y los líquidos que tengan esta cuenta en su interior con una cavidad para ser alojados. El horno tanto en su parte interna como externa debe permanecer limpia sin ninguna gota de aceite lo cual se recomienda limpiarlo cada vez que se utilice.

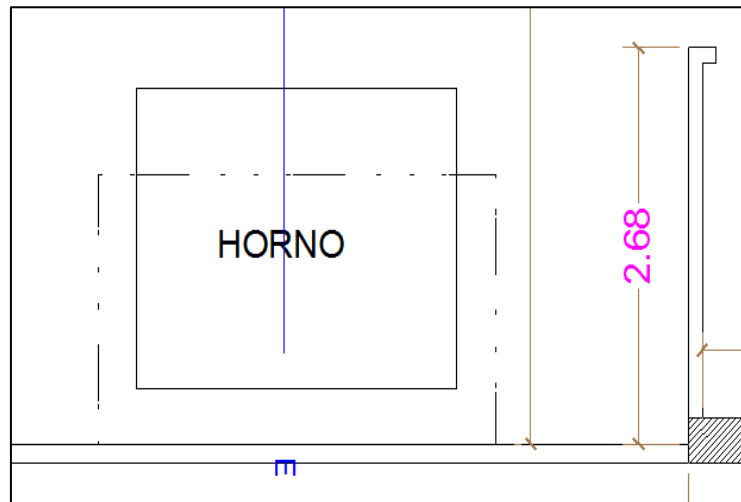


Figura 3.6 Área de secado

Área del compresor

Para el funcionamiento del laboratorio debemos tener una de las necesidades importantes que es el aire comprimido para limpiar los: transformadores, interruptores, cables, el área de trabajo es de mucha ayuda ya que con este, extraemos todo lo referente a los escombros que nos encontramos por del trabajo o del tiempo.

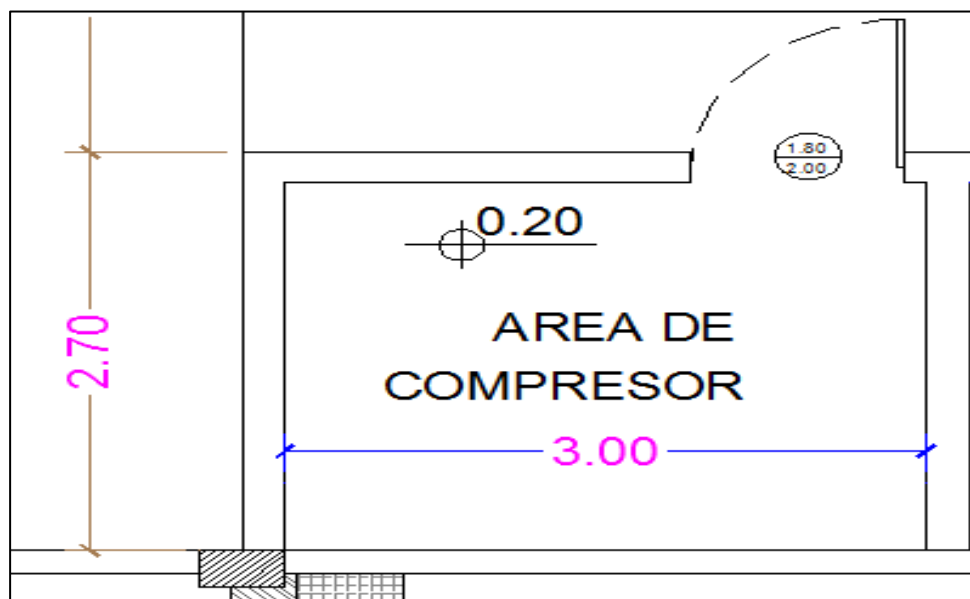


Figura 3.7 Área del compresor

Área del transformador

Reducimos la alta tensión en baja tensión para suplantar la carga y demanda de energía que necesita el laboratorio, realizamos la conexión delta con tap central a tierra para que nos entregue el voltaje de: 220 V/ 110 V/ 190 V, se coloca un transformador el cual cumple con los estándares y normas de construcción:

- ventilación natural
- protección en el lado de alta caja porta fusible con un rompe carga
- tres pararrayos de 10 KA
- fusible de bayoneta de 8 [A]

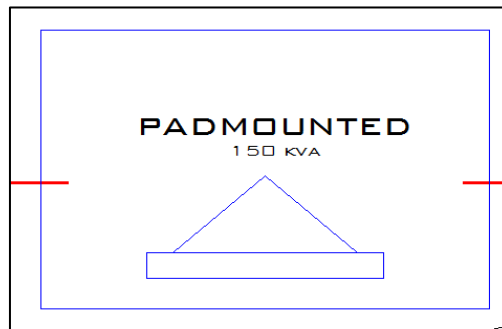


Figura 3.8 Base del transformador

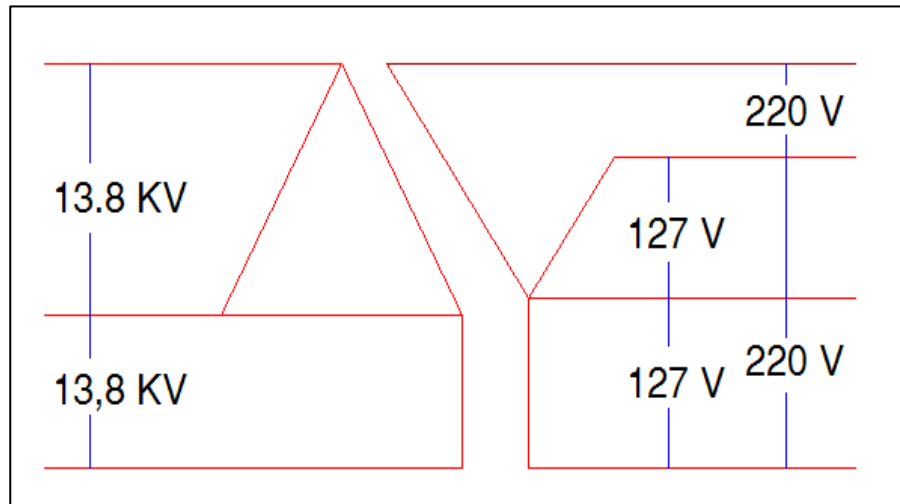
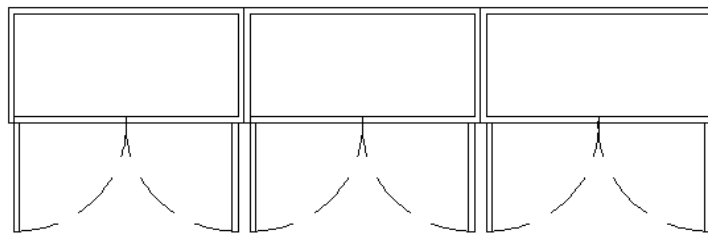


Figura 3.9 Conexión del transformador de potencia

Utilizamos un medidor de clase 20 con caja

Área de herramientas personales

Se designa esta área para guardar el equipo con lo que el personal cuenta para realizar las pruebas recordemos que el equipo debe estar en buen estado y siempre limpio libre de impurezas, las herramientas de maniobra también deben mantenerse en buen estado para seguridad del personal que labora en el mismo.



HERRAMIENTAS PERSONALES

Figura 3.10 Área de herramientas personales

3.2 Diseño eléctrico.

En primer lugar se calcula la demanda que tenemos en el mismo, para lo cual se procede de la siguiente manera: comenzamos con el circuito de luminarias tanto a nivel de 110 V., a 220 V. monofasicos como detallamos en la Figura 3.11 a continuacion:

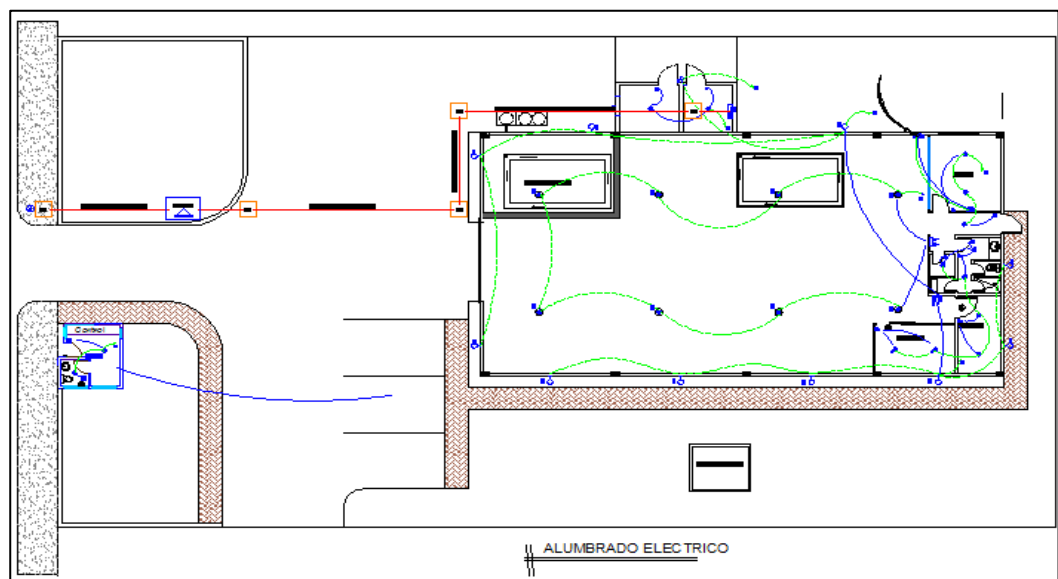


Figura 3.11 Circuito de alumbrado

Circuito	Potencia [W]	Voltaje [V]	# de Lámparas
A1	200	220	6
A2	200	220	5
A3	200	220	8

Tabla 3.1 Circuitos monofásicos de 220 [V] para lámparas

Para el caso de las luminarias utilizaremos un cable multipolar según la Tabla 310-16 del NEC

Circuito	Corriente [A]	Factor de Seguridad	Capacidad del Breaker en [A]	Calibre del Conductor serie THWN
A1	0,90909	1,25	10 2P	2 # 12 AWG
A2	0,90909	1,25	10 2P	2 # 12 AWG
A3	0,90909	1,25	10 2P	2 # 12 AWG

Tabla 3.2 Disyuntor y calibre del conductor para alumbrado de 220 [V]

Circuito	Potencia [W]	Voltaje [V]	# de Focos
A4	80	110	7
A5	80	110	7

Tabla 3.3 Circuitos monofásicos de 110 [V] para focos

Circuito	Corriente [A]	Factor de Seguridad	Capacidad del Breaker en [A]	Calibre del Conductor serie THWN
A4	0,727272	1,25	10 1P	2 # 12 AWG
A5	0,727272	1,25	10 1P	2 # 12 AWG

Tabla 3.4 Disyuntor y calibre del conductor para alumbrado de 110 [V]

En el panel de distribución se coloca los circuitos de luminarias tanto a 110 V. y 220 V. monofásicos, con un factor de incidencias de uno, del panel sale la carga para los circuitos independientes de las centrales de aire a 220 V. también de este panel sale la conexión de cada uno de los tomacorrientes a 110 V.

Consideramos los circuitos de todas las líneas de fuerza a energizarse como son los motores de: grúa, compresor, horno además contamos con aire acondicionado tanto para la oficina, bodega y almacén. Todos estos circuitos independientes para cada uno cuenta con su respectiva protección donde en el laboratorio contamos con dos circuitos 3Ø uno de 4 tomas y otro de 3 tomas en 220 V. en 110 V contamos con tres circuitos 1Ø uno de 8 tomacorrientes otro de 14 tomas corrientes y otro de 4 tomas

corrientes, en la oficina contamos con dos computadoras personale y una impresora para el uso del personal que labora.

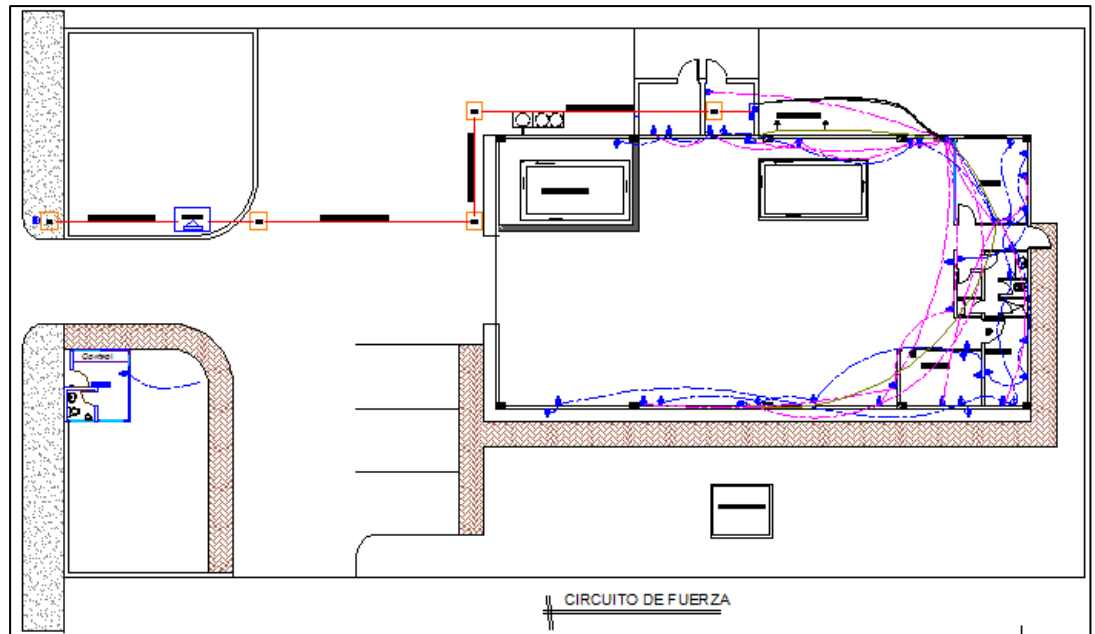


Figura 3.12 Trazado del circuito de fuerza

C1	grúa	C4	Central de aire 24000 BTU
C2	compresor	C5	Central de aire 18000 BTU
C3	horno	C6	Central de aire 18000 BTU

Tabla 3.5 Circuitos de fuerza

Circuito	Potencia en [KW]	Voltaje [V]	factor de potencia	factor de seguridad
C1	55,875	220	0,92	1,75
C2	5,96	220	0,92	1,75
C3	0,745	220	0.92	1,75

Tabla 3.6 Circuitos trifásicos de 220 [V] para motores

Circuito	Corriente [A]	OverLoad	Capacidad del Breaker [A]	Calibre del Conductor Serie THWN
C1	159,38	150	175 3P	# 3/0 AWG y 1 # 8 AWG 7 hilos
C2	17	25	30 3P	3 # 12 AWG 7 hilos y 1 # 14 AWG
C3	2,125	3	5 3P	3 # 12 AWG 7 hilos y 1 # 14 AWG

Tabla 3.7 Disyuntor y calibre de conductor para circuitos trifásicos de 220 [V] para motores

Para los circuitos de fuerza lo adicionamos el conductor de puesta a tierra lo cual se escoge el calibre según la **Tabla 250-95** del **NEC**.

Calculamos la corriente máxima en el secundario de cortocircuito según la norma **IEEE Std 141-1993** nos da la siguiente ecuación [35]:

$$I_{cc} = \frac{V}{Z_{th} + Z_t} \quad (3.1)$$

Donde:

V = Voltaje en el lado de alta

Z_{th} = Impedancia de thevenin nos proporciona la empresa eléctrica

Z_t = Impedancia de transformador

$$I_{cc} = \frac{13800}{0,8756 + j4,8789 + \frac{9}{100}} = 2774,68 < -78,8^\circ$$

Tiempo máximo que interviene la protección 90 ciclos a 60 Hz significa:

$$t = \frac{90}{60} = 1,5 \text{ seg.}$$

Voltaje critico a 1 s V_c

$$V_c = \frac{165 + 0,25 \cdot \rho}{\sqrt{t}} = \frac{165 + 0,25 \times 50}{\sqrt{1,5}} = 144,9 \text{ V}$$

Selección del conductor para la puesta a tierra [35]:

$$Ac = I_{cc} \left[\frac{33 \cdot t}{\log \left[\frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right]} \right] \quad (3.2)$$

Donde:

Ac = Sección del conductor en circular mil

I_{cc} = Corriente de corto circuito

T_m = Temperatura máxima

T_a = Temperatura mínima

$$Ac = 2774,68 \left[\frac{33 \cdot 1,5}{\log \left[\frac{200 - 30}{234 + 30} + 1 \right]} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

$$Ac = 2774,68 \left[\frac{33 \cdot 1,5}{\log \left[\frac{200 - 30}{234 + 30} + 1 \right]} \right]^{\frac{1}{2}} = 41700,1203 \text{ circular mil}$$

1 circular mil = $5,064506 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$

Ac = 21, 119 mm²

$$A = \pi r^2 \quad (3.4)$$

$$r = \left[\frac{A}{\pi} \right]^{\frac{1}{2}} = 2,74 \text{ mm}$$

Según la tabla de **NEC 310-16** escogemos un conductor desnudo # 1

Longitud del conductor de la malla de puesta a tierra:

$$L = \frac{0,7 \cdot \rho \cdot I_{cc}}{V_c} = \frac{0,7 \cdot 50 \cdot 2774,68}{145} = 669,75 \quad (3.5)$$

$$R_t = \frac{2 \cdot \rho}{P} = \frac{2 \cdot 50}{60} = 1,6 \quad (3.6)$$

Donde:

R_t = Resistencia esperada

P = Perímetro de la malla

$$N = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot R_{esp} \cdot L_{vs}} \times \text{LN} \left[\frac{4 \cdot L_{vs}}{d_{vs}} - 1 \right] \quad (3.7)$$

Donde:

ρ = Resistividad del suelo en $\Omega.m$

dvs = diámetro del conductor de tierra

Lvs = Longitud de la varilla de tierra ya enterrada

N = # de varillas a implantar

Resp = Resistencia de malla esperada

$$N = \frac{50 \Omega.m}{2 * \pi * 1,6 * 2,75} * LN \left[\frac{4 * 2,75}{\frac{5,48}{1000}} - 1 \right]$$

$$N = 13,75$$

N = lo que nos da 14 consideramos para nuestro estudio 15 varillas de cobre.

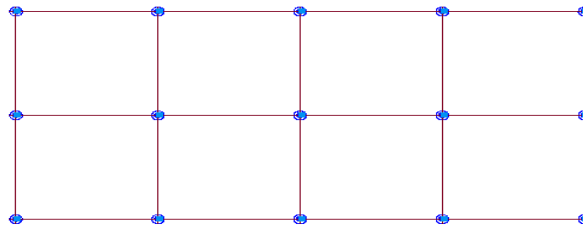


Figura 3.13: Malla de puesta a tierra.

A esto le adicionamos dos circuitos 3 \emptyset de 220 V, un circuito cuenta con 4 tomacorrientes para un disyuntor de 30 A, 3P con 3 conductores # 8 AWG 7 hilos, 1 conductor # 10 AWG para la toma de tierra serie THWN.

Otro circuito de 3 tomas a 220 V 3 \emptyset para un disyuntor de 20 A, 3P con 3 conductores # 10 AWG 7 hilos, 1 conductor # 12 AWG para la toma de tierra serie THWN.

En la siguiente tabla detallamos los valores de corriente con margen de seguridad de 1,75 para el arranque de cada uno con un factor de incidencia de uno.

Circuito	Potencia [KW]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Capacidad del breaker [A]	Calibre del conductor serie THWN
C4	2,4	220	10,909	20	3 # 10 AWG y 1 # 12 AWG
C5	1,8	220	8,1818	15	3 # 10 AWG y 1 # 12 AWG
C6	1,8	220	8,1818	15	3 # 10 AWG y 1 # 12 AWG

Tabla 3.8 Corrientes de las centrales de aire

A continuación detallamos la cantidad de energía que consume cada central de aire según su capacidad en BTU, entendiendo por BTU a la cantidad de calor necesaria que hay que sustraer a 1 lb de agua para así disminuir su temperatura 1 °F (Unidad de calor):

$$1 \text{ BTU} = 0,252 \text{ K cal}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ KG} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J}$$

$$1 \text{ W-hora} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ Kilocaloría} = 4184 \text{ J}$$

$$1 \text{ BTU} \frac{0,252 \text{ K cal}}{1 \text{ BTU}} \times \frac{4184 \text{ J}}{1 \text{ K cal}} \times \frac{1 \text{ W} \cdot \text{s}}{\text{J}} \times \frac{1 \text{ W} \cdot \text{h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ KW}}{1000 \text{ W}} = 2,93 \times 10^{-4} \text{ KWh.}$$

Para el cableado de todos los circuitos de tomacorrientes de 110 V tomando en consideración que sale del panel de distribución y reparten la carga por todo el contorno del mismo tanto para la energización de las computadoras, impresoras y equipos de medición del laboratorio, la instalación se realizara con 3 conductores: fase, neutro y tierra para fase y neutro con cable # 12 AWG serie THWN y para tierra con cable # 14 AWG serie THWN multipolar en ambos casos, los tomacorrientes serán de tipo diferencial.

Circuito	Corriente [A]	Factor de incidencia	# de tomacorrientes	Capacidad del breaker en [A]
C7	7	0,4	8	25
C8	7	0,4	14	40
C9	7	0,4	4	12

Tabla 3.9 Circuitos de tomacorrientes de 120 [V]

Transformador para suplir la demanda: tomamos en consideración todos los cálculos en las tablas anteriores de corriente calculada:

En **3Ø** tenemos las siguientes cargas: grúa a 220 A, compresor 25 A, horno 5 A más dos circuitos de tomas con 15 A

Total de corriente: 265 A.

$$S1 = V.I.\sqrt{3} = (220).(265).\sqrt{3} = \mathbf{100,978\ KVA} \quad (3.8)$$

En **1Ø** tenemos las siguientes cargas: circuito 1: 6 lámparas de 220 V. para un disyuntor de 10 A. Circuito 2: 5 lámparas de 220 V. para un disyuntor de 5 A. circuito 3: 8 lámparas de 220 V. para un disyuntor de 10 A.

Corriente total consumida en esta distribución: 25 A.

$$S2 = V.I = (220)(25) = \mathbf{5,5\ KVA} \quad (3.9)$$

A 110 V. **1Ø** tenemos los siguientes circuitos: circuito 4: 5 focos para un disyuntor de 5 A; circuito 5: 7 focos para un disyuntor de 10 A; y tres circuitos más de fuerza con un total de 95 A.

$$S3 = V.I = (110)(95) = \mathbf{10,45\ KVA} \quad (3.10)$$

S total = S1+S2+S3 = 116,928 KVA con una reserva que no sobrepase del 80%

Lo cual da la capacidad del transformador es de **150 KVA**.

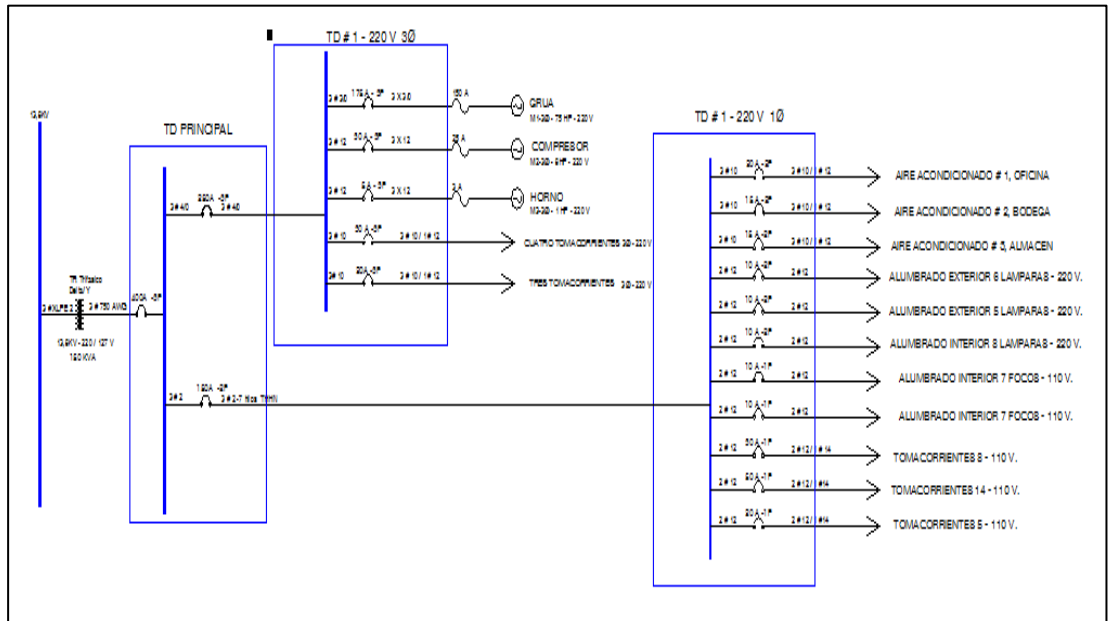


Figura 3.14 Diagrama Unifilar

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se propuso una elaboración de guías para las pruebas propuestas en donde se toma en consideración la aplicación de las normas para la seguridad del personal que va a realizar las pruebas en el nuevo laboratorio tanto para realizar las pruebas eléctricas a los equipos como protección de los mismos, cumpliendo así un punto importante que sería evitar riesgos de accidentes y hasta muertes del personal.

También las guías toman en consideración la preparación del elemento que está bajo ensayo y los preparativos previos recomendados en las normas internacionales antes de realizar las pruebas, procedimiento de la prueba basada en manuales de los equipos de medición y una metodología para el análisis de los resultados de las pruebas basados en normas internacionales.

La creación de un laboratorio para pruebas eléctricas se vuelve más frecuente ya que la energía eléctrica cada día presenta nuevas alternativas de cambio por las constantes innovaciones tanto en la industria como en el acontecer diario con nuevos equipos, dispositivos dentro del cual se desenvuelve el área de distribución para el servicio de energía eléctrica, ya que aquí trataremos de poner todas las pautas a considerarse en el diseño del mismo y esto a futuro representara un mejoramiento socioeconómico de un país en marcha y esto enriquezca el conocimiento de los que laboren en el mismo. El objetivo de construir un laboratorio para pruebas es con el fin de mantener siempre vigilado y en buenas condiciones los elementos a ser tratados en el mismo como son: transformadores, interruptores y cables subterráneos ya que estos equipos en su mayoría siempre son sometidos a sobretensiones lo cual siempre están propensos a fallas y averías. El desarrollo y el estudio del área de pruebas asignado para cada uno abarcan su función específica que es garantizar el buen funcionamiento de cada uno de los equipos y la seguridad del personal que trabaje ahí el momento de realizar las pruebas, ya que el laboratorio cuenta con circuitos independientes para cada una de sus pruebas donde posee un panel de distribución, un tablero de distribución y un tablero para arranque de la grúa; cada uno conectado a la malla de tierra para en el caso de una

sobretensión ya sea por maniobra o por descarga atmosférica actúen las respectivas protecciones.

El diseño arquitectónico del laboratorio está distribuido en áreas cada una distribuida de forma apropiada, contamos con una grúa para la movilización y traslado de los equipos pesados como en este caso los transformadores, además contamos con un compresor de tornillo de gran volumen para limpiar todas las impurezas que tengan los equipos y las áreas del mismo ya que siempre debemos mantener limpio todo lo que involucra al laboratorio como es el área de trabajo, las herramientas, los equipos a ser utilizados que deben mantenerse siempre limpios y relucientes, además contamos con área de prueba el cual tiene una conexión de desfogue directa con el área de los aceites, para el momento de realizar dicha prueba y en el caso de alguna avería en el equipo se desfogue el aceite el mismo y no cause ninguna mala apariencia en el área de trabajo.

La necesidad de la construcción de un laboratorio para realizar pruebas eléctricas en cualquier ciudad es latente debido a que el mantenimiento de todo el sistema de distribución eléctrica conlleva una mejora de la calidad de servicio.

Para realizar cualquier prueba eléctrica ya sea esta dentro y fuera del laboratorio se debe cumplir los protocolos de seguridad basados en normas internacionales y de protocolos propuesto por el laboratorio en sí para resguardar la seguridad tanto del personal como de personas ajenas a las pruebas.

Las pruebas que se realizan comúnmente a los transformadores son: SFRA que determina el estado mecánico del mismo y PD que determina si el aislamiento está en niveles aceptables antes de que falle el transformador en si debido al aislamiento.

En las pruebas DRM y de Voltaje Mínimo en los interruptores de potencia son muy efectivos para verificar: el estado de los contactos de arco en el caso de interruptores de gas SF6 y el circuito de disparo del interruptor a pesar de contar con muy poca alimentación de la batería de la subestación respectivamente.

Las pruebas de VLF y localización de PD en los cables subterráneos han demostrado que sirve para la verificación del estado del aislamiento sin que el cable sea llevado al laboratorio para realizarle las pruebas.

En la metodología para el análisis de resultados de las pruebas propuestas se basa en recomendaciones fundamentadas en normas internacionales, pero el técnico y el laboratorio tienen el último criterio para verificar que el elemento pase o no la prueba.

Para la acometida del sistema de alimentación del laboratorio debe ser subterráneo para mantener un equilibrio ecológico en el ambiente evitando posibles fallas externas debido a animales o fauna presente en el área del laboratorio.

Para el diseño de laboratorio se consideraron los tipos de pruebas que se proponen realizar para elaborar un buen trazado físico del laboratorio tomando en cuenta los espacios de seguridad y sus respectivas áreas.

Para el diseño eléctrico del laboratorio se consideraron los equipos de pruebas, los equipos de ayuda para la movilización de equipos, del centro de cómputo y la ventilación para el dimensionamiento de los disyuntores y de los calibres de los conductores a utilizar.

El aceite utilizado en los transformadores e interruptores debe ser tratado de manera adecuada, almacenado en tanques para luego ser tratado y no contamine el medio ambiente.

Todo el laboratorio debe contar con un sistema de puesta a tierra adecuado para los diferentes niveles de voltaje de las pruebas y así evitar descargas accidentales al personal o a terceros.

Recomendaciones

Se recomiendan comprar los equipos aquí propuestos ya que además de tener una facilidad de movilización del equipo, cuentan con software avanzado para el análisis de los resultados de las pruebas basados en normas internacionales.

Se recomienda que el laboratorio realice una certificación internacional y nacional tanto para el espacio físico, equipos de pruebas y de la tecnificación del personal para que los resultados de las pruebas realizadas allí sean de confianza y así la empresa que contrate el servicio no tenga ninguna duda de los resultados.

Se recomienda proponer más pruebas a transformadores, interruptores y cables subterráneos como también pruebas a los demás elementos del sistema eléctrico de distribución que se requerían para cubrir la necesidad de la empresa eléctrica.

Este trabajo fue realizado como una guía para un diseño de un laboratorio de pruebas eléctricas que en un futuro se pueda implementar dentro de una ciudad en el Ecuador, el cual se puede proponer más pruebas a más equipos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Antonio Pérez González, “Diseño de laboratorio para prácticas en media tensión para la Universidad Politécnica Salesiana,” Tesis de ingeniería, Fac. Ciencias Elect., Univ. Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2010.
- [2] Francisco Antillón Hernández y Osmin Magaña Canales, “Propuesta de diseño para el laboratorio de pruebas para transformadores de distribución y potencia” Tesis de ingeniería, Fac. de Ing. y Arq., Univ. Del El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2015.
- [3] Sergio Alejandro Chedid, “Análisis de Respuesta en Frecuencia (FRA) para Evaluación de Desplazamientos y Deformaciones de Devanados en Transformadores de Potencia,” en 5to Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad URUMAN, Montevideo, Uruguay, 2008, pp. 1-12.
- [4] Megger, “Guía de pruebas de interruptores”, Megger, Dallas, USA, Tec.
- [5] M. Landry, A. Mercier, G. Ouellet, C. Rajotte, J. Caron, M. Roy, and F. Brikci, “A new measurement method of the dynamic contact resistance of HV circuit breakers,” in Proc. CIGRE Session, 2004, pag. A3–112.
- [6] M. Landry, O. Turcotte, F. Brikci, “A Complete Strategy for Conducting Dynamic Contact Resistance Measurements on HV Circuit Breakers,” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, no. 2, pag. 710–716, 2008.
- [7] N.N., “Prueba y Diagnostico de cables de energía mediante el uso de tecnología VLF (Very Low Frequency)”, Inducor, Argentina-Colombia, Tec.
- [8] IEEE, “IEEE Recommended Practices for Safety in High Voltage and High-Power Testng,” IEEE Std 510-1983, 1983.
- [9] Jorge Caminos y Juan Bajaña Endara, “Seguridad del personal trabajando en líneas de distribución eléctricas primarias,” Tesis de ingeniería, FIEC, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2010.

- [10] NFPA, "Norma para la Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo," NFPA 70E, 2004.
- [11] Luz del Sur, "*Reglamento Interno de Seguridad, Salud en el Trabajo y Medio Ambiente*," Edición 2017. Lima-Perú, 2017.
- [12] IEEE, "IEEE Guide for the Application and Interpretation of Frequency Response Analysis for Oil-Immersed Transformers," IEEE Std C57.149 TM-2012, 2012.
- [13] "Descargas Parciales Trabajo Final", Scribd, 2018. [Online]. Disponible: <https://es.scribd.com/document/62939759/Descargas-Parciales-Trabajo-Final>. [Acceso: 11- Feb- 2018].
- [14] A. A. Bhole, and W. Z. Gandhare, "An overview of dynamic contact resistance measurement of HV circuit breakers", Journal of the Institution of Engineers (India): Series B, pag. 1-8, Ene. 2015.
- [15] J. Blackburn. Thomas Domin., "Protective Relaying: Principles and Applications, Third Edition". 2006.
- [16] IEEE, "IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable System," IEEE Std 400 TM-2001, 2001.
- [17] IEEE, "IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency," IEEE Std 400.2 TM-2004, 2004.
- [18] Rick Hartlein y Nigel Hampton, "Diagnostic Testing of Underground Cable Systems," NEETRAC., Georgia, Rep. 04-211/04-212/09_166, 2010.
- [19] Wang, J.; Stone, P.E.C.; Shin, Y.-J.; Dougal, R.A.; "Application of joint time-frequency domain reflectometry for electric power cable diagnostics," Signal Processing, IET, Vol. 4, No. 4, pag. 395 - 405, Septiembre 2009.
- [20] IEEE, "IEEE Guide for Partial Discharge Testing of Shielded Power Cable Systems in a Field Environment," IEEE Std 400.3 TM-2006, 2007.
- [21] *Manual FRAX 99, 101 y 150*, Megger, Eldarvagen, Suecia, 2011.
- [22] Leonardo Melo, "Aplicación de Técnicas Estadísticas al Ensayo de Análisis de Respuesta en Frecuencia en Transformadores de Potencia," Rumbos Tecnológicos, vol. 4, pp. 33-56, Mayo, 2012.

- [23] *MPD 600 Manual de Usuario*, Omicron, Oberes Ried, Austria, 2013.
- [24] IEEE, "IEEE Guide for Partial Discharge Measurement in Liquid-Filled Power Transformers and Shunt Reactors," IEEE C57.113-1991, 1991.
- [25] *PTM para CIBANO Manual de Usuario*, Omicron, Oberes Ried, Austria, 2014.
- [26] *Primary Test Manager Manual de Usuario*, Omicron, Oberes Ried, Austria, 2011.
- [27] Mario Poma Salazar, "Aplicación del equipo CIBANO 500 para el diagnóstico de un interruptor de potencia basado en mediciones de tiempos de operación, resistencia de contacto estática/dinámica, bobinas y corriente del motor," Tesis de ingeniería, Fac. Elect. y Electr., Univ. Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2015.
- [28] IEC, "High-voltage switchgear and controlgear-Part. 1: Common specifications," IEC 62271-1, 2011.
- [29] *Operating Instructions tan Delta Test Attachment*, sebaKMT, Baunach, Alemania, 2012.
- [30] *Teleflex SX User's Guide*, Megger, Dallas, USA.
- [31] *PD Loc Operation Manual*, Megger, Dallas, USA.
- [32] UNE, "Procedimiento para garantizar la protección de la salud y la seguridad de las personas en instalaciones eléctricas de ensayo y medida de alta tensión," UNE 207020 IN, 2012.
- [33] "Natsim 2012", Es.slideshare.net, 2018. [Online]. Disponible: <https://es.slideshare.net/albertama/natsim-2012-13326343>.
- [34] J. García, Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión. Madrid: McGraw-Hill / Interamericana de España, 2008.
- [35] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants," IEEE Std 141-1993, 1994.
- [36] K. Gieck, R. Gieck, V. Gerez Greiser and J. Cera Alonso, Manual de fórmulas técnicas. México, D.F.: Alfaomega, 2007.

ANEXOS

Anexo A1

Conexión del Equipo FRAX 101 al Transformador para la prueba SFRA [21]:

1. Se coloca las abrazaderas de señal aplicada y el de señal de medición en los casquillos de los terminales del transformador.
2. Conecte el plug de color amarillo al primer conector de la abrazadera de señal aplicada (generador) y el plug de color rojo al segundo conector de la abrazadera de señal aplicada (voltaje de referencia) del cable coaxial del equipo **FRAX 101**.
3. Conecte el cable de alivio de tensión mediante una pinza al tanque del transformador.
4. Conecte el cable coaxial del **FRAX 101** de color negro al primer conector de la abrazadera de señal de medición.
5. Repetir el paso 3 para conectar el cable de alivio de tensión en la abrazadera de señal de medición.
6. Conecte al equipo **FRAX 101** todos los cables de las dos abrazaderas y también conectar el cable de tierra del equipo **FRAX 101** a la tierra del transformador.
7. Se establece la conexión del equipo FRAX con el computador ya sea mediante conexión USB o conexión Bluetooth.
8. Conecte el equipo FRAX 101 a la fuente de alimentación CC desde el adaptador de CA/CC que se conecta a la fuente de alimentación CA de 220 Vac.
9. Antes de que se realice la prueba se recomienda verificar el estado de los cables de conexión y el correcto funcionamiento del equipo para que estén no afecten en las lecturas de la prueba mediante el uso del módulo FTB 101.
10. Conectar el origen de la abrazadera de la señal de referencia el conector del lado izquierdo del FTB 101.
11. Conectar el origen de la abrazadera de la señal de medición al conector del lado derecho del FTB 101.
 - a. Conecte los cables de tierra de ambas abrazaderas juntas a tierra del **FTB 101**.

- b. Conectar el origen de la abrazadera de la señal de medición al conector del lado derecho del **FTB 101**.
- c. Conecte los cables de tierra de ambas abrazaderas juntas a tierra del **FTB 101** como se muestra en la Figura A.1.

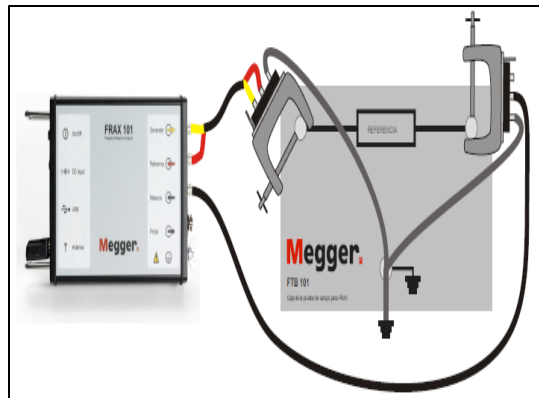


Figura A.1.1 Conexión del módulo FTB 101 [21]

Diagrama de Conexiones para la prueba SFRA en Transformadores.

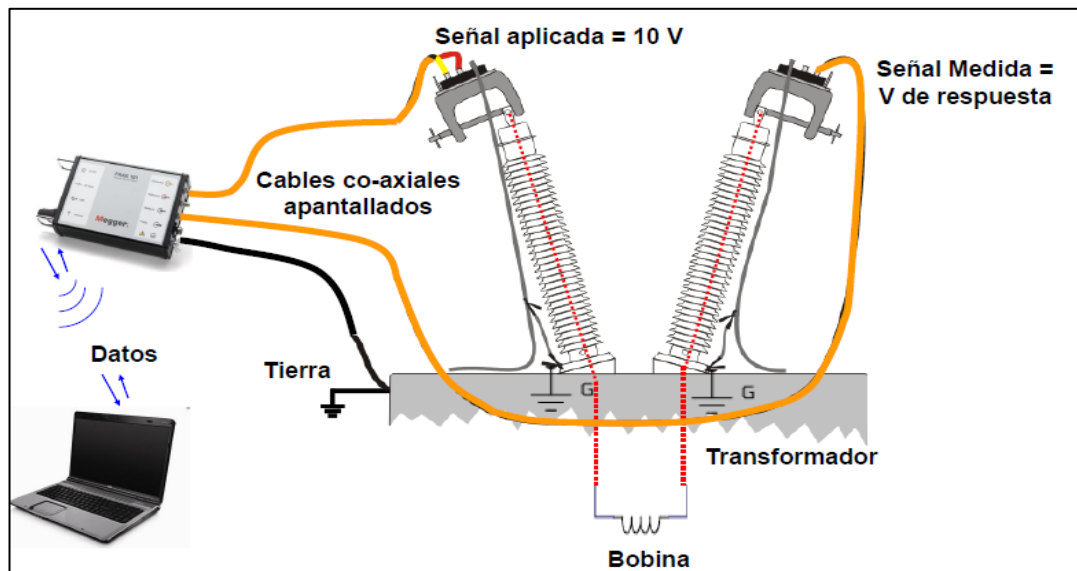


Figura A.1. 2 Diagrama de Conexiones del FRAX 101 [21]

Conexión del Equipo MPD 600 al Transformador para la prueba DP [23]:

1. Conecte el equipo **MPD 600** (2) en los conectores marcados de color negro y rojo respectivamente a la unidad de control MCU 502 (1) con cables de fibra óptica.
2. Conecte la batería MPP 600 (3) al equipo **MPD 600** (2) mediante el cable que se proporciona para la batería.
3. Conecte el cuadripolo **CPL 542** (5) con dos cables BNC cortos y conecte a las salidas DP y V del **CPL 542** a las entradas DP y V del **MPD 600** (2).
4. Conecte la unidad CPL 542 al condensador de acoplamiento **MCC 124** y conecte el sistema a tierra. Mantenga los cables lo más cortos posibles.
5. Conecte la unidad de control MCU 502 (1) al computador mediante el cable USB.
6. Conecte la unidad de calibración CAL 542 (4) al equipo únicamente para realizar la calibración.

Procedimiento para la Calibración de las Condiciones de la Prueba.

7. Abrir el Software MPD/MI y hacer clic en la pestaña **Calibration** en la ventana principal.
8. Desmarque la opción **Enable internal test generator** y marque la opción **External** en **Quadripole configuration**.

Calibración de la Carga:

9. Retire la puesta a tierra temporal de la configuración de la prueba de alta tensión.
10. Introduzca una carga de **100 pC** en el campo **Calibrate to** de la sección PD.
11. Hacer clic en el botón **Compute**. Se mostrara el valor de Q_{IEC} correspondiente al calibrador.
12. Desconecte el calibrador del equipo de prueba.

Calibración de la Tensión:

13. Conecte el Autotransformador Variable y ajústelo a un **10%** del **voltaje nominal** para evitar daños en los equipos de prueba.
14. Introduzca este valor en el campo **Calibrate to** en la sección **V** y hacer clic en el botón **Compute** donde se mostrara el V_{RMS} de la tensión real de la calibración.

Diagrama de Conexiones para la prueba PD en Transformadores.

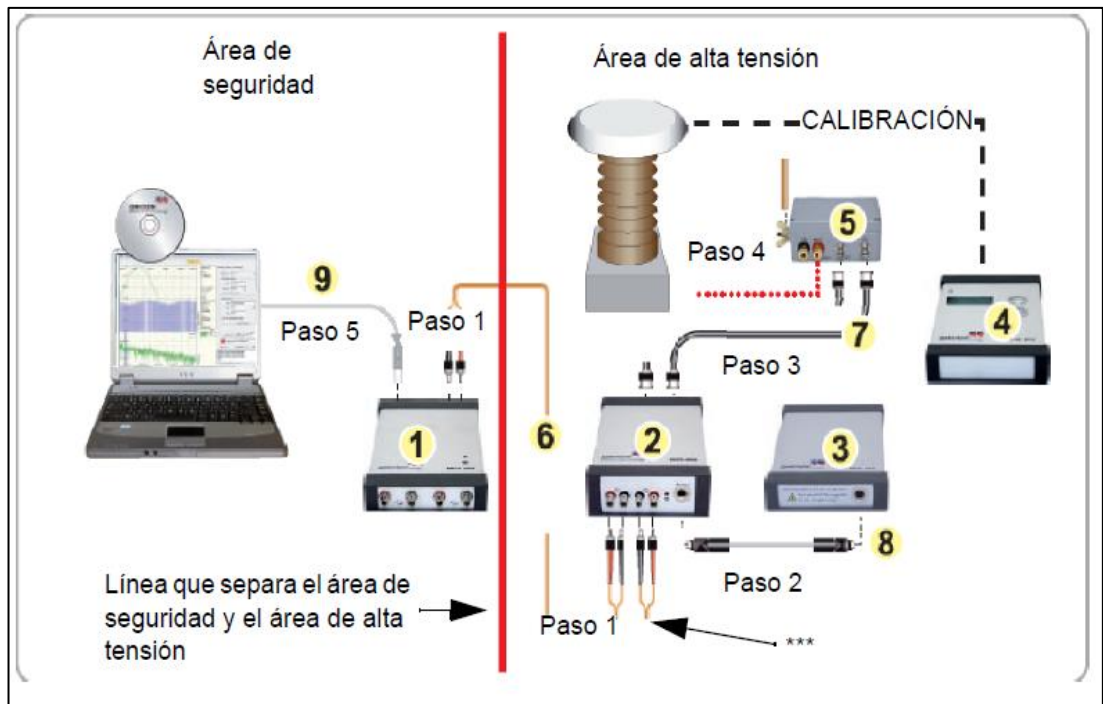


Figura A.1.3 Diagrama de conexiones del MPD 600 [23]

Conexión del Equipo CIBANO 500 al Interruptor para la prueba DRM y Voltaje Mínimo [27].

1. Se coloca el equipo **CIBANO 500** a una base sólida y firme.
2. En el terminal de conexión a tierra se conecta un extremo del cable amarillo o verde del equipo **CIBANO 500** y en el otro extremo con la pinza de cocodrilo a la tierra del laboratorio.
3. En el tomacorriente monofásico, conectar el cable de alimentación y verificar la tensión de alimentación sea 220 Vac en el terminal del equipo para la alimentación CA.
4. Se instala los módulos **CB MC2** en cada una de las fases del interruptor muy cerca de las cámaras. Estos serán suspendidos en el punto más seguro para soportar las vibraciones del interruptor durante las pruebas.
5. Se conecta el **CIBANO 500** con cada uno de los módulos **CB MC2** con los cables **EtherCAT** con el puerto de conexión **RJ-45**.
6. Se conecta los cables de alta corriente **(1)**, de medición de voltaje **(2)**, las pinzas tipo Kelvin **(3)** y el cable **EtherCAT (4)** en el **canal 1** de cada módulo **CB MC2**.
7. Se conectan las pinzas tipo Kelvin en cada una de las borneras de las cámaras del interruptor de cada fase.
8. Con la ayuda del plano de control y fuerza del interruptor de potencia se procede a ubicar en el gabinete de control del interruptor los puntos de alimentación de las bobinas de cierre/apertura, motor y energización de respaldo.
9. Una vez identificados los terminales de alimentación de las bobinas de cierre/apertura, energización de respaldo y motor se empieza a conectar el equipo **CIBANO 500** al interruptor de potencia desde las salidas de la **fuentes B** del equipo [44].
10. Se conecta el equipo **CIBANO 500** a un computador (escritorio para laboratorio o portátil para campo) mediante el cable Ethernet.

Diagrama de Conexiones para la prueba DRM y Voltaje Mínimo en Interruptores

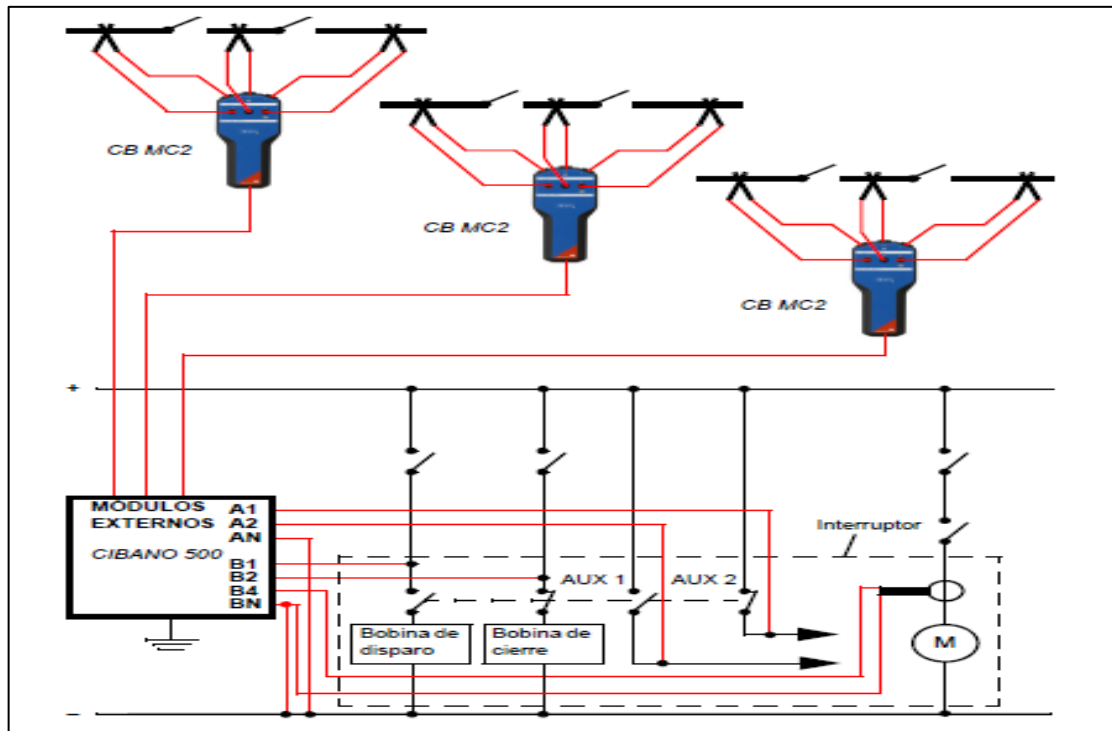


Figura A.1. 4 Diagrama de conexiones del CIBANO 500 [25]

Conexión del Equipo Tan Delta al Cable para la prueba de Factor de Disipación con VLF [29]:

1. Conecte el **DRU** (Unidad de Recepción de Datos) mediante el cable USB al computador y mediante cable Ethernet al Sistema de Medición VLF.
2. Coloque el Trípode entre la Fuente de Voltaje de Prueba y el Cable. Asegúrese que el Trípode tenga una base sólida y segura y conecte en la punta del Trípode el **MDU**.
3. Conecte el punto de tierra del **Trípode** (1) con la tierra de la estación usando un cable de tierra con enchufes tipo banana.
4. Conecte la fase del cable HV que viene desde la Fuente de Voltaje de Prueba con el enchufe HV (1) del **MDU** y el escudo del cable a tierra de la estación.
5. Conecte la fase del cable suministrado con la conexión HV (cable bajo ensayo) con el enchufe HV (2) al **MDU** y la protección del cable al terminal de guardia (6) del **MDU**.
6. Conecte dos cables de fibra óptica en el encaje de conexión (7) del **MDU** (véase la Figura 2.33) y después conectarlo al **TCU**.
7. Sujete el **TCU** con las abrazaderas y los soportes (15) (véase Figura 2.34) para que quede lo más cerca posible del cable.
8. Conecte los dos cables de fibra óptica que vienen desde el **MDU** con el encaje de conexión "TOSLINK" (14) del **TCU**.
9. Realice la conexión de tierra (13) del **TCU** con la tierra de la estación.
10. Realice la conexión de corriente de fuga (9) del **TCU** con una de las dos fases del cable que no están bajo prueba.
11. Conecte el cable de conexión de fase HV que viene desde el **MDU** con una fase del cable bajo prueba.
12. Usando la corbata de cobre del cable, sujete la protección del cable de conexión HV del **MDU** en el área superior del terminal del cable.
13. Repetir los pasos 10, 11 y 12 cuando se realice la prueba a las otras fases del cable.

Diagrama de Conexiones para la prueba Factor de Disipación con VLF en Cables Subterráneos [29]:

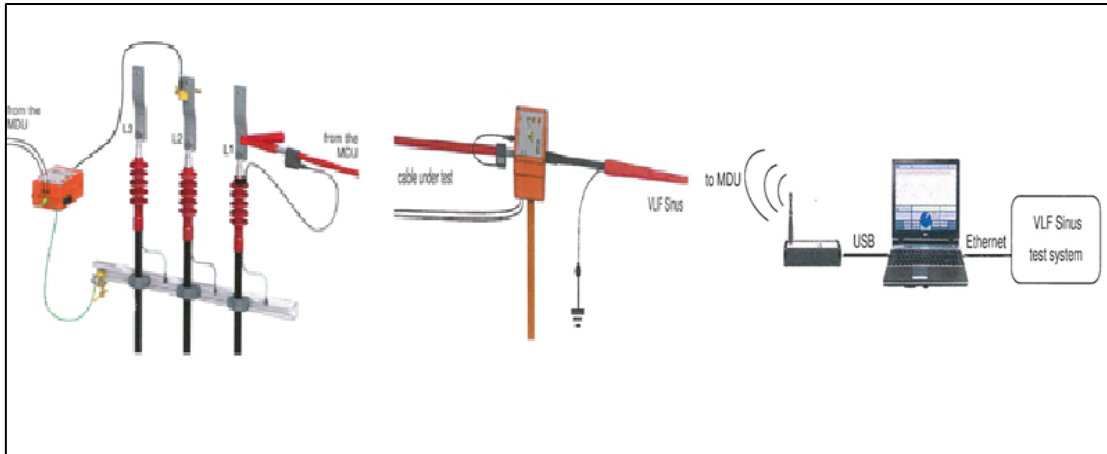


Figura A1.5: Diagrama de conexiones del Tan Delta [29]

Conexión del Equipo Teleflex SX al Cable para la prueba de localización de DP con TDR [30,31]:

1. Conecte la fase que se desea realizar la prueba con el cable coaxial con conector BNC al cable subterráneo.
2. Conecte el cable coaxial al equipo **Teleflex SX** en el conector para la conexión de fase del cable subterráneo **(6)** en la parte posterior como se muestra en la Figura A.6.

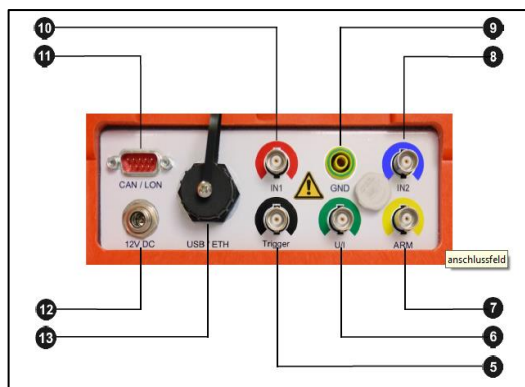


Figura A1.6 Vista posterior del Teleflex SX [30]

3. Conecte el cable para conexión a tierra del equipo **(9)** a tierra de la estación (véase la Figura A.6) o un circuito de tierra temporal.
4. Conecte el cable coaxial tipo BNC en el conector tipo BNC **(9)** transmisor de impulsos **PD-TX** (véase la Figura 2.39) y el otro extremo al acoplador inductivo que debe estar envolviendo a la fase del cable muy cerca de la posición supuesta en donde previamente se ha detectado PD.
5. Si hay sospecha de que hay actividad PD en otra fase del cable subterráneo debido a la prueba realizada previamente para detectar DP se repiten los paso 1, 2 y 4.

Diagrama de Conexiones para prueba de Localización de PD en Cables Subterráneos [31];

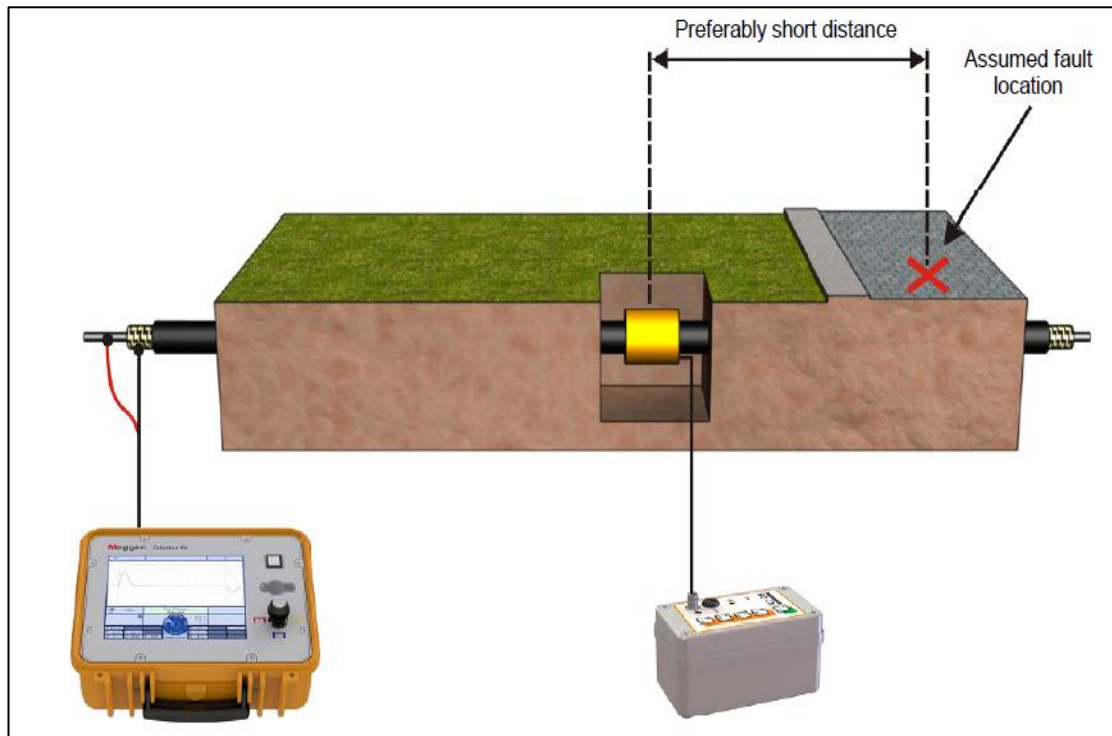


Figura A1.7: Diagrama de conexiones del Teleflex SX [31]

Anexo A2

APROXIMACIÓN PARA EL CÁLCULO DE POTENCIA DE UNA GRÚA

Se trata de calcular la potencia del motor eléctrico para elevar un peso **G**, a cierta velocidad **v**.

1. Se asume que el peso debe subirse a una velocidad, por ejemplo de 1 metro (mt) en 4 segundos (seg).

$$v = \frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}} = \frac{1 \text{ mt}}{4 \text{ seg}} = 0.25 \text{ mt/seg} \quad (\text{A2.1})$$

2. Se considera que la Fuerza (**F**) = Peso en Kilogramos (**G**), o Kilogramos fuerza (Kgf), en nuestro caso la **F = 15.000 Kgf**.
3. Se define la Potencia (**P**), como el Trabajo (W) por unidad de tiempo (t), o como la fuerza (F) o peso (G) por la velocidad.

$$P = \frac{W}{t} = G * v \left(\frac{\text{kgf.mt}}{\text{seg}} \right) \quad (\text{A2.2})$$

Se usara la segunda forma de la ecuación:

$$P = G * v = 15.000 \text{ Kgf} * 0,25 \frac{\text{mt}}{\text{seg}} = 3.750 \frac{\text{Kgf.mt}}{\text{seg}} \quad (\text{A2.3})$$

Como $1 \frac{(\text{Kgf.mt})}{\text{seg}} = 9.707 \text{ wtts (vatios)}$, entonces

$$P = 3.750 * 9.707 \text{ wtts} = 36.776 \text{ wtts o } 36,8 \text{ Kw (Kilowatts)}$$

Como $1 \text{ Kw} = 1.341 \text{ HP (caballos de fuerza)}$, entonces,

$$P = 36,8 * 1.341 \text{ HP} = 49.32 \text{ HP} \quad (\text{A2.4})$$

4. Todo sistema mecánico o electromecánico, tiene pérdidas varias (rozamiento y otros), entonces hay que proveer de mayor potencia (**Pe**) que la calculada para cubrir las pérdidas, así entonces se define el rendimiento como:

$$n = \frac{P}{P_e} \text{ y } P_e = \frac{P}{n} \quad (\text{A2.5})$$

Se asume que el rendimiento es del 75% entonces:

$$Pe = \frac{49.32}{0,75} HP = 65,76 HP$$

5. Como no existe motor de esta potencia se escoge entre las potencias normalizadas de **60** y **75 HP**, y se escoge la segunda por ser la más aproximada.

$$Pe = 75 HP$$

6. En caso que se varíe el **peso (G)** y la **velocidad (v)** de levantamiento y el **rendimiento (n)**, se resume en UNA SOLA fórmula:

$$Pe = G * v * 9,807 * 10^{-3} * 1.341 HP \quad (A2.6)$$

$$Pe = 13,15 * 10^{-3} * G * v (HP)$$

Donde, Pe en HP, G en Kilogramos y v en metros/seg. [36]

Anexo A3

PLANOS ARQUITECTONICOS

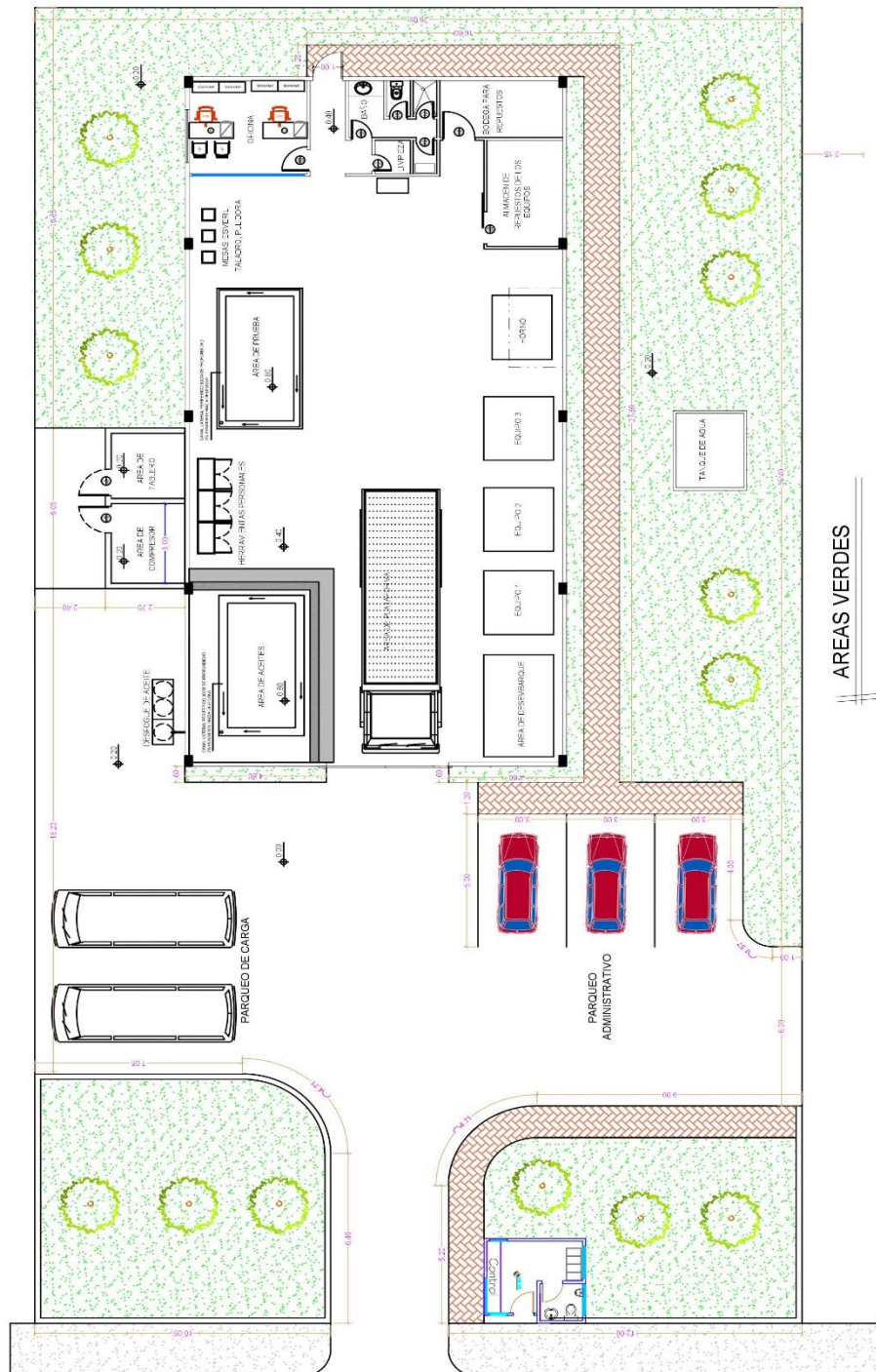


Figura A3.1: Vista aérea del Laboratorio

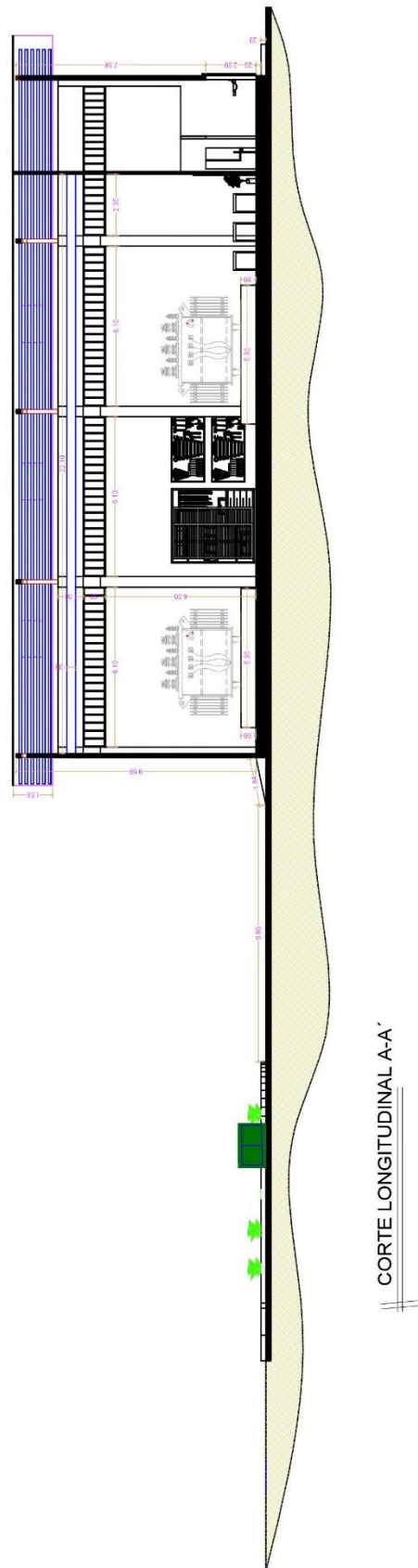


Figura A3.2: Corte longitudinal del Laboratorio



Figura A3.3: Corte transversal del Laboratorio