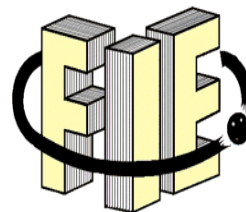




**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PRUEBAS DE CAMPO A EQUIPO ELÉCTRICO

Reporte de Experiencia Laboral que presenta:

David Arredondo Muñiz

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

ASESOR:

INGENIERO ELECTRICISTA

IGNACIO FRANCO TORRES

Morelia, Michoacán,

Junio de 2017.

Agradecimientos

Agradezco a mi escuela Facultad de Ingeniería Eléctrica ya que a través de ella adquirí mis conocimientos y me formo como ciudadano para ser prospero, emprendedor y sencillo. A mis maestros que tuvieron la paciencia para darnos sus conocimientos

Agradezco también a mis padres qepd, que siempre me dieron apoyo moral y económico, a mis hermanos que siempre me han seguido dando apoyo moral para seguir adelante.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico:

A Mí querida escuela: **La Facultad de Ingeniería Eléctrica**

Porqué en sus aulas y a través de los maestros fueron depositadas en mí las semillas del conocimiento que ha esta fechas han germinado positivamente.

Mis maestros:

Porque de manera desinteresada, me brindaron su confianza y formaron en mí una persona capaz de enfrentar los retos de la vida diaria, gracias a ellos logre el crecimiento profesional y personal.

Mi Asesor.

Porque fue quien me guio en la dirección correcta para el logro de esta meta personal, porque fue mi acompañante en esta aventura, en que con su sabiduría me guio de principio a fin mi reconocimiento y admiración Ing. Ignacio Franco Torres.

Mis Padres.

Por haberme regalado el tesoro más grande que se le da a un hijo la vida y esos momentos de felicidad, dios los tenga en el cielo.

Mis Hermanos.

Porque estuvieron con la motivación constante para realización del presente trabajo, porque su apoyo se hizo desinteresadamente en estas etapas de desvelos por eso y muchas cosas más mis queridos hermanos Guillermo, Raquel, Ma. Elena, María Angélica, Chava, Tito y Carlos a ustedes muchas gracias.

Índice

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Índice	iv
Resumen	vii
Palabras Clave	vii
Abstract	viii
Keywords	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tablas.....	xi
Glosario de Términos.....	xii
Capítulo 1 Introducción	1
1.1.- Motivo de este Reporte.....	1
1.2.- Antecedentes Académicos	1
1.3.- Antecedentes Laborales	3
Capítulo 2.- Pruebas de Campo a equipo eléctrico.....	11
2.1.- Antecedentes.....	11
2.2.- Introducción.....	12
2.3.- Pruebas de Campo a cables de Baja y Media Tensión.	13
2.3.1.- Teoría general	13
2.3.2.- Pruebas de Resistencia de Aislamiento a cables de baja y media tensión.	15
2.3.3.- Puntos que se deben checar antes de llevar a cabo esta prueba	21
2.3.4.- Procedimiento para realizar la prueba de Resistencia de Aislamiento.....	22
2.4.- Prueba de Alta Tensión de C.D. (Hi-Pot), a cables de Media Tensión.....	27
2.4.1.- Teoría General	27
2.4.2.- Puntos a verificar antes de llevar a cabo la prueba.....	29

2.4.3.- Procedimiento para realizar la prueba	30
2.5.- Pruebas de Campo a Motores de Inducción de Baja Tensión.	34
2.5.1.- Teoría general	35
2.5.2.- Pruebas Resistencia de Aislamiento e Índice de Polarización a Motores de Inducción Trifásicos, de Baja Tensión.	35
2.5.3.- puntos a verificar antes de llevar a cabo las pruebas	38
2.5.4.- Procedimiento para realizar la prueba	39
2.6.- Pruebas de Campo a Tableros e Interruptores de Baja y Media Tensión.	39
2.6.1.- Teoría general	40
2.6.2.- Prueba de resistencia de aislamiento a las barras	40
2.6.3.- Puntos a verificar antes de llevar a cabo la prueba.....	41
2.6.4.- Procedimiento para realizar la prueba	41
2.6.5.- Prueba de Alta Tensión a las Barras	42
2.6.6.- Puntos a verificar antes de realizar la prueba	42
2.6.7.- Procedimiento para realizar la prueba	43
2.6.8.- Pruebas de campo a interruptores de Baja y Media Tensión.	44
2.6.9.- Pruebas de apertura cierre	45
2.6.10.- Pruebas de resistencia de aislamiento y de alta tensión a interruptores de hexafluoruro de azufre de media Tensión.....	46
2.6.11.- Puntos de verificación y procedimiento para realizar las pruebas.	46
2.7.- Pruebas de Campo a Transformadores de Potencia	47
2.7.1. Teoría general	47
2.7.2.- Prueba de Resistencia de Aislamiento e índice de polarización.	48
2.7.3.- Puntos que se deben verificar antes de llevar a cabo la prueba.....	52
2.7.4.- Procedimiento para realizar la prueba	53
2.7.5.- Prueba de Resistencia Óhmica	55
2.7.6.- Puntos a verificar antes de realizar la prueba	56
2.7.7.- Procedimiento para realizar la prueba.....	56
2.7.8.- Prueba de Relación de Transformación.....	58
2.7.8.1.- Principio de operación del TTR.....	59

2.7.9.- Puntos a verificar antes de realizar la prueba	61
2.7.10.- Procedimiento para realizar la prueba	62
2.7.11.- Prueba de Rigidez dieléctrica del aceite de un transformador.	64
2.7.12.- Puntos y precauciones a verificar antes de llevar a cabo esta prueba.	64
2.7.13.- Procedimiento para realizar la prueba.....	65
Capítulo 3.- Conclusiones y Recomendaciones	68
3.1.- Conclusiones	68
3.2.- Recomendaciones.....	68
Bibliografía.....	69

Resumen

Este trabajo presenta parte de mi experiencia laboral. En el que muestro la experiencia en la supervisión de pruebas de campo a cables y equipo eléctrico.

Las principales pruebas de campo son:

- Pruebas de resistencia de aislamiento.
- Pruebas de Índice de Polarización
- Pruebas de alta tensión de Cd.
- Pruebas de apertura y cierre
- Pruebas de resistencia óhmica
- Pruebas de relación de Transformación
- Pruebas de Rigidez Dieléctrica del aceite.

Palabras Clave

Pruebas, campo, cables, equipo eléctrico , aislamiento

Abstract

This paper presents part of my work experience. In which I show experience in the supervision of field wires and electrical equipment testing.

The main tests are:

- Insulation resistance testing.
- Polarization index testing
- Cd high-voltage testing.
- Opening and closing tests
- Ohmic resistance tests
- Ratio test
- Dielectric oil test.

Keywords

Field cables and electrical equipment testing

Lista de Figuras

Figura 1.- Cable aislado para baja tensión.....	14
Figura 2.- Cable aislado de media tensión.....	14
Figura 3.- Grafica de curvas que muestran las componentes de la corriente medida durante una prueba de aislamiento con cd.	16
Figura 4.- Megger motorizado.....	21
Figura 5.- Procedimiento de pruebas de resistencia de aislamiento a cables de baja y media tensión.	23
Figura 6.- Curvas típicas de corriente de fuga vs el tiempo para diferentes condiciones del aislamiento de cables aislados para media y alta tensión.	28
Figura 7.- Gráfica del resultado de las pruebas de alta tensión de los cables de las tablas, 7 y 8.	33
Figura 8.- Conexiones que se deben hacer para llevar a cabo la prueba de alta tensión de cd.	34
Figura 9. Motor de inducción trifásico.	35
Figura 10.- Conexiones para realizar la prueba de resistencia de aislamiento a motores de inducción.	39
Figura 11.- Tablero de distribución de media tensión.	40
Figura 12.- Conexiones para realizarla prueba de resistencia de aislamiento en las barras de tableros de baja y media tensión.	42
Figura 13.- Conexión para realizar la prueba de alta tensión de c.d. a las barras de tableros de media tensión.....	44
Figura 14.- Interruptor en hexafluoruro de azufre 5 o 15 KV e interruptor electromagnético de 600 Volts.....	45
Figura 15.- Conexiones para realizar la prueba de Megger y prueba de alta tensión de CD, a interruptores de media tensión de hexafluoruro de azufre.	47
Figura 16.- Diagrama de un transformador monofásico.....	48
Figura 17.- Conexiones para realizar la prueba de resistencia de aislamiento.....	52
Figura 18.- Puente de Wheatstone.....	55
Figura 19.- Conexiones para realizar la prueba de resistencia óhmica a un transformador de potencia con el puente de Wheatstone.	56
Figura 20.- Probador de relación de transformación.	58
Figura 21.- Circuito simplificado de un TTR, probador de relación de transformación.	59
Figura 22.- Placa de datos de un transformador trifásico de 2000/2240 KVA, conexión delta estrella aterrizada, 13200-480/277 volts.	60

Figura 23.- Conexiones para realizar la prueba de relación de Transformación en un transformador de potencia.	61
Figura 24.- Extracción de aceite a un transformador para realizar la prueba de Rigidez Dieléctrica.	66
Figura 25.- Realización de la prueba de Rigidez dieléctrica del aceite de un transformador.	66

Lista de Tablas

Tabla 1.- De Constante (K) de Resistencia de Aislamiento.....	17
Tabla 2.- Factores de corrección de resistencia de aislamiento, con la temperatura de aislamiento a 20 °C.	18
Tabla 3.- Resultados de pruebas de Resistencia de Aislamiento a un circuito trifásico, de Baja Tensión, de 4 cables por fase, calibre 500 MCM, clase de aislamiento 600 volts, THWN, se aplicó un voltaje de corriente directa de 500 volts, como se observa.....	24
Tabla 4.- Resultados de la prueba de Baja tensión 600 volts, continuación de la 3 pero de un solo cable a tierra 4 pruebas por fase. Los valores se tomaron hasta transcurrido el minuto el minuto.	25
Tabla 5.- Resultados de una prueba de Resistencia de Aislamiento a un circuito trifásico de Media Tensión, un cable por fase calibre 3/0 AWG, clase de aislamiento 15KV, se aplico un voltaje de corriente directa de 7500 volts.	26
Tabla 6.- Tabla para Espesores de aislamiento (XLPE o EPR), Tensiones de prueba c.a. y c.c. y calibre de conductores	28
Tabla 7.- Resultados de las pruebas de Alta Tensión del circuito trifásico secundario de un transformador de 4000 KVA, 13.8/4.160 KV, 1 cable por fase, de 750 MCM, clase de aislamiento 5 KV, Vulcanel, EP, al 133% de aislamiento. Propiedad de SICARTSA. CO	31
Tabla 8.- Resultados de las pruebas, de Alta tensión del circuito trifásico secundario de un transformador de 4000 KVA, 13.8/4.160 KV, cables de 750 MCM, 1 cable por fase, clase de aislamiento 5KV, vulcanel EP, al 133% de aislamiento. Propiedad de SICARSTA CO.....	32
Tabla 9 Coeficiente de Corrección para medición de aislamientos en Motores	37
Tabla 10.- Valores mínimos de resistencia de aislamiento para motores de acuerdo a la norma IEEE-43-2000.	37
Tabla 11.- De Factores de aislamiento por temperatura a 20°C.	49
Tabla 12.- Resistencia mínima de aislamiento en aceite a 20 °C	50
Tabla 13.- Protocolo de pruebas de resistencia de aislamiento e índice de polarización a un transformador de potencia de 3000/3750 KVA, 13200-400/231 volts.	54
Tabla 14.- Protocolo de pruebas de resistencia óhmica a transformador de potencia de 15/20/25 MVA, propiedad de Sicartsa.	57
Tabla 15.- Protocolo de pruebas de relación de transformación de transformador de 3000/3750 KVA, 13200-400/231 Volts.....	63
Tabla 16.- Protocolo de resultados de la prueba de Rigidez Dieléctrica del aceite a un transformador nuevo instalado en una planta de tela instruida en San José Iturbide.....	67

Glosario de Términos

ANCE	Asociación Nacional de Normalización y Certificación
ASTM	Sociedad Americana de Pruebas de Materiales
CFE	Comisión Federal de Electricidad
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
IEEE	Instituto de ingenieros electricistas y electrónicos
NMX	Normas Mexicanas
NOM	Norma Oficial Mexicana
PEMEX	Petróleos Mexicanos

Capítulo 1 Introducción

1.1.- Motivo de este Reporte

La motivación principal para realizar este reporte fue la de culminar el recorrido que desde temprana edad, todos iniciamos con la finalidad de terminar una carrera universitaria y obtener el título profesional y darles la satisfacción a nuestros padres y a nuestra familia, y seguir ampliando el camino profesional que desde hace muchos años hemos venido forjando.

Ampliar mi currículum y tener mayor aceptación en el campo profesional, con mi saber y con el apoyo de mi asesor y mis compañeros.

1.2.- Antecedentes Académicos

PRIMARIA	ESCUELA PRIMARIA "LÁZARO CÁRDENAS" RINCÓN DE PARANGUEO, MUNICIPIO DE VALLE DE SANTIAGO, GTO.
SECUNDARIA:	ESCUELA SECUNDARIA ESTATAL "DR. BENJAMÍN LARA Y S.", VALLE DE SANTIAGO, GTO. (1974-1977)
PREPARATORIA	ESC. PREPARATORIA "JOSÉ MARÍA MORELOS Y PAVÓN" MORELIA, MICHOACÁN (UMSNH) (1977-1979)

PROFESIONAL:	ESC. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA (UMSNH) (MORELIA, MICHOACÁN 84/85.) (1979-1985)
TITULO OBTENIDO	CONSTANCIA DE TERMINACIÓN DE ESTUDIOS, CARTA DE PASANTE
ESTUDIOS DE POSGRADO	ANÁLISIS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (1988)
TITULO OBTENIDO	DIPLOMA
NOMBRE:	ELECTRÓNICA APLICADA A LA RADIO
DURACIÓN:	5 MESES
LUGAR:	MORELIA, MICH.
NOMBRE	SEMINARIO DE INGENIERÍA
DURACIÓN:	1 SEMANA
LUGAR:	MORELIA, MICH. (UMSNH), "IEEE
NOMBRE:	INGLES
DURACIÓN:	6 MESES
LUGAR:	CD. LÁZARO CÁRDENAS, MICH. ESC. PARTICULAR
NOMBRE:	EMBOBINADO DE MOTORES ELÉCTRICOS TRIFÁSICOS´
DURACIÓN:	1 MES
LUGAR:	CONALEP Valle de Santiago
CURSO DE WINDOWS 95.	1 AÑO
CURSO DE WORD 97.	
CURSO DE EXCEL 97.	CELAYA GTO. (ICATEG).
CURSO DE AUTOCAD 14.	

1.3.- Antecedentes Laborales

EMPRESA: SAMSUNG (JYUN JIN) DE KOREA DE SUR

PROYECTO: RECONFIGURACIÓN DE LA RIAMA "PEMEX" PLANTA SALAMANCA GTO.

PERIODO: 6 DE SEPTIEMBRE DEL 2001 AL 15 DE ABRIL 2002

LUGAR: SALAMANCA, GTO.

PUESTO: SUPERVISOR INSTRUMENTISTA

ACTIVIDADES

- Elaboración de Programas De Obra
- Elaboración de Lista De Trabajos Diarios
- Indicación Al Personal Obrero Sus Frentes De Trabajo.
- Supervisión Y Control De Calidad De Los Trabajos Tales Como:
- Canalizaciones, Soportaría, Montaje de Instrumentos , Cableado,
- Conexiones Y Pruebas De Cables,
- Elaboración De Reportes Diarios De Los Trabajos Ejecutados.

EMPRESA: DEACERO S. A. DE C. V.

PROYECTO: PLANTA DEACERO CELAYA

PERIODO: 4 DE MARZO 1998 – AL 15 DE OCTUBRE DEL 2000

LUGAR: CELAYA, GTO.

PUESTO: SUPERVISOR ELECTROMECAÁNICO

ACTIVIDADES

- Elaboración de invitaciones para concursos de ingenierías y concursos de obra.
- Revisión de ofertas presentadas por contratista, esto con la finalidad de elaborar una tabla comparativa y seleccionar el ganador de los concursos.
- Elaboración de contratos para asignación de ingenierías y obras.

Supervisión del control de calidad de las obras ejecutadas por los distintos contratistas tales como: red de voz y datos, eléctrica, aire acondicionado e hidráulico sanitaria coordinado con las propuestas arquitectónicas de las diferentes áreas. Así mismo revisión de cotizaciones de equipos y materiales con distintos proveedores y seleccionar el que proporcione mejores precios y buena calidad

- Revisión de generadores y estimaciones presentados por los contratistas.
- Pruebas y puesta en marcha de los equipos eléctricos y de aire acondicionado, sistemas hidroneumáticos y sistemas de red de voz y datos.
- Mantenimiento a los equipos mientras se hace la entrega oficial al personal de operación de la planta.

EMPRESA: TÉCNICA ELECTROMECAÁNICA CENTRAL S.A. DE C.V. (Querétaro, Qro.)

PROYECTO: INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE TRANSPORTADOR DE MINERAL DE FIERRO (PARA LA SIDERÚRGICA LÁZARO CÁRDENAS LAS TRUCHAS S.A. DE C.V.)

PERIODO: Septiembre 1997 A Febrero De 1998

LUGAR: LA MIRA Municipio de Lázaro Cárdenas Michoacán.

PUESTO: SUPERINTENDENTE DE OBRA

ACTIVIDADES

- Revisión De Especificaciones Técnicas Y Alcances Con Los Contratistas.
- Llevar el Control de Materiales del Almacén (Entradas—Salidas).
- Verificación La Aplicación Del Sistema De Aseguramiento De Calidad A La Obra.
- Llevar El Control Financiero De La Obra.

- Verificación De Los Avances De La Obra De Acuerdo Al Programa de ejecución.
- Revisión De Estimaciones De Contratistas.
- En Esta Obra Traje A Mi Cargo Dos Ingenieros Electricistas, 1 Contador Y Un Almacenista.

EXPERIENCIA LABORAL

EMPRESA: GRUPO APYCSA S.A. DE C.V. (DE MÉXICO, D.F.)

PROYECTO: LA PILA Y OBRAS ASOCIADAS, PARA LA C.F.E.

PERIODO: ABRIL 1996 A ABRIL 1997

LUGAR: SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.

PUESTO: SUPERINTENDENTE

ACTIVIDADES

- Revisión de especificaciones técnicas y alcances con los contratistas.
- Revisión de generadores de obra y suministros para efectos de estimaciones.
- Llevar el control financiero de las obras.
- Verificar la aplicación del sistema de aseguramiento de calidad a las obras (civil y electromecánica).
- Verificación de los avances de las obras de acuerdo a los programas de construcción para que estas se concluyan a su debido tiempo.
- Verificar las entradas y salidas de equipos y materiales en el almacén de acopio.
- elaboración de minutas y llenado de bitácoras cada semana con personal de CFE.
- Elaboración De Minutas Y Llenado De Bitácoras Con Los Subcontratistas.
- En Esta Obra Traje A Mi Cargo 2 Ingenieros Civiles, 1 Arquitecto, 1 Topógrafo Y Un Contador Público.

- Los Trabajos De Esta Obra Consistieron En La Ejecución De Varias Subestaciones Y Líneas Aéreas Eléctricas Con Niveles De Voltaje De 115 Y 230 Kv.

EMPRESA: COMPAÑÍA CONSTRUCTORA IIISA (MÉXICO, D.F.)

PROYECTO: VERATEC DE MÉXICO, S.A. DE C. V.

PERIODO: MAYO, 1995 A FEBRERO 1996

LUGAR: SAN JOSÉ ITURBIDE, GTO.

PUESTO: SUPERVISOR ELECTRICISTA.

ACTIVIDADES

- revisión de especificaciones técnicas y alcances de los contratistas.
- revisión de cotizaciones de la obra eléctrica.
- supervisión y control de calidad de las instalaciones eléctricas de acuerdo a las especificaciones técnicas y códigos eléctricos.
- llevar el control de avance de la obra eléctrica.
- Revisión de generadores y estimaciones.
- Supervisión de las pruebas de campo a cables y equipo eléctrico
- Supervisión de la energización de transformadores, tableros eléctricos.
- Supervisión y control de calidad de las instalaciones del sistema de aire acondicionado.
Supervisión y control de calidad de las instalaciones del sistema de detección de humos.
- Supervisión de la puesta en marcha de equipos de aire acondicionado y extractores de aire.
- mantenimiento a los equipos mientras se realiza la entrega oficial al personal de operación.

EMPRESA: CIA. GARZA PONCE (MONTERREY, N.L.)

PROYECTO: TIENDA SORIANA

PERIODO: SEPTIEMBRE A NOVIEMBRE DEL 1994

LUGAR: IRAPUATO GTO.

ACTIVIDADES

- cuantificación del proyecto eléctrico (materiales y equipo eléctrico).

EMPRESA: "INSTALACIONES CUBIERTAS Y BARDAS" (CUBARSA), DE MÉXICO, D.F.

PROYECTO: EDIFICIO ADMINISTRATIVO (GENERAL MOTORS)

PERIODO: OCTUBRE DE 1993 A JULIO DE 1994

LUGAR: SILAO GTO.

PUESTO: SUPERVISOR ELECTRICISTA

ACTIVIDADES

1. Revisión de especificaciones técnicas.
2. Revisión y cuantificación de planos del sistema eléctrico.
3. Revisión de cotizaciones de equipos y materiales.
4. Elaborar programas de suministro de materiales y equipos eléctricos.
5. Elaborar programa de obra
6. Atender proveedores.
7. Hacer requisiciones de materiales y equipos de acuerdo a las especificaciones de general motors (soportaría, tubo conduit, cable, luminaria, tableros, ccms. transformadores y motores).
8. Supervisión de la obra eléctrica en general.
9. Supervisión de pruebas de campo a cables, tableros, transformadores y motores, encontrándose.

EXPERIENCIA LABORAL

EMPRESA: "SERVICIO DE INGENIERÍA DE VALLE"

PERIODO: FEBRERO DE 1992 AL 30 DE ABRIL DE 1993

LUGAR: VALLE DE SANTIAGO, GTO.

PUESTO: INGENIERO ELECTRICISTA

ACTIVIDADES

- Mantenimiento Preventivo Y Correctivo Al Equipo Eléctrico De Bombas De Pozo Profundo.
- Elaboración Y Ejecución De Proyectos De Corrección De Factor De Potencia.
- Embobinado De Motores Trifásicos.

EMPRESA SIDERÚRGICA LÁZARO CÁRDENAS, LAS TRUCHAS.

PROYECTO COLADA CONTINUA Y LAMINADOR DE PLACA

PERIODO: ABRIL DE 1987 A DICIEMBRE DE 1991

LUGAR: CD. LÁZARO CÁRDENAS, MICH.

PUESTO: SUPERVISOR ELECTRICISTA

ACTIVIDADES

- Revisión de especificaciones técnicas y alcances con el contratista.
- Supervisión y control de calidad de sistema de tierra, sistema de cargas atmosféricas, canalizaciones eléctricas, sistema de alumbrado, contactos, equipo eléctrico, equipo de control e instrumentación, sistema de cableado y conexión de fuerza, control y, sistema de aire acondicionado. De acuerdo a las especificaciones técnicas de Sicartsa y códigos eléctricos.
- Llevar el control del avance de obra

- Supervisión de suministros de equipo y materiales eléctricos.
- Supervisión de pruebas de campo a 2 transformadores de 15/20/25 mva, 2 de 4 mva y 16 de 2 mva, marca prolec, tableros de distribución de 13,8, 4160, 480 volt y ccms, así como a cables de media y baja tensión, interruptores de ex fluoruro de azufre y motores de inducción.
- encontrándose las siguientes pruebas
 - resistencia de aislamiento.
 - resistencia óhmica.
 - relación de transformación.
 - rigidez dieléctrica del aceite a los transformadores
 - Alta Tensión de C.D. (hi-Pot)
- supervisión de la energización de transformadores y tableros, para checar voltaje y secuencia de fases.
- supervisión del arranque de todos los motores en vacío carga para checar la corriente de consumo.

EMPRESA: CONSTRUCTORA BUFETE INDUSTRIAL S. A. DE C. V. DE MÉXICO D. F.

PERIODO: FEBRERO DE 1986 A FEBRERO 1987

LUGAR: CD. LÁZARO CÁRDENAS, MICH. (SIDERÚRGICA LÁZARO CÁRDENAS LAS TRUCHAS, S.A. "ACERÍA ELÉCTRICA")

PUESTO: SUPERVISOR ELECTRICISTA.

ACTIVIDADES

- Revisión de especificaciones técnicas.
- Revisión de planos eléctricos para su cuantificación.

- Elaboración de programas de trabajo.
- Supervisión del montaje del equipo eléctrico de 4 hornos de arco eléctrico y dos de afinación.
- Supervisión del sistema de cableado del sistema de alumbrado y contactos de las áreas y edificios de los hornos.

Capítulo 2.- Pruebas de Campo a equipo eléctrico.

2.1.- Antecedentes

Mi carrera profesional la he desarrollado mayormente en el área de Construcción de Instalaciones Eléctricas, generalmente desempeñando el puesto de supervisor electricista, revisando el control de calidad de las instalaciones; y una de las actividades que supervise en algunos proyectos fueron, las pruebas de campo a cables y equipos eléctricos y es de lo que tratare en este reporte. De acuerdo a Norma Oficial Mexicana (Mexico, 2012) [1] NOM-001-SEDE-VIGENTE-Instalaciones Eléctricas, (Utilización), nos dice que debemos llevar a cabo estas pruebas después de haber sido instalados los cables y los equipos eléctricos en su sitio; Apoyados con normas mexicanas NMX y normas internacionales.

Las Pruebas de resistencia de aislamiento en cables de baja y media tensión, motores de inducción trifásicos, tableros de distribución de baja y media tensión, interruptores de hexafluoruro de azufre de media tensión y transformadores de potencia, ya que nos proporciona o nos da una idea del estado en el que están sus aislamientos. Para los cables, barras de tableros de distribución e interruptores todos estos de media tensión también se les aplica la prueba de alta tensión, ya que con esta prueba se determina si se energizan o no.

La prueba de índice de polarización de motores de baja tensión y transformadores de potencia es una medida de absorción dieléctrica y se expresa numéricamente como la relación de la resistencia de aislamiento a 10 minutos entre la resistencia de aislamiento a un minuto.

En los transformadores de potencia las pruebas de: resistencia óhmica, relación de transformación y rigidez dieléctrica del aceite. Podemos darnos cuenta si existen falsos contactos en las boquillas, falsos contactos en el cambiador de derivaciones, fallas entre vueltas, alguna fase abierta, verificación del diagrama vectorial y buena calidad del aceite refrigerante.

Al tener resultados satisfactorios se tendrá la seguridad y confiabilidad de poder energizar el equipo, sin ningún riesgo para el equipo y el personal operativo.

Para llevar a cabo estas pruebas se requiere de equipos especiales y personal capacitado para manejarlos, ya que en algunas pruebas se manejan altos voltajes, y se debe tener mucho cuidado para no producir accidentes.

Una vez que las pruebas se han realizado satisfactoriamente todo el equipo se energiza con la certeza de que no habrá ningún problema en su funcionamiento.

2.2.- Introducción

En todas las instalaciones eléctricas nuevas, antes de energizar los cables y los equipos instalados, es importante realizarles las Pruebas de Campo (aceptación o recepción), tal y como lo indica, la Norma oficial Mexicana de Instalaciones Eléctricas [1], **NOM-001-SEDE** (vigente), Instalaciones Eléctricas (Utilización), en su artículo 4.4.2 indica que las instalaciones eléctricas deben probarse antes de ponerse en servicio y después de cualquier modificación importante, para comprobar la adecuada ejecución de los trabajos.

Las Normas Mexicanas **NMX** (NMX-J-294-ANCE, 2003)[1], **IEEE**, **IEC** así como **CFE** y **PEMEX**, nos dan los criterios técnicos y la metodología para la realización de las pruebas de campo a todos los cables y equipos que conforman las instalaciones eléctricas.

Las pruebas de campo a los cables, como a los equipos eléctricos son importantes, ya que estas nos dicen si los cables y equipos están en condiciones o no de ser energizados.

Los cables de baja y media tensión, así como los tableros, motores y transformadores, desde el momento que salen de la fábrica o de algún almacén hacia el lugar donde serán instalados, corren el riesgo de sufrir algún daño en el trayecto, de igual manera cuando se instalan pueden sufrir averías severas, las cuales pueden ser detectadas con estas pruebas. Por ejemplo al instalar cables ya sea en tuberías aéreas subterráneas o en charolas portacables, siempre estarán expuestos a sufrir algún daño en su aislamiento.

Las pruebas de campo son realizadas con equipos que son manejados por personal especializado y que conocen toda la metodología para llevarlas a cabo. Estas pruebas son:

Resistencia de Aislamiento, para probar los aislamientos en los cables de baja y media tensión, los motores de baja tensión, las barras de los tableros de baja y media tensión, los interruptores de media tensión y los devanados de los transformadores de potencia.

Alta tensión de cd, para probar los aislamientos de los cables de media tensión, aislamientos de los tableros de media tensión e interruptores de media tensión.

Apertura cierre de interruptores de baja y media tensión.

Prueba óhmica, relación de transformación y rigidez dieléctrica del aceite en los transformadores de potencia.

2.3.- Pruebas de Campo a cables de Baja y Media Tensión.

2.3.1.- Teoría general

La función principal de un conductor aislado es la de transmitir energía eléctrica a una corriente y tensión prestablecidos. Los cables de baja tensión son los que tienen un aislamiento que les permite operar con tensiones hasta 1000 volts. La base de su aislamiento es el PVC y la clasificación de los cables son de acuerdo a los lugares donde se vayan a utilizar, por decir algo.

Todo esto de acuerdo a la NOM [1], y al manual de conductores eléctricos Viakon [1].

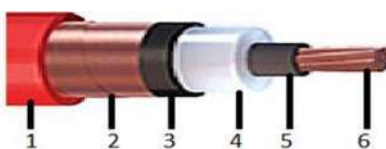
Cable THHN, termoplástico resistente al calor y propagación a la flama y opera a una temperatura de operación máxima de 90°C., cable THWN termoplástico resistente a la humedad al calor y a la propagación de la flama con cubierta de nylon con temperatura de operación de 75°C y se utilizan en lugares secos y mojado.

Así mismo los cables de media tensión son los que tienen un aislamiento que les permite operar en condiciones de seguridad con tensiones arriba de 1000 volts hasta 35 KV. Los materiales más comunes de aislamiento para estos cables son principalmente el polietileno de cadena cruzada (XLPE) y el etileno propileno (EPR), operan en lugares secos húmedos y mojados y a temperaturas máximas del conductor de 90°C, 130°C en condiciones de sobrecarga y 250°C en condiciones de corto circuito. El espesor del aislamiento está en función de la tensión instalada de la categoría del sistema eléctrico en que opere. Ya que existen 3 categorías de sistemas: 100%, 130% y 173% nivel de aislamiento. La función del aislamiento es obligar a que la corriente fluya por el conductor y contenga la tensión dentro de su pared.

Enseguida vemos las figuras de dos cables uno de baja tensión y otro de media tensión:



Figura 1.- Cable aislado para baja tensión.



- 1.-Chaqueta de PVC.
- 2.-Pantalla electrostática de Cu.
- 3.-Semiconductora externa.
- 4.-Aislamiento XLPE o EPR.
- 5.-Semiconductora interna.
- 6.-Conductor de Cu clase 2.

Figura 2.- Cable aislado de media tensión

Donde:

1) Cubierta de PVC: la función primordial de la cubierta en un cable de energía es protegerlo de los agentes externos del medio ambiente que lo rodea, tanto en la instalación como en la operación. Para su selección debe tomarse en consideración el medio ambiente en que va a operar el cable.

2) Pantalla metálica electrostática: La función de la pantalla electrostática es confinar y homogenizar el campo eléctrico al aislamiento distribuyéndolo radial y simétricamente. También da al cable una capacitancia a tierra uniforme, por lo que la impedancia es uniforme evitando las sobretensiones dañinas al aislamiento. Otra de las funciones de la pantalla es que reduce el peligro de choques eléctricos al personal y provee un adecuado camino a tierra de las corrientes capacitivas.

3) Cinta semiconductora sobre el aislamiento: La cinta semiconductora sobre el aislamiento asegura el contacto íntimo con el aislamiento, aun en el caso del movimiento de la pantalla metálica, crea una distribución radial y simétrica de los esfuerzos eléctricos en la dirección de máxima resistencia del aislamiento.

4) Aislamiento: Su función es la de soportar la diferencia de potencial entre el conductor y el exterior del cable y así confinar la corriente eléctrica en el conductor.

5) **Cinta semiconductor sobre el Conductor:** Su función es confinar en forma adecuada el campo eléctrico al aislamiento del conductor. Evita las concentraciones de esfuerzos eléctricos que se presentan en los huecos de un conductor cableado, eliminando con ello la ionización entre el conductor y el aislamiento y sirve como elemento de transición entre ambos. Algunos aislantes (papel impregnado) en contacto con el cobre dan origen a compuestos químicos que degradan las características dieléctricas del aislamiento, la cinta semiconductor elimina esta desventaja.

6) **Conductor** es el dispositivo encargado de conducir la corriente eléctrica. Los materiales más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, las características del cobre son mejores, pero el aluminio es de peso menor. La conductividad del aluminio es aproximadamente el 60 % de la del cobre y su resistencia a la tensión mecánica el 40 %, pero el peso es casi el 30%.

2.3.2.- Pruebas de Resistencia de Aislamiento a cables de baja y media tensión.

La Resistencia de Aislamiento de un conductor aislado se define como la resistencia en megaohms que ofrece su aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado, y se mide con un Megger motorizado, eléctrico con escala analógica o con un electrónico, y cumpliendo por lo dispuesto por la NOM [1], instalaciones eléctricas (utilización), y de acuerdo al capítulo 12 información de CFE, cables de potencia y accesorios, Gerencia de Distribución e Instructivo para laboratorio eléctrico de PEMEX los cuales indican los métodos para llevar a cabo esta prueba.

Es muy importante llevar a cabo la prueba de Resistencia de Aislamiento a los cables de baja y media tensión en todas las instalaciones eléctricas, ya que durante el transporte de estos al sitio de la obra y durante su instalación pudieran sufrir algún daño en su aislamiento tales como golpes en las maniobras o daños al ser instalados en las tuberías o charolas. Por esta razón después de ser instalados y ser identificados sus extremos mediante una prueba muy simple que se llama continuidad. Después de ser identificados los cables con su etiqueta en cada extremo se puede llevar a cabo la prueba de Resistencia de Aislamiento antes de conectar y energizar los cables; ya que esta nos da información de las condiciones en que se encuentra su aislamiento.

Para los cables de Media Tensión, esta prueba no es decisiva ya que solamente se usa para verificar el estado de su aislamiento, ya que posteriormente se les realizara la prueba de alta tensión y será la que determine si está en condiciones de operar o no.

Al aplicarle un voltaje de corriente directa a un cable aislado en su aislamiento, fluye una corriente que se le llama “corriente de aislamiento” y consta de tres componentes principales:

- a) Corriente capacitiva.- Es de magnitud relativamente alta pero de corta duración ya que al termino de unos 15 segundos máximo es despreciable, decrece conforme se carga el aislamiento y se debe a que el conductor se comporta como un condensador. A esta componente se debe el bajo valor inicial de la resistencia de aislamiento.
- b) Corriente de absorción dieléctrica.- Es la corriente resultante de la carga que absorbe el dieléctrico como resultado de la polarización, es grande al inicio de la prueba y decrece gradualmente con el tiempo a un valor cercano a cero siguiendo una función exponencial. Para efectos de prueba puede despreciarse el cambio que ocurre después de 10 minutos.
- c) Corriente de fuga.- Es la corriente que fluye a través del aislamiento y es proporcional al voltaje aplicado, permanece constante a través y sobre el aislamiento.

La siguiente grafica de tiempo vs corriente (en microamperes), muestra las curvas de las tres corrientes y la corriente total que puede medirse con un microamperimetro, al realizar una prueba de resistencia de aislamiento.

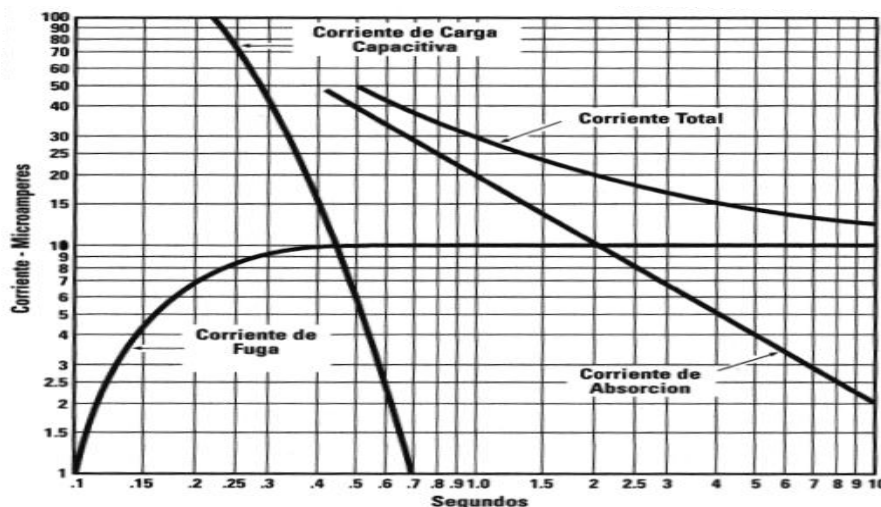


Figura 3.- Grafica de curvas que muestran las componentes de la corriente medida durante una prueba de aislamiento con cd.

Las lecturas de resistencia de aislamiento se ven afectadas por la temperatura, la humedad y la suciedad o daño mecánico. El valor de la resistencia de aislamiento medida a una tensión y tiempo específico representaran la de estos factores. Esto de acuerdo a la Guía completa para pruebas de aislamiento eléctrico de Megger (pruebas de aislamiento).

Antes de llevar a cabo cada medición es recomendable calcular analíticamente la resistencia de aislamiento de los cables con la siguiente fórmula:

$$Ra = K \log_{10} (D/d)$$

Donde:

Ra=Resistencia de aislamiento en Megaohms-km.

K= Constante de Resistencia de Aislamiento en $M\Omega$ - Km a 15.6 °C

$\log_{10}$ =Logaritmo decimal

D=Diámetro sobre aislamiento en milímetros, se mide en campo.

d=Diámetro bajo aislamiento en milímetros, se mide en campo.

En la tabla 1 vemos los diferentes valores de K.

Tabla 1.- De Constante (K) de Resistencia de Aislamiento

Aislamiento	K= $M\Omega$ -km
PVC, Bajo Voltaje	150 a 15.16°C
Polietileno (Normal)	15250 a 15.16°C
Polietileno Vulcanizado (XLP)	6100 a 15.16°C
Etileno Propileno (EP)	6100 a 15.16°C
Papel Impregnado	3000 a 20°C
Sintenax	750 a 20°C

Corrección por temperatura: después de medir la resistencia de aislamiento en los cables, es necesario corregir la resistencia de aislamiento medida del cable, a la temperatura de referencia y a un km de longitud, mediante la siguiente ecuación:

$$R_c = R_m \times F_c \times L$$

Donde:

R_c : Resistencia de aislamiento corregida a la temperatura de referencia de 20 °C y a un km de longitud expresada en megaohms-km.

R_m = Resistencia de aislamiento medida en megaohms

F_c = Factor de corrección a la temperatura de referencia 20 °C

L = Longitud del cable bajo prueba en km

La resistencia de aislamiento corregida se compara contra la mínima especificada en la norma de producto correspondiente.

Para determinar el factor de corrección F_c a la temperatura de referencia de 20°C, se utiliza la siguiente tabla 12.1 [1] conociendo la temperatura de medición y el coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura por °C, el cual depende del tipo de aislamiento y que generalmente es proporcionado por el fabricante del cable.

Tabla 2.- Factores de corrección de resistencia de aislamiento, con la temperatura de aislamiento a 20 °C.

Coficiente de corrección de temperatura por °C	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
Temperatura °C	Factores de corrección (Fc)										
0	0.46	0.38	0.31	0.26	0.21	0.18	0.15	0.12	0.10	0.087	0.073
1	0.47	0.40	0.33	0.28	0.23	0.19	0.16	0.14	0.12	0.098	0.083
2	0.49	0.42	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.096
3	0.51	0.44	0.37	0.32	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11
4	0.53	0.46	0.39	0.34	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12
5	0.56	0.48	0.42	0.36	0.32	0.27	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14
6	0.58	0.51	0.44	0.39	0.34	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16
7	0.60	0.53	0.47	0.41	0.37	0.33	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18
8	0.62	0.56	0.50	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21
9	0.65	0.58	0.53	0.48	0.43	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24
10	0.68	0.61	0.56	0.51	0.46	0.42	0.39	0.35	0.32	0.29	0.27
11	0.70	0.64	0.59	0.54	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.33	0.31
12	0.73	0.68	0.63	0.58	0.54	0.50	0.47	0.43	0.40	0.38	0.35

Coefficiente de corrección de temperatura por °C	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
13	0.76	0.71	0.67	0.62	0.58	0.55	0.51	0.48	0.45	0.43	0.40
14	0.79	0.75	0.70	0.67	0.63	0.60	0.56	0.53	0.51	0.48	0.46
15	0.82	0.78	0.75	0.72	0.68	0.65	0.62	0.59	0.57	0.54	0.52
16	0.85	0.82	0.79	0.76	0.74	0.71	0.68	0.66	0.64	0.61	0.59
17	0.89	0.86	0.84	0.82	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67
18	0.92	0.91	0.89	0.87	0.86	0.84	0.83	0.81	0.80	0.78	0.70
19	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.88
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
21	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14
22	1.08	1.10	1.12	1.14	1.17	1.19	1.21	1.23	1.25	1.28	1.30
23	1.32	1.16	1.19	1.22	1.26	1.30	1.33	1.37	1.40	1.44	1.48
24	1.17	1.22	1.26	1.31	1.36	1.41	1.46	1.52	1.57	1.63	1.69
25	1.22	1.28	1.34	1.40	1.47	1.54	1.61	1.69	1.76	1.84	1.93
26	1.27	1.34	1.42	1.50	1.59	1.68	1.77	1.87	1.97	2.08	2.19
27	1.32	1.41	1.50	1.61	1.71	1.83	1.95	2.08	2.21	2.35	2.50
28	1.37	1.48	1.59	1.72	1.85	1.99	2.14	2.30	2.48	2.65	2.85
29	1.42	1.55	1.69	1.84	2.00	2.17	2.36	2.56	2.77	3.00	3.25
30	1.48	1.63	1.79	1.97	2.16	2.37	2.59	2.84	3.11	3.39	3.71
31	1.54	1.71	1.90	2.10	2.33	2.58	2.85	3.15	3.48	3.84	4.23
32	1.60	1.80	2.01	2.25	2.52	2.81	3.14	3.50	3.90	4.33	4.82
33	1.67	1.89	2.13	2.40	2.72	3.07	3.45	3.88	4.36	4.90	5.49
34	1.73	1.98	2.26	2.58	2.94	3.34	3.80	4.31	4.89	5.53	6.26
35	1.80	2.08	2.40	2.76	3.17	3.64	4.18	4.78	5.47	6.25	7.14
36	1.87	2.18	2.54	2.95	3.43	3.97	4.59	5.31	6.13	7.07	8.14
37	1.95	2.29	2.69	3.16	3.70	4.33	5.05	5.90	6.87	7.99	9.28
38	2.03	2.41	2.85	3.38	4.00	4.72	5.56	6.54	7.69	9.02	10.60
39	2.11	2.53	3.02	3.62	4.32	5.14	6.12	7.26	8.61	10.20	12.10
40	2.19	2.65	3.21	3.87	4.66	5.60	6.73	8.06	9.65	11.50	13.70

Coefficiente de corrección de temperatura por °C	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25
Temperatura °C	Factores de corrección (Fc)										
0	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.014	0.012
1	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.017	0.014
2	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.018
3	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
4	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
5	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
6	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04
7	0.16	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06
8	0.19	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07
9	0.21	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09
10	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11
11	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.14	0.13
12	0.33	0.31	0.28	0.27	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.17

Coefficiente de corrección de temperatura por °C	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25
13	0.38	0.35	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21
14	0.43	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32	0.30	0.29	0.28	0.26
15	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.39	0.37	0.36	0.34	0.33
16	0.57	0.55	0.53	0.52	0.50	0.48	0.47	0.45	0.44	0.42	0.41
17	0.66	0.64	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.52	0.51
18	0.76	0.74	0.73	0.72	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.61
19	0.87	0.86	0.85	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.81	0.81	0.80
20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
21	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25
22	1.32	1.35	1.37	1.39	1.42	1.44	1.46	1.49	1.51	1.54	1.56
23	1.52	1.56	1.60	1.64	1.69	1.73	1.77	1.82	1.86	1.91	1.95
24	1.75	1.81	1.87	1.91	2.01	2.07	2.14	2.22	2.29	2.36	2.44
25	2.01	2.10	2.19	2.29	2.39	2.49	2.59	2.70	2.82	2.93	3.05
26	2.31	2.44	2.57	2.70	2.84	2.99	3.14	3.30	3.46	3.64	3.81
27	2.66	2.83	3.00	3.19	3.38	3.58	3.80	4.02	4.26	4.51	4.77
28	3.06	3.28	3.51	3.76	4.02	4.30	4.59	4.91	5.24	5.59	5.96
29	3.52	3.80	4.11	4.40	4.79	5.16	5.56	5.99	6.44	6.93	7.45
30	4.05	4.41	4.81	5.23	5.69	6.19	6.73	7.30	7.93	8.59	9.31
31	4.65	5.12	5.62	6.18	6.78	7.43	8.14	8.91	9.75	10.70	11.60
32	5.35	5.94	6.58	7.29	8.06	8.92	9.85	10.90	12.00	13.30	14.60
33	6.15	6.69	7.70	8.60	9.60	10.70	11.90	13.30	14.70	16.40	18.20
34	7.80	7.99	9.01	10.10	11.40	12.80	14.40	16.20	18.10	20.30	22.70
35	8.14	9.27	10.50	12.00	13.60	15.40	17.40	19.70	22.30	25.20	28.40
36	9.36	10.70	12.30	14.10	16.20	18.50	21.10	24.10	27.40	31.20	35.50
37	10.80	12.50	14.40	16.70	19.20	22.20	25.50	29.40	33.80	38.70	44.40
38	12.40	14.50	16.90	19.70	22.90	26.60	30.90	35.80	41.50	48.00	55.50
39	14.20	15.80	19.70	23.20	27.30	31.90	37.40	43.70	51.10	59.60	69.40
40	15.40	19.60	23.10	27.40	32.40	38.30	45.30	53.40	62.80	73.90	86.70

Estas Pruebas de Campo se hacen inmediatamente que los cables son instalados y antes de ser energizados debido a que nos dan la seguridad de que en el transporte o en el proceso de instalación pudieron haber sufrido algún daño. Y nos garantizan un buen servicio a nuestras instalaciones.

Esta prueba se lleva a cabo con un Megger como el que se muestra en la figura siguiente: a los cables de baja tensión se les aplican 500 volts y a los de cables de media tensión 2500 o más.



Figura 4.- Megger motorizado

2.3.3.- Puntos que se deben checar antes de llevar a cabo esta prueba

1. Realizar una inspección visual a lo largo de la ruta de los cables a ser probados, para verificar que estén perfectamente instalados, checar que no estén dañados y que se encuentren desconectados en ambos extremos.
2. Verificar que el cable en cada extremo esté plenamente identificado, que tenga su etiqueta en cada extremo.
3. Tener listo el Megger con escala de 500 a 5000 VCD o más. Para realizar la prueba, se debe verificar la fecha de calibración del equipo.
4. Tener listo un cronometro, para medir el tiempo de duración de la prueba.
5. Tener listo un termómetro para tomar la lectura de la temperatura ambiente.
6. Una vez verificados estos puntos se lleva a cabo la prueba.

2.3.4.- Procedimiento para realizar la prueba de Resistencia de Aislamiento

Para los sistemas trifásicos se hacen las siguientes pruebas:

- 1) fase A vs tierra, fase B vs tierra y fase C vs tierra
- 2) fase A vs fase B, fase A vs fase C y fase B vs fase C
- 3) Para los cables de Baja tensión se aplican 500 volts.
- 4) Para los cables de Media tensión se aplica 2500 o más VCD.
- 5) A los cables de media tensión se limpian las puntas del cable con solvente dieléctrico antes de probarlos.

Posteriormente se procede como se indica:

- a) Conectar el cable de línea del Megger al cable a probar y el cable de tierra del Megger al sistema de tierras, y así sucesivamente con los otros 2 cables de fases B y C (resistencia de aislamiento de fase a tierra). Se toma la temperatura ambiente y se comienza a tomar lecturas de resistencia de aislamiento cada 15 segundos hasta completar 1 minuto. Posteriormente se descarga a tierra el cable probado, en cada cambio de prueba.
- b) Para la prueba de fase a fase, se conecta el cable de la línea a la fase A y el de tierra a la fase B y así sucesivamente (resistencia de aislamiento entre cables).
- c) Se descarga nuevamente el cable probado a tierra en cada cambio de prueba.
- d) Se procede a llenar un formato especificado por el cliente o en su defecto el especificado por la CFE. Además se anexa resultado de pruebas de cables de la planta de Veratec de México, S.A. de C.V., la siguiente figura nos muestra las conexiones para llevar a cabo esta prueba.

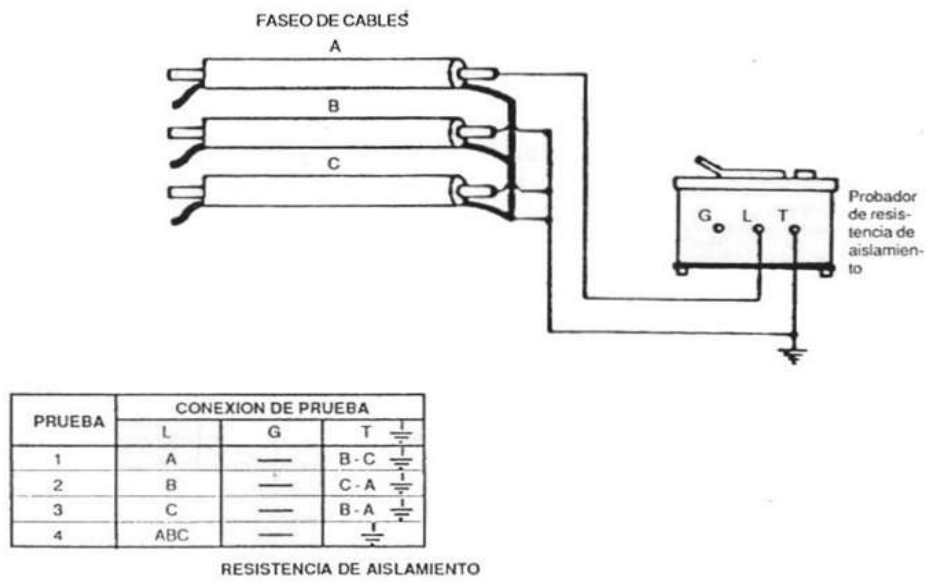
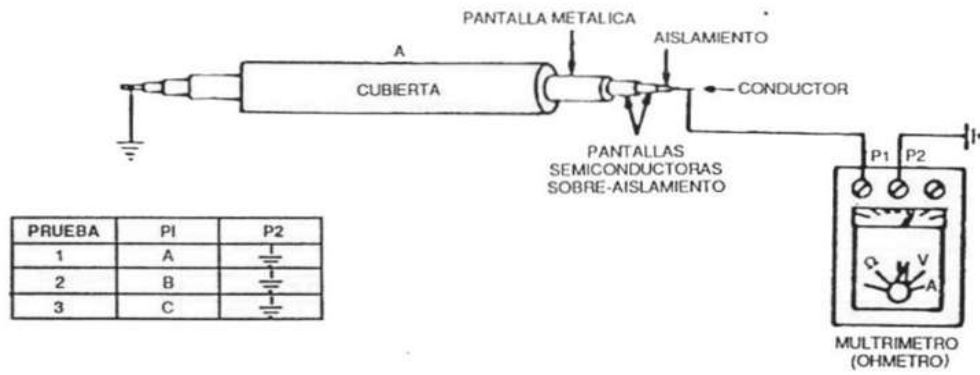


Figura 5.- Procedimiento de pruebas de resistencia de aislamiento a cables de baja y media tensión.

Tabla 3.- Resultados de pruebas de Resistencia de Aislamiento a un circuito trifásico, de Baja Tensión, de 4 cables por fase, calibre 500 MCM, clase de aislamiento 600 volts, THWN, se aplicó un voltaje de corriente directa de 500 volts, como se observa.

EXHIBIT-

CHECK LIST - ELECTRICAL

Power Cables 15 K.V. (Red Jacket)
Power Cables 2.3 K.V. (Yellow Jacket)
D.C. Feeders 600V. (Blue Jacket)

FIELD DATA

Book NO. _____ RQ NO. _____ MCC NO. _____
Circuit NO. CF-14 Area SUBESTACION N°2
Cable NO. _____ P.O. NO. _____ Mfg. Ref. NO. _____
Service _____

1. Insulation record TDB-1 a MCC-0205

PHASE	VOLTS	MA.	OHMS	TIME	NOTES
A - B	500		MJR 10,000	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN
B - C	500		MJR 10,000	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN
C - A	500		MJR 10,000	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN
A - Grd.	500		MJR 10,000	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN
B - Grd.	500		MJR 10,000	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN
C - Grd.	500		MJR 10,000	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN

2. Check cable for any defects or damage O.K.

3. Check tightness of all bolted connections O.K.

4. Check cable termination stress cones O.K.

5. Check cable tray supports and hangers O.K.

6. Check cable installation in tray O.K.

7. Check phase sequence and identification O.K.

8. Remarks _____

Checked by ING. FC. JAVIER LÓPEZ R. Date 5/OCTUBRE/1995
Contractor Field Engineer

Acceptance by ING. DAVID ARREDONDO Date 5/OCTUBRE/1995

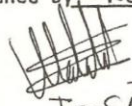
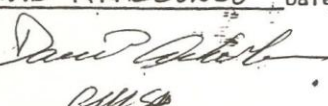
 TecSA  CMISA

Tabla 4.- Resultados de la prueba de Baja tensión 600 volts, continuación de la 3 pero de un solo cable a tierra 4 pruebas por fase. Los valores se tomaron hasta transcurrido el minuto el minuto.

1.-Insulation record.

Circuito No. CF-14

PHASE	VOLTS	MA.	OHMS	TIME	NOTES
A-B	500		10,000 M Ω	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN
B-C	500		10,000 M Ω	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN
C-A	500		10,000 M Ω	1 MINUTO	4/FASE DE 500 MCM THWN
1A-Grd.	500		380 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
2A-Grd.	500		320 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
3A-Grd.	500		360 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
4A-Grd.	500		380 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
5A-Grd.					
6A-Grd.					
1B-Grd.	500		400 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
2B-Grd.	500		340 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
3B-Grd.	500		400 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
4B-Grd.	500		440 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
5B-Grd.					
6B-Grd.					
1C-Grd.	500		340 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
2C-Grd.	500		380 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
3C-Grd.	500		380 M Ω	1 MINUTO	500 MCM THWN
4C-Grd.	500				
5C-Grd.					
6C-Grd.					

Checked by Ing. Fco. JAVIER LÓPEZ R. Date 5/OCTUBRE/1995
Contractor Field Engineer

[Signature]
TecSA

Acceptance by ING. DAVID ARREDONDO Date 5/OCTUBRE/1995

[Signature]
CHISA

FORMA: CM-02

Tabla 5.- Resultados de una prueba de Resistencia de Aislamiento a un circuito trifásico de Media Tensión, un cable por fase calibre 3/0 AWG, clase de aislamiento 15KV, se aplico un voltaje de corriente directa de 7500 volts.

EXHIBIT-

CHECK LIST - ELECTRICAL

Power Cables 15 K.V. (Red Jacket)
Power Cables 2.3 K.V. (Yellow Jacket)
D.C. Feeders 600V. (Blue Jacket)

FIELD DATA

Book NO. _____ RQ NO. _____ MCC NO. _____
Circuit NO. CF-04 Area SUBESTACION N°2
Cable NO. _____ P.O. NO. _____ Mfg. Ref. NO. _____
Service _____

1. Insulation record TDMT-01 & TRN-002

PHASE	VOLTS	MA.	OHMS	TIME	NOTES
A - B	7500	0.05	MJ 150,000	1 MINUTO	3/0 AWG EP
B - C	7500	0.05	MJ 150,000	1 MINUTO	3/0 AWG EP
C - A	7500	0.05	MJ 150,000	1 MINUTO	3/0 AWG EP
A - Grd.	7500	0.05	MJ 150,000	1 MINUTO	3/0 AWG EP
B - Grd.	7500	0.05	MJ 150,000	1 MINUTO	3/0 AWG EP
C - Grd.	7500	0.05	MJ 150,000	1 MINUTO	3/0 AWG EP

2. Check cable for any defects or damage O.K.

3. Check tightness of all bolted connections O.K.

4. Check cable termination stress cones O.K.

5. Check cable tray supports and hangers O.K.

6. Check cable installation in tray O.K.

7. Check phase sequence and identification O.K.

8. Remarks _____

Checked by ING. Fco. JAVIER LÓPEZ R. Date 5/OCTUBRE/1995
Contractor Field Engineer

Acceptance by ING. DAVID ARREDONDO Date 5/OCTUBRE/1995
David Arredondo
CHISD

Tec.SA.

También conociendo el voltaje de prueba y la resistencia de aislamiento del conductor, se puede determinar analíticamente la corriente de fuga por medio de ley de ohm, o sea el valor de la corriente de fuga a través del aislamiento.

$$I_f = E/R_a$$

Donde:

I_f = Corriente de fuga

E = Voltaje de Prueba en volts

R_a = Resistencia de aislamiento en $M\Omega$

Tal como se ve en los resultados de la prueba al cable probado de la tabla 5.

En conclusión vemos que los resultados medidos son más altos que los calculados analíticamente.

2.4.- Prueba de Alta Tensión de C.D. (Hi-Pot), a cables de Media Tensión.

2.4.1.- Teoría General

Esta prueba se realiza, en los cables de Media Tensión nuevos después de haber sido instalados y después de habersele hecho la prueba del Megger; ya que esta prueba detecta en forma definitiva fallas en su aislamiento durante la instalación (doblecetes fuertes, tenciones de jalados excesivos etcétera) el objetivo de esta prueba es asegurarse que los cables estén en condiciones de dar un buen servicio satisfactorio y confiable.

Esta prueba se lleva a cabo con un aparato de alta tensión de corriente directa, que costa además de un microamperímetro el cual nos detecta la corriente de fuga sobre el aislamiento, cuando se le está aplicando el voltaje a los cables, ver la figura 8 de conexiones en la página 34.

El alto voltaje aplicado será según la clase de aislamiento del cable y su voltaje de operación, como se especifica en la siguiente tabla 6, del manual de conductores eléctricos Viakon y la metodología para realizar la prueba es de acuerdo al capítulo 12 del manual de pruebas a cables de potencia y accesorios de CFE, gerencia de distribución e instructivo para laboratorio eléctrico de PEMEX los cuales indican los métodos para llevar a cabo esta prueba, y la NMX-J-142-ANCE, la cual indica el valor del voltaje aplicado y el tiempo de 5 minutos que debe durar la prueba.

Tabla 6.- Tabla para Espesores de aislamiento (XLPE o EPR), Tensiones de prueba c.a. y c.c. y calibre de conductores

TENSIÓN NOMINAL ENTRE FASES kV	DESIGNACIÓN DEL CONDUCTOR		ESPESOR DEL AISLAMIENTO NOMINAL mm		TENSIÓN DE PRUEBA A.C.A. kV*		TENSIÓN DE PRUEBA A.C.C. EN kV			
	SECCIÓN NOMINAL mm²	CALIBRE AWG/ Kcmil					AL TERMINAR LA INSTALACIÓN 5 min.		DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN EN CASO DE FALLA, 5 min.	
			CAT.I	CAT.II	CAT.I	CAT.II	CAT.I	CAT.II		
5	8.4 a 506.7	8 a 1 000	2.30	2.90	18	23	28	36	9	11
	Mayor de 506.7	Mayor de 1 000	3.60	3.60	28	28	28	36	9	11
8	13.3 a 506.7	6 a 1 000	2.90	3.50	23	28	36	44	11	14
	Mayor de 506.7	Mayor de 1 000	4.45	4.45	35	35	36	44	11	14
15	33.62 a 506.7	2 a 1 000	4.45	5.60	35	44	56	64	18	20
	Mayor de 506.7	Mayor de 1 000	5.60	5.60	44	44	56	64	18	20
25	42.4 a 1 013	1 a 2 000	6.60	6.10	52	64	80	96	25	30
35	53.5 a 1 013	1/0 a 2 000	8.80	10.70	69	84	100	124	31	39
46	107.2 a 1 013	4/0 a 2 000	11.30	14.70	89	116	132	172	41	54
69	253.4 a 1 013	500 a 2 000	16.50	16.50	100	100	192	192	61	61
115	380.0 a 1 013	750 a 2 000	20.30	20.30	160	160	**	**	**	**

Los valores de tensión y espesores de aislamiento están basados en la Norma Mexicana NMX-J-142-ANCE.

*La tensión de prueba a corriente alterna se aplica durante 5 min. en cables de 5 kV a 46 kV, mientras que para cables de 69 kV y 115 kV durante 30 min.

** Para cables de 115 kV, las pruebas de campo después de la instalación están sujetas a un acuerdo entre comprador y fabricante.

Al estar aplicando el voltaje de prueba también se toma el tiempo de duración de esta prueba y después se hace una grafica If vs Tiempo, y se compara con la gráfica de la figura 6:

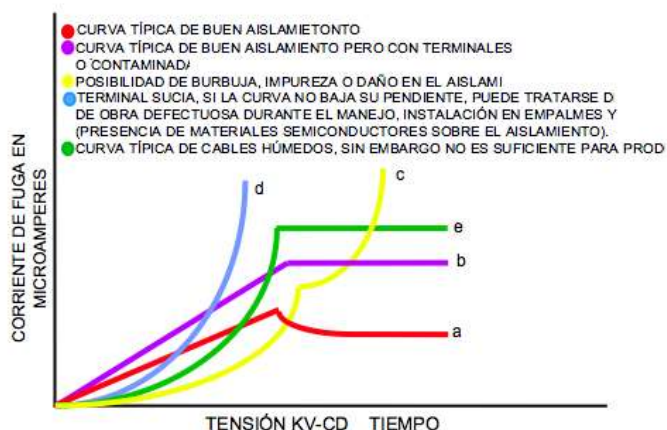


Figura 6.- Curvas típicas de corriente de fuga vs el tiempo para diferentes condiciones del aislamiento de cables aislados para media y alta tensión.

La grafica anterior representa curvas de corriente de fuga contra voltaje-tiempo para diferentes condiciones de aislamientos en cables de alta tensión.

Curva A: Es una típica de buen aislamiento.

Curva B: Indica buen aislamiento del cable donde sus terminales están húmedas o contaminadas. En este caso se sugiere discontinuar la prueba, descargar el cable, limpiar perfectamente las terminales y reanudar la prueba. Generalmente se obtiene un valor como en “A”.

Curva C: Aquí se indica la posibilidad de una burbuja, impureza en el aislamiento del cable o de las conexiones. En la mayoría de los casos, el voltaje inicia la ionización del aire contenido en la burbuja lo que produce alta energía calorífica que causa la destrucción del aislamiento ocasionando falla.

CURVA D: En algunos casos donde se tiene humedad o contaminantes en las terminales se presenta una curva como esta, si después de seguir el procedimiento indicado para la curva B no mejoran los resultados, puede tratarse de mano de obra defectuosa en empalmes y terminales (generalmente se trata de presencia de materiales semiconductores sobre el aislamiento).

CURVA E: Esta curva indica presencia de humedad que sin embargo no es suficiente para producir falla. Esta curva se presenta comúnmente en cables húmedos aislados con cambray barnizados.

2.4.2.- Puntos a verificar antes de llevar a cabo la prueba.

1. Hacer una inspección visual haciendo un recorriendo a lo largo de la trayectoria de los cables a probar e Instalar letreros de seguridad cerca de los extremos de los cables y dejar a una persona vigilando para evitar algún accidente.
2. Colocar la unidad de alto voltaje cerca del cable a ser probado.
3. Poner la unidad de control a una distancia mínima de 1.5 metros de la unidad de alto voltaje.
4. Conectar el caimán grande del cable de Alta Tensión C3 al cable a ser probado.
5. Conectar a tierra, el equipo y cables cercanos que no están bajo prueba.
6. Con todos los switches de la unidad de control en la posición OFF

2.4.3.- Procedimiento para realizar la prueba

- a) Conectar a tierra el equipo de prueba, las pantallas del cable a probar, armaduras y los cables próximos a los que se van a probar.
- b) Procurar dejar un espacio mínimo de 25 cm. Por cada 10 KV de prueba entre el cable a probar y cualquier otro conductor de prueba.
- c) Conectar el conductor de alta del probador al cable por probar.
- d) Aplicar el voltaje de prueba en cinco pasos con un minuto de espera en cada incremento.
- e) Mantener aplicado el voltaje de prueba por 5 minutos más, tomando cada minuto lecturas de potencial aplicado y corriente de fuga.
- f) Reducir a cero lentamente el control de voltaje y esperar a que el potencial residual decrezca mínimo al 20% del potencial de prueba.
- g) Aterrizar el cable probado, se recomienda que la tierra se mantenga por lo menos 30 minutos después de terminada la prueba. (Antes de conectar a tierra se usa una pértiga para descargar a tierra el cable).

Comentarios:

Al estar realizando la prueba es necesario ver el comportamiento de la corriente, porque si esta se incrementa demasiado, debe suspenderse la prueba ya que posiblemente el aislamiento tenga algún daño.

Con los resultados obtenidos se elabora una grafican que se debe comparar con la anterior y ver en qué estado esta nuestro cable probado.

Los siguientes resultados son de los cables del circuito secundario un transformador de 4000 KVA, de Colada Continua, Sicartsa Segunda Etapa, cables de 750 MCM, clase de aislamiento 5KV, vulcanel 133% de aislamiento EP.

Tabla 7.- Resultados de las pruebas de Alta Tensión del circuito trifásico secundario de un transformador de 4000 KVA, 13.8/4.160 KV, 1 cable por fase, de 750 MCM, clase de aislamiento 5 KV, Vulcanel, EP, al 133% de aislamiento. Propiedad de SICARTSA. CO

INFORME DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A LOS CABLES DEL SECUNDARIO
DE TRANSFORMADOR TMV-CC1.

EL SABADO 3 DE OCTUBRE SE REALIZARON LAS PRUEBAS DE HECGER Y APLICACION DE TENSION A 3 CABLES DEL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR TMV-CC1 CON LAS SIGUIENTES CARACTERISTICAS:

750MCM. 5KV, VULCANEL 133%.

LOS RESULTADOS FUERON LOS SIGUIENTES:

I.- PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

<u>CABLE</u>	<u>VOLT. APLICADO</u>	<u>LECTURA</u>
FASE A	5 KV.	DO (INFINITO)
FASE B	5 KV.	DO "
FASE C	5 KV.	DO "

LAS LECTURAS SON ARRIBA DE 20,000 MEGOHMS.

II.- PRUEBA DE TENSION CD.

A.- FASE A VS. (B+C) + 3 PANTALLAS + TIERRA

<u>VOLTAJE APLICADO (KV)</u>	<u>LECTURA (MICROAMPERES)</u>
5	2
10	2
15	6
15	2 1 MK.
15	2 2 MK.
15	2 3 MK.
15	2 4 MK.
15	2 5 MK.

Tabla 8.- Resultados de las pruebas, de Alta tensión del circuito trifásico secundario de un transformador de 4000 KVA, 13.8/4.160 KV, cables de 750 MCM, 1 cable por fase, clase de aislamiento 5KV, vulcanel EP, al 133% de aislamiento. Propiedad de SICARSTA CO

B.- FASE B VS. (A+C) + 3 PANTALLAS + TIERRA.

VOLT. APLICADO (KV)	LECTURA (MICROAMPERES)
5	4
10	6
15	8
15	2 1 MIN.
15	2 2 MIN.
15	2 3 MIN.
15	2 4 MIN.
15	2 5 MIN.

C.- FASE C VS. (A+B) + 3 PANTALLAS + TIERRA.

VOLT. APLICADO (KV)	LECTURA (MICROAMPERES)
5	6
10	4
15	6
15	4 1 MIN.
15	4 2 MIN.
15	4 3 MIN.
15	4 4 MIN.
15	4 5 MIN.

OBSERVACIONES:

ESTAS PRUEBAS FUERON LLEVADAS A CABO POR CONDOMEX, OBTENIENDOSE EN ESTOS RESULTADOS ACEPTABLES.

SE ANEXA UNA HOJA CON LAS CURVAS RESULTANTES.

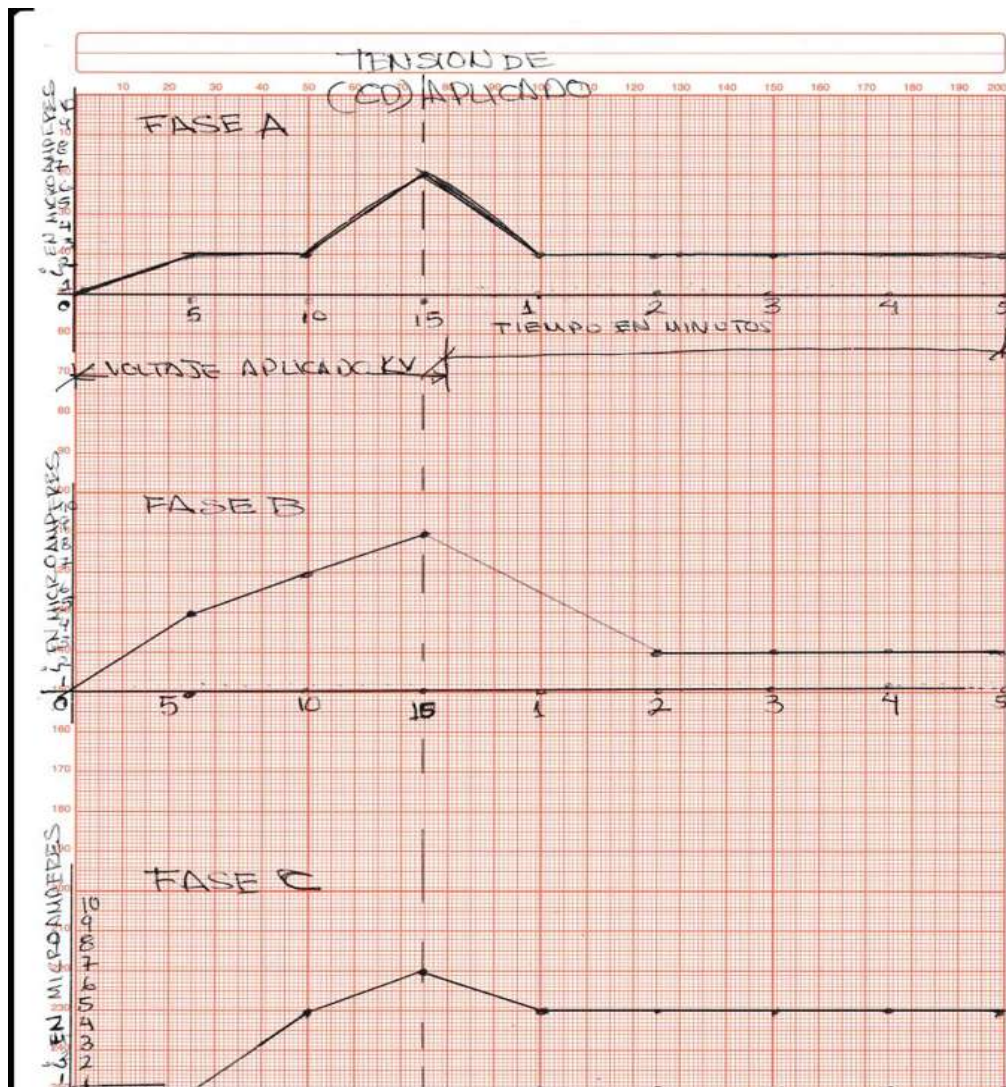


Figura 7.- Gráfica del resultado de las pruebas de alta tensión de los cables de las tablas, 7 y 8.

El aparato aquí utilizado para la prueba de alta tensión es de la marca James G. Biddle Modelo 220110 el cual consta de tres partes: Unidad de Control, Transformador de Alto voltaje y cables. Propiedad de Conduex.

La unidad de control tiene un tablero de control un Kilovolmetro, un microampermetro, un reloj, un variador de tensión y varios switches.

La unidad del transformador de alto voltaje consta de un Transformador de alto voltaje en un contenedor de protección el cual también aloja un rectificador, un resistor y un voltímetro multiplicador para censar directamente la salida de voltaje.

El cable de salida de alta tensión tiene una longitud 25 pies, en un extremo tiene un caimán grande (conectado al centro del cable) cubierto con un protector de hule y un pequeño caimán (conectado internamente a la protección del cable) el cual puede ser usado para efectuar una conexión con la guarda, el otro extremo está diseñado para ser insertado en la unidad de alta tensión a través de su conector debiendo quedar firmemente conectado.

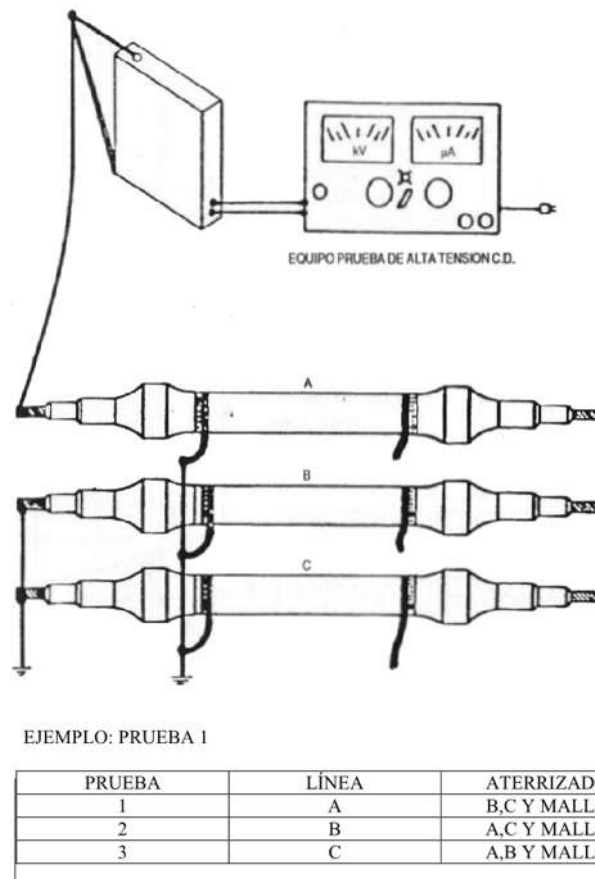


Figura 8.- Conexiones que se deben hacer para llevar a cabo la prueba de alta tensión de cd.

2.5.- Pruebas de Campo a Motores de Inducción de Baja Tensión.

2.5.1.- Teoría general

El tipo de motores trifásicos de inducción con rotor jaula de ardilla generalmente son los más usados en la industria, son máquinas eléctricas que transforman la energía eléctrica a energía mecánica y básicamente están formados por un estator y un rotor, ver figura 9, además opera bajo el principio de inducción electromagnética, ya que al alimentar los devanados del estator por una fuente trifásica de corriente alterna, fluirán tres corrientes independientes en cada una de las fases de los devanados estando estas corrientes defasadas una de otra 120 grados .

Cada fase produce un campo magnético que varía senoidalmente en el tiempo, el cual se le llama campo magnético giratorio; entonces a la vez el rotor del motor recibe la energía inductivamente por la acción transformadora en las barras de este, creando un fuerza magnetomotriz de sentido opuesto que hace circular una corriente dando origen a un par que hace girar al rotor.



Figura 9. Motor de inducción trifásico.

2.5.2.- Pruebas Resistencia de Aislamiento e Índice de Polarización a Motores de Inducción Trifásicos, de Baja Tensión.

Las pruebas de campo a los motores de inducción se deben de llevar a cabo debido a que pudieran sufrir algún daño en su transporte o al ser instalados o también por estar

almacenados mucho tiempo. Las pruebas más comunes que se efectúan a un motor de inducción antes de su puesta en marcha son; resistencia de aislamiento e Índice de polarización, de acuerdo con la norma IEEE- 43-2000:

La cual nos indica que para motores con clase aislamiento 600 volts se les debe aplicar en esta prueba 500 volts de CD, con una duración de 1 minuto.

La prueba de resistencia de aislamiento sirve para definir la oposición que presenta un aislamiento al paso de una corriente directa al ser sometido a una diferencia de potencial. Se mide en megaohms y el instrumento utilizado para la prueba se llama **Megger**.

Esta prueba nos ayuda a determinar la presencia de humedad, aceite polvo, corrosión, daños o deterioro del aislamiento, pero no debe tomarse como criterio exacto ya que tiene varias limitaciones como son la temperatura, golpes en el traslado al sitio.

La norma antes citada indica que los valores medidos se deben corregir con una temperatura de referencia a 40°C, mediante la siguiente fórmula:

$$R_C = K_T \times R_T$$

Donde:

R_C Es la resistencia de aislamiento del bobinado (en $M\Omega$) corregida a 40°C de temperatura

K_T Es el coeficiente de corrección de la temperatura T en °C (Medida en el devanado o en la carcasa) a los 40°C.

R_T Es la resistencia de aislamiento medida en ($M\Omega$) (Medida en el devanado o en la carcasa) a la temperatura Ambiente.

Una vez obtenida la lectura de la resistencia de aislamiento consultamos la tabla 9 para aplicar el coeficiente de corrección.

Tabla 9 Coeficiente de Corrección para medición de aislamientos en Motores

$T(^{\circ}\text{C})$	K_T TERMOPLÁSTICOS	K_T TERMOESTABLES
10	0.125	0.7
20	0.25	0.8
30	0.5	0.9
40	1	1.0
50	2	1.5
60	4	2.3
70	8	3.3
80	16	4.6

Además también podemos usar la tabla 10 para los valores mínimos de resistencia de aislamiento.

Tabla 10.- Valores mínimos de resistencia de aislamiento para motores de acuerdo a la norma IEEE-43-2000.

Resistencia mínima en $M\Omega$, según IEEE-43-2000	Maquina bajo prueba
$KV+1$, donde KV es la tensión nominal de la maquina en KV	Para bobinados fabricados antes de 1970
100	Para motores de CC y estatores AC, construidos después de 1970
5	Para máquinas de bobinados aleatorio y formado, de tensiones menores a 1 KV.

Además la norma indica que si la Resistencia de aislamiento a un minuto es mayor a 500 $M\Omega$, puede dejarse de lado.

Si en un momento dado se tiene un motor con una resistencia de aislamiento inferior a la mínima recomendada y es indispensable meterlo a operar, puede hacerse, pero debe

tenerse en mente que las condiciones son riesgosas y deberá programarse el paro de la unidad para someter el motor a un proceso de secado.

La Prueba de Índice de Polarización, es una continuación de la prueba de Resistencia de Aislamiento. Como se explicó anteriormente la Resistencia de aislamiento se incrementa con el tiempo de medición esto debido a la disminución de la corriente de absorción dieléctrica, ya que esta corriente es la que toma el aislamiento al polarizarse.

En un aislamiento deteriorado la corriente de absorción dieléctrica desaparece rápidamente, y en un aislamiento en buenas condiciones tarda aproximadamente 10 minutos, por eso el índice de polarización se define mediante la fórmula:

$$Ip = \frac{Ra \text{ a } 10 \text{ minutos}}{Ra \text{ a } 1 \text{ minutos}}$$

En conclusión, un índice de polarización bajo nos indica que el aislamiento es pobre, está húmedo o está sucio.

El índice de polarización mínimo recomendado para motores con aislamiento clase A es de 1.5, y para aislamientos clase B, F, y C debe ser 2.0. Generalmente los valores de I_p son entre 2 y 5, un I_p mayor de 5 puede indicar problemas de sequedad en el aislamiento, se puede realizar una inspección visual y podemos observar zonas quebradizas en el aislamiento.

Para llevar a cabo estas pruebas se usa un Megger con escala de 500 volts de cd.

2.5.3.- puntos a verificar antes de llevar a cabo las pruebas

- a) verificar su identificación del motor (placa de datos o algún número), y que se encuentre desconectada su alimentación.
- b) que el motor este fijo en su lugar de operación
- c) cortocircuitar sus terminales
- d) tener preparado el Megger

- e) tener a la mano un termómetro y un cronometro

2.5.4.- Procedimiento para realizar la prueba

- a) Se conecta la carcasa del motor a tierra.
- b) Se conecta, el cable de línea del Megger a las puntas del motor
- c) Se conecta el cable de tierra a la carcasa o al sistema de tierras.
- d) se aplica el voltaje, y se toman lecturas de Ra de 15", 30", 45", 1 minuto, y hasta 10 minutos para verificar la prueba de Índice de polarización.
- e) inmediatamente al aplicar el voltaje se activa el cronometro para tomar los tiempos.
- f) al finalizar la prueba se toma la lectura de temperatura

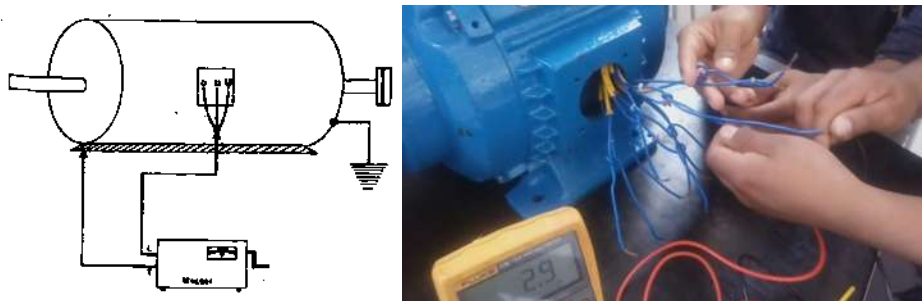


Figura 10.- Conexiones para realizar la prueba de resistencia de aislamiento a motores de inducción.

2.6.- Pruebas de Campo a Tableros e Interruptores de Baja y Media Tensión.

2.6.1.- Teoría general

Un tablero de distribución es aquel que alimenta, interrumpe, protege, mide y distribuye energía eléctrica y está constituido por interruptores cuchillas seccionadoras y por barras de cobre electrolítico (bus), soportado dentro del gabinete por aisladores y está dividido en compartimentos llamadas celdas e Invariablemente estas celdas deben estar aterrizados y deben contar con una barra de tierra para asegurar un buen aterrizamiento entre secciones.

En el dibujo que se muestra enseguida los tableros con niveles de voltaje de 5 y 15 KV está constituido con interruptores principales y derivados de hexafluoruro de azufre, los de baja tensión 600 volts están constituidos por interruptores principales electromagnéticos y los derivados por electromagnéticos y termomagnéticos.

Las pruebas a efectuar en un tablero antes de energizarse son varias pero básicamente son la de resistencia de aislamiento a las barras, interruptores cuchillas alimentadores derivados y también la prueba de alta tensión a las barras e interruptores de media tensión de acuerdo a lo indicado por el Manual de procedimientos de pruebas de campo para equipo primario de subestaciones de distribución de CFE e instructivo para laboratorio eléctrico de PEMEX. Ver la siguiente figura de un tablero de media tensión.



Figura 11.- Tablero de distribución de media tensión.

2.6.2.- Prueba de resistencia de aislamiento a las barras

Esta prueba se debe realizar a los tableros antes de energizarlos ya que nos da seguridad de que los aislamientos soportes de las barras están en condiciones de o no energizarse. Esta prueba de Resistencia de Aislamiento se lleva a cabo con el Megger. Y las lecturas que se toman son las siguientes, conforme indican w:

F1 contra tierra

F1 contra F2

F2 contra tierra

F2 contra F3

F3 contra tierra

F3 contra F1

A las barras de los tableros de baja tensión se les aplica 500 volts y a los de media tensión se les aplica 2500 o 5000 volts de cd con una duración de un minuto.

2.6.3.- Puntos a verificar antes de llevar a cabo la prueba

- a) Verificar la identificación del tablero, Verificar que no tenga ningún cable de fuerza, de control y ningún equipo conectado así como ningún interruptor conectado.
- b) tener listo el Megger
- c) tener listo el cronometro

2.6.4.- Procedimiento para realizar la prueba

- a) Se conecta el cable de la línea a la barra y el de tierra al sistema de tierras
- b) Se enciende el aparato y se comienza a tomar lecturas cada 15 segundos hasta 1 minuto de duración, y se procede a realizar las pruebas realizando las conexiones como se indicó en el párrafo anterior

Para los tableros de clase de aislamiento 5 KV y 15 KV, se les aplica 2500 o 5000 volts. Ver figura 12, donde se indica las diferentes conexiones para llevar a cabo la prueba.

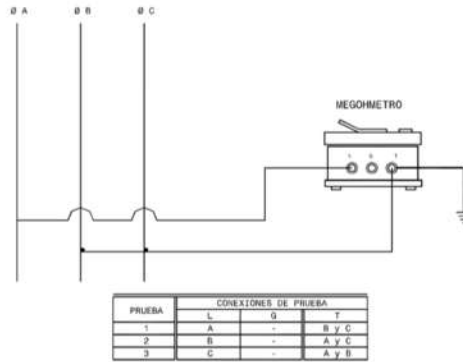


Figura 12.- Conexiones para realizarla prueba de resistencia de aislamiento en las barras de tableros de baja y media tensión.

Comentario: Si los resultados de esta prueba son aceptables, inmediatamente se procede llevar a cabo la prueba de alta tensión ya que como se desconectan todos los equipos de los buses es importante llevarla a cabo.

2.6.5.- Prueba de Alta Tensión a las Barras

Esta prueba de alta tensión a las barras de un tablero nuevo con clase de aislamiento de 5 y 15 KV, solo se efectúa antes de energizarlo y anticipadamente haberle hecho la prueba del Megger y haber obtenido resultados satisfactorios, esta prueba nos confirma que los aislamientos soportes de las barras están en condiciones de ser energizados los tableros.

Esta prueba se lleva a cabo con un equipo especial para inyectar alta tensión de cd, en algunos proyectos se usó uno de marca James Bidle modelo 220110.

Normalmente el potencial de prueba que se aplica es tres veces el voltaje nominal del bus. El tiempo de total de la prueba es de un minuto por fase.

2.6.6.- Puntos a verificar antes de realizar la prueba

- se hace una inspección visual general a todo el tablero
- Se deben de desconectar todos los equipos dependientes del bus por probarse, todos los interruptores deben estar extraídos.

- c) Limpiar cuidadosamente con solvente dieléctrico los aisladores y los buses
- d) Aterrizar los buses que no estén en prueba.
- e) Se deben instalar letreros de seguridad para que ninguna persona se acerque al lugar de la prueba.
- f) se debe tener un cronometro disponible

2.6.7.- Procedimiento para realizar la prueba

- a) Se prepara el equipo y se conecta el cable de alto voltaje al bus y el cable de tierra al sistema de tierras, se comienza a aplicar en forma gradualmente el voltaje de prueba llegando en a este en 15 segundos
- b) Tomar la lectura de la corriente de fuga
- c) Mantener por 45 segundos más el voltaje y tomar la lectura de la corriente de fuga.
- d) Reducir a cero gradualmente el voltaje de prueba y apagar el aparato
- e) Aterrizar o descargar a tierra el voltaje residual del bus de prueba

Para la siguiente barra a prueba se desconecta de la tierra y el probador se conecta a la barra por probar y así sucesivamente para la fase c.

Si la corriente excede de 20 microamperes se recomienda volver a limpiar los aisladores y repetir la prueba.

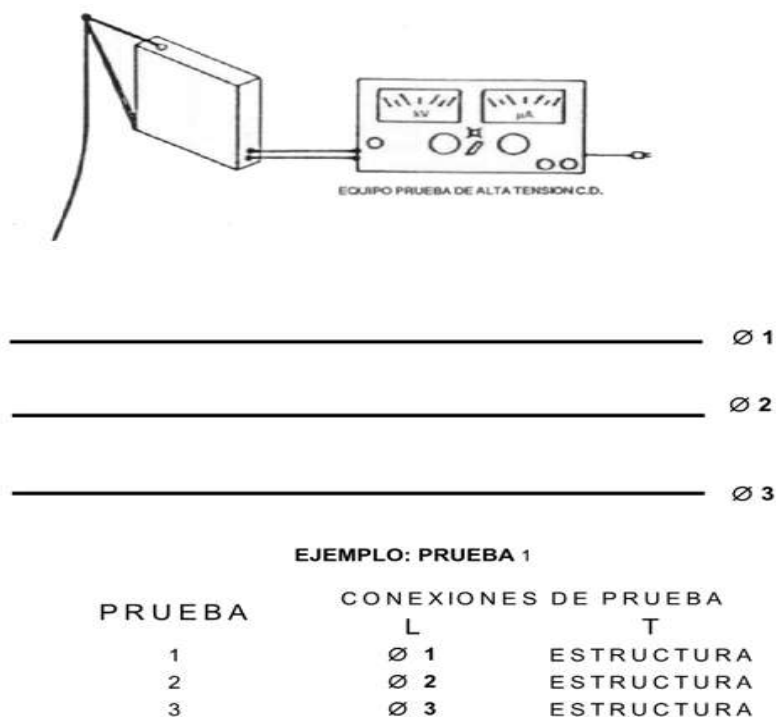


Figura 13.- Conexión para realizar la prueba de alta tensión de c.d. a las barras de tableros de media tensión

2.6.8.- Pruebas de campo a interruptores de Baja y Media Tensión.

Un interruptor es un dispositivo que eléctrico para abrir y cerrar un circuito bajo condiciones normales o de falla sin dañarse. La corriente que debe interrumpir puede ser la corriente normal del circuito o una corriente que puede ser mucho mayor debida a una situación anormal producida por un cortocircuito, o una corriente mucho menor que la normal, por ejemplo al desconectar una línea de transmisión o simplemente abre con la ausencia de energía eléctrica.

En los tableros de distribución de media tensión se usan interruptores de hexafluoruro de azufre, ya que este gas tiene una gran estabilidad química electronegatividad, alta rigidez dieléctrica y capacidad para volver a recombinarse, gracias a este gas los interruptores son más compactos y alcanzan niveles de corto circuito más elevados.

En la siguiente figura vemos un interruptor de baja tensión electromagnético y un interruptor de Hexafluoruro de azufre.



Figura 14.- Interruptor en hexafluoruro de azufre 5 o 15 KV e interruptor electromagnético de 600 Volts

2.6.9.- Pruebas de apertura cierre

Esta prueba de apertura-cierre de los interruptores se lleva a cabo manualmente antes de llevar a cabo las pruebas de Megger y alta tensión con la finalidad de probar su apertura cierre y en posición de extraídos. Una vez verificadas todas estas pruebas (apertura cierre, Megger y alta tensión), se vuelve a verificar su apertura cierre pero en posición de prueba dentro de su cuna, también se verifica la operación de los relevadores de protección (disparos del interruptor), sin tener energía en las barras. Solo energía de cd para alimentar las protecciones (relevadores) y motor que carga el resorte para el cierre del interruptor.

2.6.10.- Pruebas de resistencia de aislamiento y de alta tensión a interruptores de hexafluoruro de azufre de media Tensión.

Las pruebas de resistencia de aislamiento y de alta tensión en estos interruptores, se llevan a cabo para verificar las condiciones de los aislamientos que los conforman, como son: los aislamientos soportes que fijan y aseguran la cámara de extinción y que además se interconectan con las barras del tablero y los elementos separadores entre fases y los aislamientos de las barras de accionamiento, también los resultados indican el estado del medio de extinción del arco eléctrico (gas hexafluoruro de azufre).

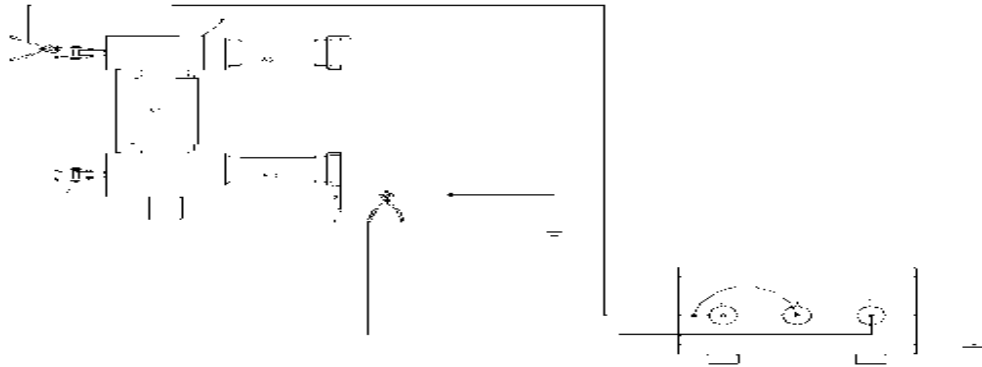
2.6.11.- Puntos de verificación y procedimiento para realizar las pruebas.

- a) Se extrae el interruptor de su gabinete se cortocircuitan las tres terminales de entrada y aparte las tres de salida y se conecta a tierra la carcasa del interruptor, se prepara el Megger.
- b) Primero se realiza la prueba de resistencia de aislamiento aplicando un voltaje menor o igual a nominal de operación.
- c) Si el resultado de estas pruebas son aceptables se procede a llevar a cabo la prueba de alta tensión aplicando tres veces el voltaje nominal del interruptor.

El tiempo de prueba es de un minuto, y se procede de la siguiente manera.

- d) Se ponen letreros de seguridad para que nadie se acerque al lugar
- e) Se conectan a tierra los equipos adyacentes que no estén aterrizados
- f) Se aplica gradualmente el voltaje de prueba llegando a un tiempo de 15 segundos
- g) Se toma lectura de la corriente de fuga.
- h) Mantener por 45 segundos más el voltaje de prueba y se toma nuevamente otra lectura de corriente.
- i) Reducir a cero gradualmente el voltaje de prueba
- j) Descargar a tierra la energía residual y aterrizar

En la figura 15 se muestra las diferentes conexiones para realizar esta prueba.



EJEMPLO PRUEBA 1

PRUEBA	POSICIÓN DEL INTERRUPTOR	CONEXIONES			MIDE
		L	G	T	
1	ABIERTO	1	-	E	AS1, ES
2	ABIERTO	2	-	E	AS2, ES, BA
3	ABIERTO	3	-	E	AS3, ES
4	ABIERTO	4	-	E	AS4, ES, BA
5	ABIERTO	5	-	E	AS5, ES
6	ABIERTO	6	-	E	AS6, ES, BA
7	CERRADO	1, 2	-	E	AS1, ES, AS2, BA
8	CERRADO	3, 4	-	E	AS3, ES, AS4, BA
9	CERRADO	5, 6	-	E	AS5, ES, AS6, BA

AS - AISLAMIENTO SOPORTE
ES - ELEMENTO SEPARADOR

BA - BARRA DE ACCIONAMIENTO
E - ESTRUCTURA

Figura 15.- Conexiones para realizar la prueba de Megger y prueba de alta tensión de CD, a interruptores de media tensión de hexafluoruro de azufre.

2.7.- Pruebas de Campo a Transformadores de Potencia

2.7.1. Teoría general

Un transformador es un equipo eléctrico que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica de un devanado a otro, generalmente aumentando o disminuyendo los valores de tensión y de corriente eléctrica a la misma frecuencia del sistema, ya que al aplicar un voltaje de corriente alterna al devanado primario se origina un flujo magnético en el núcleo de hierro, este viajara desde el devanado primario al devanado secundario y

con su movimiento originara una fuerza electromotriz en el devanado secundario. Ver dibujo esquemático de un transformador.

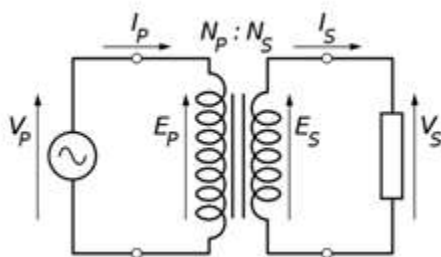


Figura 16.- Diagrama de un transformador monofásico

Debido a que los transformadores no tienen partes giratorias y comparados con otras máquinas, su eficiencia es del 95 al 99 %.

Antes de energizar los transformadores de potencia nuevos, es importante realizarles las pruebas de campo, debido a que pudieran sufrir algún daño en el traslado al sitio o al instalarlo. Esto en base a la NOM, NMX-J-169-ANCE-2004, Manual de procedimientos de pruebas de campo para equipo primario de subestaciones de distribución de CFE, instructivo para laboratorio eléctrico de PEMEX, especificación CFE-K000-13 y norma ASTM-D877.

2.7.2.- Prueba de Resistencia de Aislamiento e índice de polarización.

Esta prueba se lleva a cabo en los transformadores nuevos recién instalados en su lugar de operación antes de energizarse, para verificar el estado de aislamiento de los devanados, ya que durante su traslado al sitio de operación o en el movimiento de su instalación, pudieran sufrir algún golpe, es por esta razón que es necesaria esta prueba.

Esta prueba se define como la oposición que presenta un aislamiento al paso de una corriente directa cuando se aplica un voltaje de CD, y se mide en megaohms, el instrumento usado para realizar esta prueba es el Megger.

Esta prueba nos indica el estado en que se encuentran los aislamientos y de los valores obtenidos se toma la decisión de energizarlo o no. El obtener valores bajos no es indicación en forma definitiva que el aislamiento es malo ya que existen factores que

afectan la prueba como lo son la suciedad, humedad y la temperatura. Al igual que a los aislamientos de los cables y los motores, la corriente resultante al aplicar un voltaje de CD a un aislamiento se le llama corriente de aislamiento y consta de tres componentes:

Corriente capacitiva.- Es de magnitud relativamente alta pero de corta duración ya que al termino de unos 15 segundos máximo es despreciable, decrece conforme se carga el aislamiento y se debe a que el conductor se comporta como un condensador. A esta componente se debe el bajo valor inicial de la resistencia de aislamiento.

Corriente de absorción dieléctrica.- Es la corriente resultante de la carga que absorbe el dieléctrico como resultado de la polarización, es grande al inicio de la prueba y decrece gradualmente con el tiempo a un valor cercano a cero con una duración aproximada de 10 minutos siguiendo una función exponencial.

Corriente de fuga.- Es la corriente que fluye a través del aislamiento y es proporcional al voltaje aplicado, permanece constante a través del tiempo y constituye el factor primario para juzgar las condiciones de un aislamiento.

Los resultados de la prueba de Resistencia de Aislamiento se ven afectados por la temperatura de los devanados al momento de llevar a cabo la prueba, por lo que se tienen que ajustar empleando los factores de corrección de Resistencia de Aislamiento Corregida a 20 °C , y para ello se usa la fórmula:

$$R_c = R_m \times K$$

Donde:

R_c = Resistencia de aislamiento corregida a 20 °C.

R_m = Resistencia de Aislamiento medida en Megaohms a la temperatura de prueba.

K = Factor de corrección, según la tabla siguiente.

Tabla 11.- De Factores de aislamiento por temperatura a 20°C.

TEMPERATURA EN °C	FACTOR K	TEMPERATURA EN °C	FACTOR K
95	89.0	35	2.5
90	66.0	30	1.8

85	49.0	25	1.3
80	36.2	20	1.0
75	26.8	15	0.73
70	20.0	10	0.54
65	14.8	5	0.40
60	11.0	0	0.30
55	8.1	MENOS 5	0.22
50	6.0	MENOS 10	0.16
45	4.5	MENOS 15	0.12
40	3.3		

Las lecturas de Resistencia de aislamiento deberán considerarse como relativas y su resultado no solo debe servirnos para comprobar que los valores se mantengan arriba de un mínimo recomendado, a continuación se da un listado de los diferentes valores mínimos de Resistencia de Aislamiento recomendado para transformadores sumergidos en aceite a una temperatura de 20 °C.

Tabla 12.- Resistencia mínima de aislamiento en aceite a 20 °C

Tensión entre fases KV	Megaohms	Tensión ente fases KV	Megaohms
1.2	32	92	2480
2.5	68	115	3100
5.0	135	138	3720
8.66	230	161	4350
15.0	410	196	5300
25.0	670	230	6200

Tensión entre fases KV	Megaohms	Tensión ente fases KV	Megaohms
34.5	930	287	7750
69.0	1860	400	10800

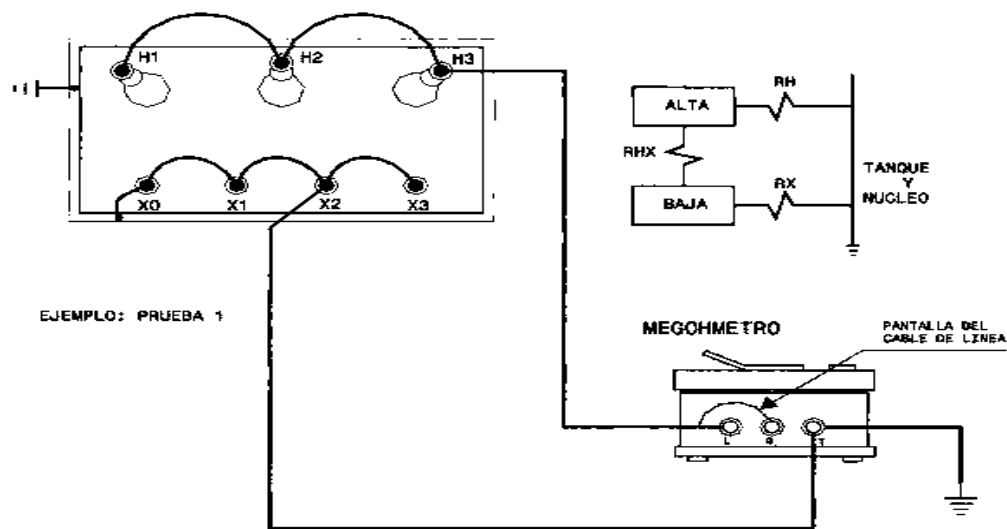
La selección del voltaje de prueba en C.D. para determinar la resistencia de aislamiento será de acuerdo al voltaje de operación de los transformadores.

Para los devanados de 600 volts se debe aplicar 500, para los devanados de 15000 volts se aplican 2500 volts de cd.

De acuerdo con la especificación de CFE-K000-13, las pruebas que se deben de hacer son las siguientes:

- a).- Alta tensión vs Baja Tensión mas tierra
- b).- Baja Tensión vs Alta tensión más tierra
- c).- Alta Tensión vs Baja Tensión

Las conexiones que se hacen físicamente se muestran en el siguiente dibujo.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	L	G	T	
1	H	—	X+Tq	RH+RHX
2	H	Tq	X	RHX
3	X	—	H+Tq	RX+RHX

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERORIZADO
Tq= TANQUE

Figura 17.- Conexiones para realizar la prueba de resistencia de aislamiento.

2.7.3.- Puntos que se deben verificar antes de llevar a cabo la prueba.

- Verificar que se encuentre totalmente desconectados los cables, tanto en alta y baja tensión.
- Verificar que el tanque del Transformador esté conectado a tierra.
- Limpiar las Boquillas del Transformador
- Colocar puentes en el devanado primario y el secundario
- tener listo el Megger, un cronometro y un termómetro.

2.7.4.- Procedimiento para realizar la prueba

- a) Se procede a realizar la primera prueba de acuerdo con las conexiones de la figura anterior.
- b) Se toma la temperatura del aceite en el indicador del transformador y se comienza a tomar lecturas de resistencia de aislamiento cada 15 segundos hasta completar 1 minuto, después cada minuto hasta alcanzar 10 minutos, para verificar la prueba de índice de polarización.
- c) antes de realizar la segunda prueba y así sucesivamente se aterriza el devanado al que se le aplico el voltaje.
- d) Se procede a llenar un formato especificado por el cliente o en su defecto el especificado por la CFE.

La prueba de Índice de Polarización

La prueba de índice de polarización es una medida de absorción dieléctrica, se expresa numéricamente como la relación de la Resistencia de aislamiento a diez minutos entre el valor obtenido entre el valor obtenido a un minuto.

Índice de polarización (I.P.)= Resistencia de aislamiento a 10 minutos/Resistencia de aislamiento a 1 minuto

Si el aislamiento del devanado bajo prueba se encuentra en perfectas condiciones, la corriente de absorción dieléctrica tardara en desaparecer un tiempo de 10 minutos o más, pero si el devanado está muy sucio o húmedo dicha corriente desaparecerá en 1 o 2 minutos, lo que originara un índice de polarización muy bajo.

Por lo tanto un I.P. bajo indica humedad o suciedad del aislamiento.

El valor de I.P. recomendado generalmente como mínimo aceptable es de 1.5

El efecto de la temperatura sobre el I.P. es pequeño si la temperatura del equipó bajo prueba no cambia considerablemente entre el primero y decimo minuto, cuando esto sucede solo se recomienda hacer corrección una corrección por temperatura para la Resistencia de aislamiento. Los resultados de esta prueba lo podemos ver en la tabla 11 y vemos valores obtenidos de 5 y 1.6 son valores aceptables.

Resultados de pruebas de Resistencia de aislamiento e índice de polarización de un transformador en la planta de Veratec de México, s. a. de cv.

Tabla 13.- Protocolo de pruebas de resistencia de aislamiento e índice de polarización a un transformador de potencia de 3000/3750 KVA, 13200-400/231 volts.

TEC TECNICA ELECTROMECHANICA
CENTRAL S.A DE C.V.
PROL. WENCESLAO S. DE LA BARQUERA No. 7-A
FRACC. VILLAS DEL SUR
QUERETARO, QRO.

FOLIO No. 1/2
UBICACION: SUBESTACION N°2
FECHA: 13/SEPTIEMBRE/1995

EMPRESA: PLANTA SPUNBOND III
DOMICILIO: Km. 65 CARR. QUERETARO - SAN LUIS POTOSI
CIUDAD: SAN JOSE ITURBIDE, GTO.

REPORTE DE RESULTADOS DE PRUEBAS A TRANSFORMADORES
TRANSFORMADOR DE 3000/3750 KVA, 13200-400/231 VOLTS.
No. SERIE: 6465 MARCA: VOLTRAN FASES: 3
CONEXION: Δ-Y_n IMPEDANCIA 5.93 - 750 a 75°C
TIPO DE ENFRIAMIENTO: OA/FA M.S.N.M.: 1900
NIVEL DEL ACEITE: BIEN TEMPERATURA MAXIMA DEL ACEITE: _____
% DE CARGA TERMICA: _____ TEMPERATURA AMBIENTE: _____
CONEXION TAP ENCONTRADO: 3

1. RELACION DE TRANSFORMACION (TTR) - TRN-0003

CONEXION TAPS	1	2	3	4	5	EXITACION (AMPERES)
H ₁ H ₂ X ₀ X ₂	59.990	58.614	57.115	55.740	54.240	1
H ₁ H ₃ X ₀ X ₃	59.982	58.607	57.108	55.732	54.233	1
H ₁ H ₄ X ₀ X ₁	59.987	58.613	57.113	55.736	54.240	1

OBSERVACIONES: VALORES DENTRO DE TOLERANCIA.

2. RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS.

CONEXION TAPS	1	2	3	4	5
H ₁ H ₂					
H ₁ H ₃					
H ₁ H ₄					
X ₁ X ₀					
X ₂ X ₀					
X ₃ X ₀					

OBSERVACIONES:

3. AISLAMIENTO E INDICE DE POLARIZACION - (LECTURAS EN MEGHOMS)

	1/4	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	I.P.	I.A
AT/AT	7500	14000	16000	20000	30000	40000	40000	60000	60000	70000	70000	80000	5	1.1
BT/AT	20000	20000	30000	30000	40000	40000	40000	45000	45000	48000	48000	48000	1.6	1.5

OBSERVACIONES: VALORES BIEN.

REPORTO: [Firma] RECIBIO REPORTE: [Firma]

2.7.5.- Prueba de Resistencia Óhmica

La prueba de resistencia Óhmica a los devanados de un Transformador, nos sirve para conocer el valor de la resistencia óhmica de los devanados de un transformador, y con esta resistencia conocida se puede calcular las pérdidas en el cobre, por efecto Joule ($R I^2$) y detecta falsos contactos en conexiones de boquillas, cambiadores de derivaciones y soldaduras deficientes.

La corriente empleada en esta prueba no debe exceder el 15% del valor nominal del devanado, ya que las medidas serían erróneas debido al calentamiento del devanado.

El puente de Wheatstone puede medir valores de 1 miliohms a 11.110 megaohms y el puente de kelvin mide de 0.1 microohms a 111 ohms, y es muy importante que las baterías de estos equipos estén en buen estado, para tener buenas lecturas.

Para nuestras pruebas se usó el puente de Wheatstone ver figura 18 del aparato y figura 19, las conexiones que se deben hacer para realizar la prueba.



Figura 18.- Puente de Wheatstone

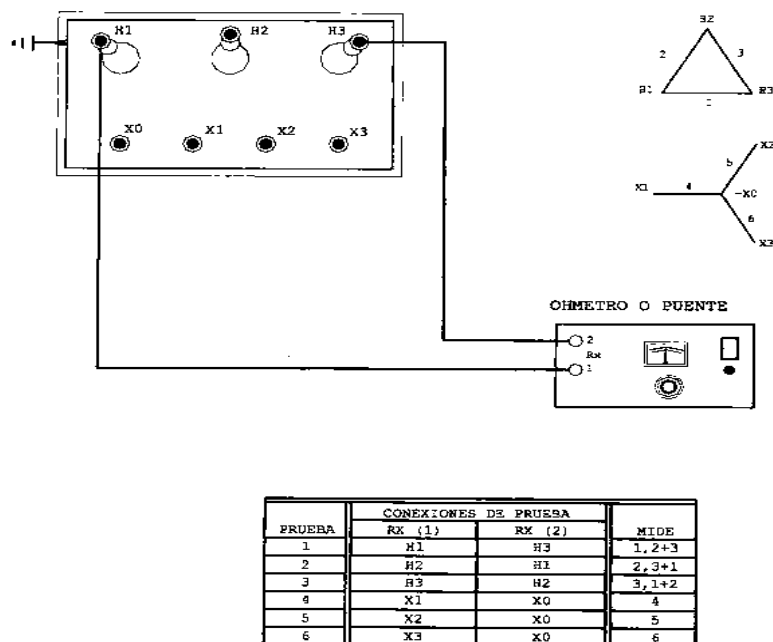


Figura 19.- Conexiones para realizar la prueba de resistencia óhmica a un transformador de potencia con el puente de Wheatstone.

2.7.6.- Puntos a verificar antes de realizar la prueba

- Tener listo el puente de Wheatstone
- verificar que no esté conectado ningún cable en el devanado primario como en el secundario, también se debe de desconectar el neutro ya que para nuestro caso es una conexión delta estrella.
- limpiar con solvente dieléctrico las terminales, para que se tenga buen contacto.

2.7.7.- Procedimiento para realizar la prueba.

- El multiplicador y las perillas de medición (décadas) deben colocarse en su valor más alto.
- Se procede a realizar las conexiones y mediciones de acuerdo a figura 19.
- Conectar la resistencia de los devanados a medir en las terminales RX, colocar la perilla multiplicadora en el rango más alto y las perillas de las décadas en 9

(nueve), con esto la aguja del galvanómetro se mueve a la derecha (+), y luego y pasando poco tiempo se mueve lentamente hacia la izquierda (-), posteriormente se disminuye el de la perilla multiplicadora hasta observar que la aguja oscile cerca de cero; Para obtener la medición accionar las perillas de las décadas, iniciando con la de mayor valor, hasta lograr que la aguja se posicione en cero. El valor de la medición se obtiene de las perillas mencionadas.

- d) Medir la resistencia de cada devanado y en cada posición del cambiador de derivaciones, registrando las lecturas en el formato de prueba. Ver datos obtenidos en la tabla 13. De un transformador de SICARTSA.

Tabla 14.- Protocolo de pruebas de resistencia óhmica a transformador de potencia de 15/20/25 MVA, propiedad de Sicartsa.

PROLEC S.A.
PROTOCOLO DE PRUEBAS DE CAMPO

CLIENTE: SICARTSA FECHA: 6 AGOSTO 87
TRANSFORMADOR CON NUMERO DE SERIE: N.176-01-12
KVA: 15000/20000/25000 CONEXION: DELTA/ESTRELLA FASES: 3
BQ HC TEND: CA/FA/FOA TEMP: 55° H.S.H.M.: 1000
DERIV: 2 VOLTS: 33000/13800

RESUL. DE DESLAMIENTO MOHMS.				RELACION DE TRANSFORMACION					
VOLTAGE DE PRUEBA TEMP. °C				DELTA H3 H1 H1 H2 H2 H3					
CONEXION H/NT N/NT 30°C				NO. X0 X1 X0 X2 X0 X3					
10 DEG	490	1050		1	4.452	4.454	4.452		
20 DEG	600	1450		2	4.344	4.347	4.345		
30 DEG	700	1450		3	4.237	4.239	4.238		
40 DEG	700	1700		4	4.130	4.132	4.131		
50 DEG	800	2000		5	4.028	4.025	4.024		
60 DEG	850	2500		6	3.915	3.918	3.916		
70 DEG	850	2500		7	3.813	3.812	3.813		
80 DEG	850	2750							
90 DEG	850	3000							
100 DEG	850	3000							
110 DEG	850	3500							
120 DEG	850	3500							
130 DEG	850	3500							
140 DEG	850	3500							

RESISTENCIA EQUIVALENTES A 20 KV.				%		CONEXION		
MULTIPLICADORES				P.P.				
PRUEBA CONEXION				P.P.		CONEXION		
DE MULTIP. MVA				DE MULTIP. MW				
DE MULTIP. DEGR.				DE MULTIP. DEGR.				
23	1000	23000	72	2	144	0.62	0.49	968
61	100	6100	27	2	54	0.88	0.70	255
35	1000	35000	11	20	220	0.62	0.50	145
90	200	18000	68	2	136	0.75	0.60	764
56	10	560	12	2	24	0.42	0.37	236

RES. TEND. DERIV. 40° TAP. 4
 A.T. H1 A1 = 0.304 H2 A2 = 0.306 H3 A3 = 0.308
 B.T. H1 B1 = 0.125 H2 B2 = 0.125 H3 B3 = 0.125
 C.T. H1 C1 = 0.125 H2 C2 = 0.125 H3 C3 = 0.125

(PROLEC S.A.)
 ING. FAUSTO OTERO R.
 (SICARTSA)
 ING. FCO. RODRIGUEZ R.

2.7.8.- Prueba de Relación de Transformación

La relación de Transformación se define como la relación de vueltas o de voltajes del primario al secundario, o la relación de corrientes del secundario al primario en los transformadores tal como se observa en la siguiente fórmula:

$$N1/N2=V1/V2=I2/I1=a$$

Donde:

a: Relación de Transformación

V1 y V2: Tensiones en los devanados primario y secundario.

I1 e I2: Corrientes en devanados primario y secundario.

El aparato para realizar estas pruebas es el TTR en ingles “test turn ratio” ya que determina la polaridad la relación de Transformación simultáneamente. Ver figura de aparato.



Figura 20.- Probador de relación de transformación.

En la siguiente figura se muestra un circuito simplificado de un probador de relación de transformación.

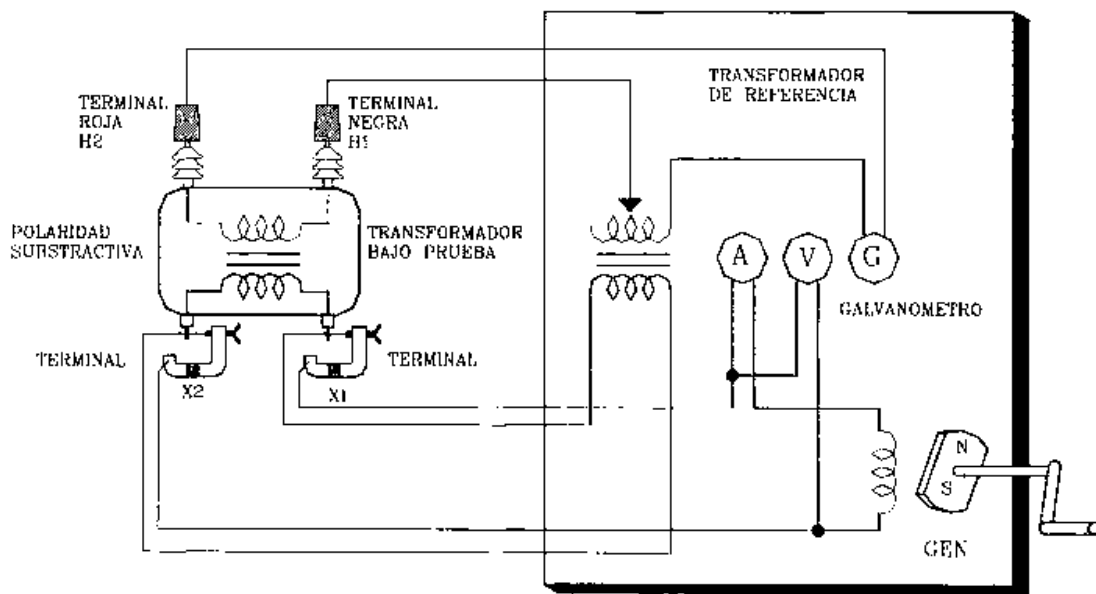


Figura 21.- Circuito simplificado de un TTR, probador de relación de transformación.

2.7.8.1.- Principio de operación del TTR

El TTR opera bajo el principio de que cuando dos transformadores que tienen la misma Relación de Transformación y que al conectarse en paralelo y ser excitados, con una **pequeña diferencia** en la relación en alguno de ellos, se produce una corriente circulante relativamente alta. En esta figura, el transformador de referencia con relación ajustable desde "0" hasta "130", se conecta en paralelo con el transformador bajo prueba y un galvanómetro conectado en serie con las bobinas secundarias de ambos transformadores. Al excitar las bobinas primarias y el galvanómetro no detecte deflexión (no circula corriente a través de él), se dice que tienen la misma relación de transformación. Mediante esta prueba es posible detectar corto circuito entre espiras, falsos contactos y circuitos abiertos, además se conoce la polaridad de las bobinas y se verifica el diagrama de conexión de transformadores monofásicos y trifásicos. El TTR cuenta con 4 terminales para realizar la prueba, dos conductores de sección grande denominados X1 y X2 (terminales de excitación) con terminales tipo c con tornillo para la sujeción, las otras dos son de sección menor y se denominan H1 y H2 (terminales Secundarias), sus extremos tienen conectores mordaza.

Para llevar a cabo esta prueba en transformadores trifásicos de potencia, debemos recordar que estos en sus devanados de alta tensión tienen conexiones llamados taps o

(derivaciones), en este caso el transformador cuenta con 5 posiciones en su voltaje de alta tensión sube o baja más (+) o menos (-) el 5% de su voltaje nominal ver figura 22, placa de datos y la figura 23 nos muestra las conexiones para realizar la prueba en un transformador trifásico.

Además también se puede calcular la relación de transformación analíticamente para después compararla con la medida. Usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ diferencia} = (\text{Valor teórico} - \text{Valor medido} / \text{Valor Teórico}) \times 100$$

El porciento de diferencia no debe ser mayor al 0.5%

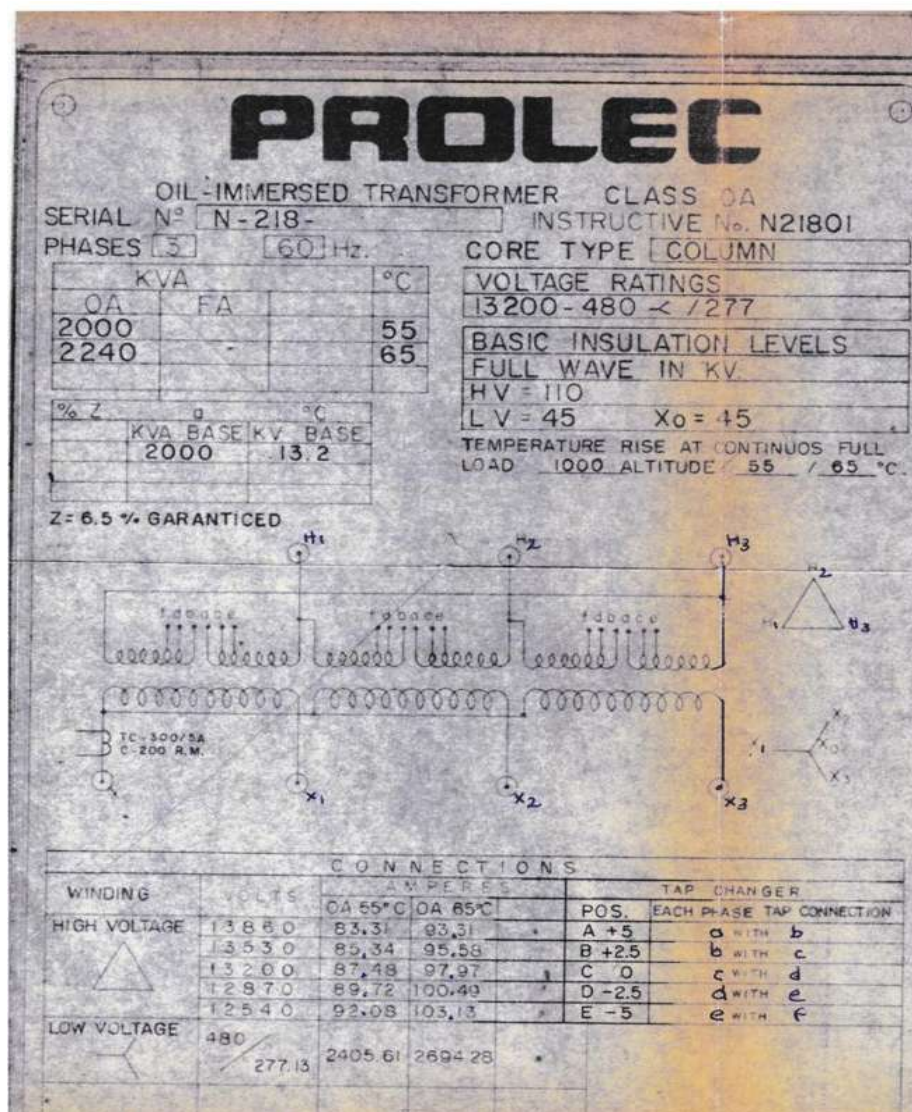
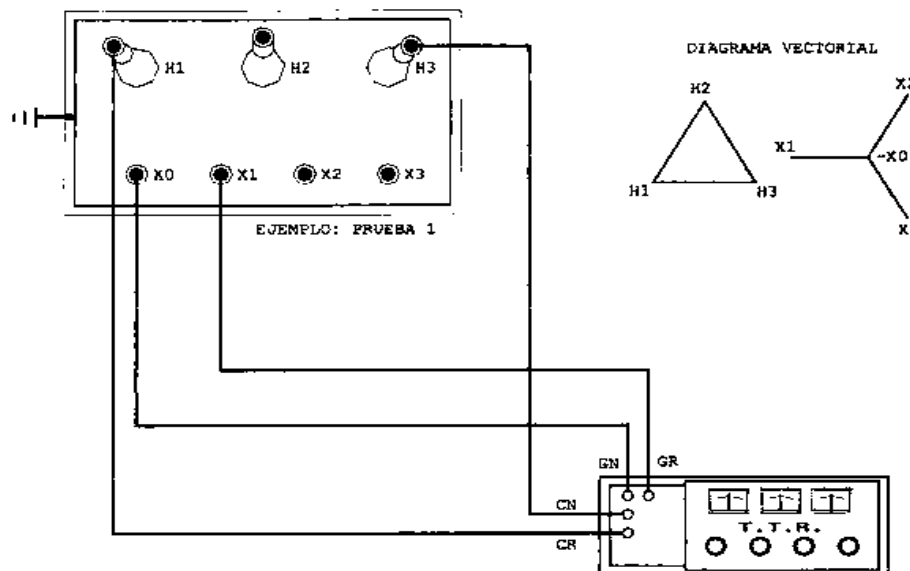


Figura 22.- Placa de datos de un transformador trifásico de 2000/2240 KVA, conexión delta estrella aterrizada, 13200-480/277 volts.



GN , GR - TERMINALES DE EXCITACION NEGRA Y ROJA
 CN , CR = TERMINALES SECUNDARIAS NEGRA Y ROJA

PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	CN	GR	SELECTOR	
1	H1	H3	X1	X0	# A
2	H2	H1	X2	X0	# B
3	H3	H2	X3	X0	# C

EL TANQUE DEBE ESTAR ATERRIZADO

Figura 23.- Conexiones para realizar la prueba de relación de Transformación en un transformador de potencia.

2.7.9.- Puntos a verificar antes de realizar la prueba

- verificar que no estén conectados los cables en alta y baja tensión
- Tener listo el TTR para realizar la prueba.
- Tener a la mano los datos de placa del transformador a checar.
- Si es posible antes de iniciar la prueba tener los datos de relación de transformación calculados analíticamente con los datos de placa. Esto con la finalidad de comparar con los medidos.

2.7.10.- Procedimiento para realizar la prueba

- a) Aterrizar el equipo
- b) Utilizar el diagrama vectorial Para encontrar las fases correspondientes entre los devanados primario y secundario del transformador trifásico con conexión delta estrella. Y se procede a realizar las conexiones de acuerdo a la figura 23.
- c) Se procede a efectuar las pruebas para cada una de las posiciones de los taps del transformador.
- d) Conectar las terminales de excitación X1 y X2 al devanado de baja tensión.
- e) Las terminales H1 y H2 se conectan a sus correspondientes terminales del devanado de alta tensión.
- f) Se colocan las caratulas del TTR en cero.
- g) Dar a la manivela un cuarto de vuelta, si el galvanómetro se deflexiona a la izquierda, la polaridad es sustractiva; y si se deflexiona a la derecha la polaridad es aditiva.
- h) Para proseguir con la prueba se debe conectar el aparato para una polaridad sustractiva.
- i) Colocar las caratulas en 0.000 y girar la manivela, el galvanómetro debe deflexionarse a la izquierda, observar el amperímetro y voltmetro, las perillas deben moverse progresivamente o sea primero la uno después la dos tres y cuatro perillas hasta obtener un balance perfecto, durante esta operación se debe estar girando la manivela y cuando se obtiene el balance el voltaje generado debe ser 8 volts.
- j) Cuando ya se obtuvo el balance se lee la relación de transformación directamente.

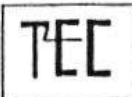
El porcentaje de diferencia máximo permitido entre la relación de Transformación teórica y la leída no debe ser mayor de 0.5%.

$$\% \text{ dif.} = ((\text{Relación Teórica} + \text{Relación de Tranf. Medida}) / (\text{Relación teórica})) * 100$$

Mediante la prueba de TTR se puede detectar, cuando un Transformador tiene Fallas entre espiras, entre espiras y núcleo, alguna fase abierta, además se verifica el diagrama vectorial de placa del en transformadores trifásicos, también tiene buena aplicación en transformadores que se conectan en paralelo ya que una diferencia de relación de transformación entre ellos origina corrientes circulantes.

En la siguiente tabla se observan los resultados de estas pruebas de relación de transformación realizadas a un transformador trifásico con conexión delta estrella.

Tabla 15.- Protocolo de pruebas de relación de transformación de transformador de 3000/3750 KVA, 13200-400/231 Volts.

	TECNICA ELECTROMECHANICA CENTRAL S.A DE C.V. PROL. WENCESLAO S. DE LA BARQUERA No. 7-A FRACC. VILLAS DEL SUR QUERETARO, GTO.		FOLIO No. <u>1/2</u> UBICACION: <u>SUBESTACION N°2</u> FECHA: <u>13/SEPTIEMBRE/1995</u>											
	EMPRESA: <u>PLANTA SPUNBOND III</u> DOMICILIO: <u>Km. 65 CARR. QUERETARO - SAN LUIS POTOSI</u> CIUDAD: <u>SAN JOSE ITURBIDE, GTO.</u>													
REPORTE DE RESULTADOS DE PRUEBAS A TRANSFORMADORES TRANSFORMADOR DE <u>3000/3750</u> KVA, <u>13200-400/231</u> VOLTS.														
No. SERIE: <u>6465</u>		MARCA: <u>VOLTRAN</u>		FASES: <u>3</u>										
CONEXION: <u>Δ - Y₂</u>		IMPEDANCIA: <u>5.93 - 7.50 a 75°C</u> <u>6.71 - 8.32 a 85°C</u>		LITROS ACEITE: <u>4,448</u>										
TIPO DE ENFRIAMIENTO: <u>OA/FA</u>		M.S.N.M.: <u>1900</u>												
NIVEL DEL ACEITE: <u>BIEN</u>		TEMPERATURA MAXIMA DEL ACEITE:												
% DE CARGA TERMICA:		TEMPERATURA AMBIENTE:												
CONEXION TAP ENCONTRADO: <u>3</u>		<u>TRN-0003</u>												
1.- RELACION DE TRANSFORMACION (TR)-														
CONEXION TAPS H ₁ X ₀ X ₂ H ₁ X ₀ X ₃ H ₁ X ₀ X ₁	1	2	3	4	5	EXITACION (AMPLIES) 1 1 1								
	59.990	58.614	57.115	55.740	54.240									
	59.982	58.607	57.108	55.732	54.233									
	59.987	58.613	57.113	55.736	54.240									
OBSERVACIONES: <u>VALORES DENTRO DE TOLERANCIA.</u>														
2.- RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS.-														
CONEXION TAPS	1	2	3	4	5									
H ₁ b ₁														
H ₂ b ₂														
H ₃ b ₃														
X ₁ X ₀														
X ₂ X ₀														
X ₃ X ₀														
OBSERVACIONES:														
3.- AISLAMIENTO E INDICE DE POLARIZACION.- (LECTURAS EN MEGOHMS)														
TAPAS ATAT BTAT	1/4	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	LP.	I.P.
	7500	14000	16000	20000	30000	40000	40000	60000	60000	70000	70000	80000	5	1.1
	20000	20000	30000	30000	40000	40000	40000	45000	45000	48000	48000	48000	1.6	1.5
OBSERVACIONES: <u>VALORES BIEN.</u>														
REPORTO: 							RECIBIO REPORTE: 							

2.7.11.- Prueba de Rigidez dieléctrica del aceite de un transformador.

El objetivo de esta prueba es determinar que el aceite del transformador cumpla con las características dieléctricas requeridas por la norma ASTM-D877

La Rigidez Dieléctrica del aceite es el voltaje mínimo al cual se produce un arco entre dos electrodos metálicos e indica la habilidad del aceite para soportar esfuerzos eléctricos sin falla.

Esta prueba se lleva a cabo con un equipo llamado Probador de aceite el cual consiste de un transformador elevador, un regulador de tensión, un volmetro indicador un interruptor y una copa estándar patrón para prueba.

La copa patrón con dos discos planos y paralelos, de un diámetro de 25.4 mm y separados entre sí 2.54 mm, los cuales deben estar completamente sumergidos en el aceite a probar, método estandarizado por la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales ASTM D877.

Además, establece el mínimo valor aceptable de Rigidez Dieléctrica para aceites nuevos sea de 30 KV.

2.7.12.- Puntos y precauciones a verificar antes de llevar a cabo esta prueba.

- a) Efectuar la prueba en días secos, no hacerla en días nublados, húmedos o después de que haya llovido.
- b) que los recipientes de prueba estén limpios y secos.
- c) La muestra debe tomarse de la parte inferior del transformador.
- d) Limpiar la válvula de muestreo.
- e) Drenar un poco de aceite.
- e) Enjuagar el recipiente de prueba cuando menos una vez con el aceite que va a checar.
- f) Evitar el contacto de los dedos con el de la copa o el aceite a probar.

- g) llenar la copa de prueba procurando que rebase unos dos centímetros a los electrodos.
- h) Dejar reposar unos tres minutos al aceite dentro de la copa.
- i) Calibrar la separación de los electrodos a 2.54 mm.

2.7.13.- Procedimiento para realizar la prueba.

Conectar el aparato

- a) Efectuar la primera prueba incrementando el voltaje a 3 Kv por segundo hasta que aceite entre los electrodos falle, y registrar el valor de ruptura en KV.
- b) Dejar reposar el aceite durante un minuto antes de efectuar la segunda prueba.
- c) Efectuarle cinco pruebas a la muestra (dejando reposar un minuto entre ellas).
- d) Sacar el Promedio de las cinco pruebas siendo este el valor de rigidez dieléctrica.
- e) La diferencia entre prueba y prueba no debe ser mayor de 5 kV.
- f) En caso que se tenga duda del resultado se debe tomar una nueva muestra para ensayarla.

Las normas indican que se deben sacar tres muestras para prueba en transformadores nuevos.

Anteriormente esta prueba de rigidez dieléctrica era de la marca BALTEAU TIPO EHA-60, con rango de 0 a 60 kV entre electrodos, 500 VA de potencia, 110 – 130 – 220 vca de alimentación a 50- 60 Hz, velocidad nominal de subida a 3 kV/seg.

En la actualidad existen otras marcas que cumplen con la norma ASTM- D877.



Figura 24.- Extracción de aceite a un transformador para realizar la prueba de Rigidez Dieléctrica.



Figura 25.- Realización de la prueba de Rigidez dieléctrica del aceite de un transformador.

Tabla 16.- Protocolo de resultados de la prueba de Rigidez Dieléctrica del aceite a un transformador nuevo instalado en una planta de tela instruida en San José Iturbide

TEC TECNICA ELECTROMECANICA CENTRAL S.A. DE C.V.
 INTOL. WINGSTADT S. DE LA BARRIOERNA No. 7-A
 FRACC. VILLAS DEL SUR
 GUERETARO, GTO.

FOLIO No. 2/2
 UBICACION: SUBESTACION N° 2
 FECHA: 6/OCTUBRE/1995

EMPRESA: PLANTA SPUNBOND III
 DOMICILIO: Km. 65 CARR. GUERETARO - SAN LUIS POTOSI
 CIUDAD: SAN JOSE ITURBIDE, GTO.

REPORTE DE RESULTADOS DE PRUEBAS A MUESTRAS DE ACEITE DE TRANSFORMADORES
 TRANSFORMADOR DE 2000/2240 KVA, 13200 - 480/277 VOLTS.
 No. SERIE: 6464 MARCA: VOLTRAN FASES: 3
 CONEXION: Δ - Y IMPEDANCIA 5.81-6.38 a 75/85°C LITROS ACEITE 1316
 TIPO DE ENFRIAMIENTO: OA M.S.N.M.: 1900
 NIVEL DEL ACEITE: BIEN TEMPERATURA MAXIMA DEL ACEITE: _____
 % DE CARGA TERMICA: _____ TEMPERATURA AMBIENTE: _____
 CONEXION TAP ENCONTRADO: 3 TRN-0002

1.- PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA

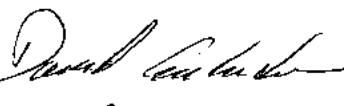
PRUEBA (KV)				OBSERVACIONES
1	2	3	PROM	
34	33	38	35	SE ENCUENTRA BIEN EN ESTA PRUEBA.

APARATO UTILIZADO: MED. RIGIDEZ DIELECTRICA MARCA: HIPOTRONICS
 MODELO: OC-60A No. DE SERIE: 015243-00
 METODO UTILIZADO: ASTM: D-877 (VALOR MINIMO 30 KV)

2.- PRUEBA DE ACIDEZ

ACIDEZ EN mgr. KOH/lgr. ACEITE	OBSERVACIONES
0.03	EL ACEITE SE ENCUENTRA EN BUENAS CONDICIONES EN ESTA PRUEBA.

APARATOS Y REACTIVOS UTILIZADOS: BURETA, MATRAZ, PIPETA VOLUMETRICA, BTER, ALCOHOL ETILICO, FENOLFTALEINA Y HIDROXIDO DE POTASIO
 CON NORMALIDAD DE 0.1 METODO: D-974

 TecSA  CHISA

Capítulo 3.- Conclusiones y Recomendaciones

3.1.- Conclusiones

Ya terminado con este reporte, se concluye que las pruebas de campo a los cables de baja y media tensión y a los equipos eléctricos son de vital importancia, ya que los resultados obtenidos, son la pauta para tomar la decisión para poder energizarlos dándonos la seguridad de tener un buen funcionamiento y seguridad al personal de operación.

Además para elaborar este reporte fue necesario consultar las normas nacionales e internacionales que son las que nos dan los métodos para llevarlas a cabo. También los reportes han sido recopilados de pruebas realizadas de algunos proyectos donde me dieron la oportunidad de prestar mis servicios profesionales, como SICARTSA, DEACERO etcétera, en las cuales pude desarrollarme profesionalmente aprendiendo de los demás compañeros de trabajo y en veces enseñándoles alguna experiencias profesionales y teóricas aprendidas en mi facultad de Ingeniería Eléctrica.

3.2.- Recomendaciones

A todos los ingenieros electricistas que ejecuten proyectos eléctricos, les recomiendo que antes de energizar los equipos eléctricos, se les realicen las pruebas de campo, esto porque lo especifica la NOM-001-SEDE (vigente), apoyada por las NMX y normas internacionales; ya que en los movimientos de transporte e instalación pudieran sufrir daños, lo cuales se pueden detectar con las pruebas.

Además después de realizarlas y tenemos resultados aceptables podemos energizar nuestros equipos con la seguridad de que operaran satisfactoriamente sin ningún riesgo para el personal de operación.

Bibliografía.

- [1] S. d. E. d. Mexico, Norma Oficial Mexicana NOM- 001-SEDE 2012, México, 2012.
- [2] V. C. Monterrey, «www.viakon.com,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.viakon.com/manuales/Manual%20Electrico%20Viakon%20-%20Capitulo%202.pdf>. [Último acceso: 5 2011].
- [3] C. NMX-J-294-ANCE, «<http://www.fime.uanl.mx/>,» 2003. [En línea]. Available: <http://www.fime.uanl.mx/~omeza/pro/LASE/CAP12CABLESPOTENCIA.pdf>.
- [4] Instructivo para laboratorio eléctrico de pruebas eléctricas de PEMEX
- [5] La guía completa para pruebas de aislamiento eléctrico, por (MEGGER pruebas de aislamiento)
- [6] NMX-J-294-ANCE, Tablas de factor de corrección para resistencia de aislamiento en cables, Asociación Nacional de normalización y Certificación, a. c.
- [7] Norma Mexicana NMX-J-142/1-ANCE, Conductores-cables de energía con pantalla metálica, aislados con polietileno de cadena cruzada a base de etileno-propileno para tensiones de 5KV a 35KV- especificaciones y métodos de prueba.
- [8] Norma IEEE-std.-43-2000, voltajes de prueba de resistencia de aislamiento, a motores.
- [9] Manual de CFE, Pruebas de Campo para equipo primario de subestaciones de distribución.
- [10] Especificación CFE-K000-14, Transformadores y autotransformadores de potencia para subestaciones de distribución.
- [11] Norma Mexicana NMX-J-169-ANCE-2004, Transformadores y autotransformadores de distribución y potencia Métodos de pruebas.

[12] Norma Mexicana NMX-J-123-ANCE-2005, Transformadores- Aceites Minerales Aislantes para Transformadores- Especificaciones, muestreo y Método de Prueba.

[13] Norma ASTM D877, Sociedad Americana de pruebas de Materiales, Método de pruebas al aceite de Transformadores y mínimo valor de rigidez dieléctrica.