



# **UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

División de Ciencias e Ingeniería

**“PRUEBAS A TRANSFORMADORES DE POTENCIA”**

## **TRABAJO MONOGRAFICO**

Para obtener el grado de:

Ingeniero en Sistemas de Energía

### **PRESENTA:**

Marcial Sánchez Alamilla

### **SUPERVISORES:**

M.E.S. Roberto Acosta Olea.  
M.C. Emmanuel Torres Montalvo.  
Ing. Juan Diego Cuevas Domínguez.

Chetumal, Quintana Roo Julio del 2008



# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

Trabajo monográfico elaborado bajo la supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA

COMITÉ DE TRABAJO MONOGRÁFICO

Supervisor: \_\_\_\_\_

**M.E.S. ROBERTO ACOSTA OLEA**

Supervisor: \_\_\_\_\_

**M.C. EMMANUEL TORRES MONTALVO**

Supervisor: \_\_\_\_\_

**ING. JUAN DIEGO CUEVAS DOMINGUEZ.**

**Chetumal, Quintana Roo, México, Julio de 2008**

## DEDICATORIA

### *A mis padres:*

*Que con su comprensión, su apoyo y sus consejos han sido la mayor motivación para lograr cada una de mis metas propuestas.*

### *A mis hermanos y hermanas:*

*Que me alentaron día tras día a ser una mejor persona y continuar preparándome como mejor ser humano y profesionalista.*

### *A mis maestros:*

*Que me proporcionaron la mejor preparación para afrontar los retos futuros. “Si puedo ver más allá del horizonte, es porque estoy parado en hombros de gigantes”; Aristóteles.*

### *A mis amigos:*

*Que siempre me apoyaron para continuar adelante.*

### *Y finalmente a todos aquellos:*

*Quienes directa o indirectamente ayudaron a la obtención de mi objetivo.*

## *AGRADECIMIENTO*

*Porque sin su ayuda este trabajo no sería posible, agradezco ampliamente a todos aquellos que contribuyeron a mi información profesional (profesores y amigos) y a quienes incondicionalmente participaron en esta etapa de mi crecimiento personal y académico.*

*Agradezco al Departamento de la DCI (División de Ciencias e Ingeniería) por ayudarme a imprimir mi monografía.*

*Principalmente agradezco a los profesores:*

*Roberto Acosta Olea, Emmanuel Torres Montalvo y Juan Cuevas Domínguez, que con su colaboración directa como comité de monografía; de manera desinteresada compartieron sus conocimientos y experiencias en la parte final de la carrera alimentándome de ideas y haciendo las correcciones pertinentes a esta obra, que condujeron finalmente a dar forma a la misma.*

# CONTENIDO:

Página

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

## *Capítulo I Introducción.*

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Metodología.....	5
1.3 Objetivo.....	5

## *Capítulo II El transformador de Potencia*

2.1 Funcionamiento del transformador.....	7
2.2 Clasificación.....	8
2.3 Partes constitutivas.....	10
2.4 Tipos de enfriamiento.....	12
2.4.1 Características de las conexiones en los transformadores.....	13
2.4.2 Autotransformador.....	15
2.5 Especificaciones.....	15
2.6 Pruebas a los transformadores de potencia.....	17

## *Capítulo III Pruebas al transformador de potencia.*

3.1 Prueba de factor de potencia a los aislamientos.....	19
3.1.1 Recomendaciones generales para realizar pruebas de factor de potencia del aislamiento .....	20
3.1.2 Conexiones para realizar la prueba.....	21
3.1.3 Interpretación de resultados.....	23
3.2 Prueba de resistencia de aislamiento.....	23
3.2.1 Factores que afectan la prueba.....	24
3.2.2 Recomendaciones para realizar la prueba de resistencia de aislamiento.....	25
3.2.3 Conexiones para realizar la prueba.....	26
3.2.4 Interpretación de resultados de prueba para la evaluación de las condiciones del aislamiento.....	28
3.3 Prueba de resistencia de aislamiento del núcleo.....	30
3.3.1 Recomendaciones para realizar la prueba.....	30
3.3.2 Conexiones para realizar la prueba.....	31
3.3.3 Interpretación de resultados.....	33
3.4 Prueba de corriente de excitación.....	33
3.4.1 Recomendaciones para efectuar la prueba de corriente de excitación.....	33
3.4.2 Factores que afectan a la prueba.....	34
3.4.3 Conexiones para realizar la prueba.....	35
3.4.4 Interpretación de resultados.....	37
3.5 Prueba de relación de transformación.....	37
3.5.1 Recomendaciones generales para la prueba de relación de transformación.....	38
3.5.2 Conexiones para realizar la prueba.....	38

3.5.3 Interpretación de resultados.....	40
3.6 Verificación de impedancia.....	40
3.6.1 Recomendaciones para realizar la prueba.....	41
3.6.2 Conexiones para realizar la prueba.....	42
3.6.3 Interpretación de resultados.....	44
3.7 Prueba de resistencia ohmica a devanados.....	44
3.7.1 Recomendaciones para realizar la prueba de resistencia ohmica de devanados.....	45
3.7.2 Instrucciones para el uso del medidor de resistencia ohmica (puente de wheastone).....	46
3.7.3 Conexiones para realizar la prueba.....	47
3.7.4 Interpretación de resultados.....	48

## *Capítulo IV Conclusiones y Recomendaciones*

Conclusiones.....	49
Recomendaciones.....	50
Bibliografía.....	51
Anexo “A” Fotografías.....	52
Anexo “B” Formatos de pruebas.....	56

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

---

### 1.1 ANTECEDENTES

---

*Para las personas que no están familiarizadas con la electricidad y que de alguna u otra forma hacen uso de ella en la vida cotidiana, les resulta natural encender un foco, accionar una licuadora, conectar una plancha, hacer funcionar un sistema de aire acondicionado, etc. En muchas ocasiones el origen de la fuente que hace funcionar estos equipos parece desapercibido; las centrales eléctricas son el medio por el cual se genera la energía eléctrica requerida por cada usuario. De acuerdo a la fuente primaria de energía, las centrales eléctricas pueden ser: hidroeléctricas, termoeléctricas, geotérmicas o turbo gas. Con el avance tecnológico y la necesidad de aplicar nuevas fuentes de energía sin la dependencia de los hidrocarburos, se da la pauta para la utilización de sistemas no convencionales los cuales emplean la energía del viento, la solar y la biomasa, obteniéndose formas limpias de energía y lo más importante de carácter renovable.*

*En la mayoría de los casos, los centros de producción de la energía eléctrica se encuentran distantes de los centros de consumo, lo que hace necesario que ésta energía se transmita a cientos y en ocasiones a miles de kilómetros. Para transmitir la energía eléctrica de una manera eficiente, es necesario elevar los niveles de voltaje obtenidos en las centrales de generación, a niveles adecuados para su transmisión. Posteriormente en los centros de consumo, los niveles de voltaje se reducen a valores adecuados para su utilización. El proceso de cambio en el nivel de voltaje se realiza empleando transformadores.*



*El transformador es una máquina que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro sin cambio de frecuencia, debido a que es una máquina estática. Esta transferencia de energía se realiza bajo el principio de inducción electromagnética, teniendo circuitos eléctricos aislados entre sí sobre un circuito magnético común.*

*El transformador en su forma más simple está constituido por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro al silicio. El devanado primario de un transformador es aquel, que se encuentra conectado a la fuente de alimentación y el devanado secundario el que se encuentra conectado a la carga, independientemente del voltaje de operación.*

*Debido a la importancia de los transformadores en la transmisión y distribución de la energía eléctrica, es necesario mantenerlos en las mejores condiciones posibles; para ello se deben llevar a cabo diferentes pruebas al equipo.*

*Algunas de estas pruebas son:*

- a) Resistencia dieléctrica del aceite aislante.*
- b) Resistencia de aislamiento.*
- c) Resistencia de aislamiento del núcleo.*
- d) Relación de transformación.*
- e) Polaridad.*
- f) Impulso.*
- g) Factor de potencia*
- h) Prueba de corriente de excitación.*

*Los instrumentos de medición utilizados en estas pruebas dependen del grado de precisión que se desee lograr. Algunos de los equipos empleados son:*

- Megger digital de lectura sostenida de resistencia de aislamiento con un solo pulso.*
- Probador de relación de transformación (TTR).*

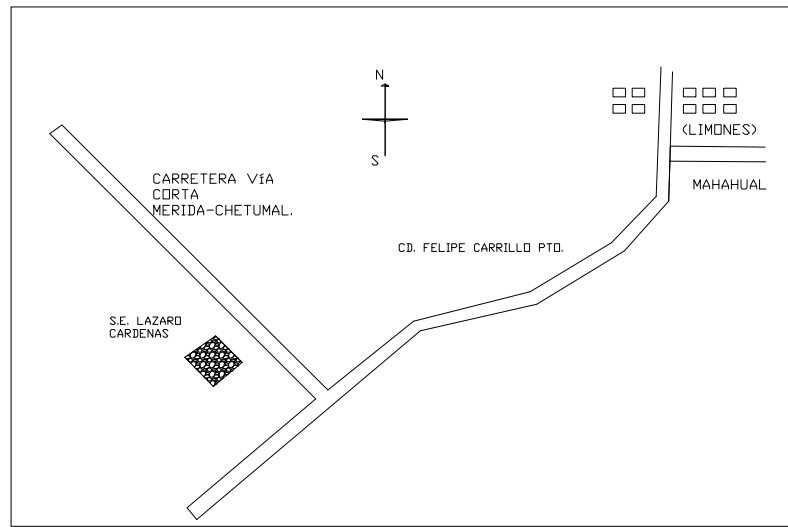
- *Digital Low Resistance Ohmmeters (Ducter)*
- *High-Post Tester (Hi-Pot).*
- *Probador de rigidez dieléctrica del aceite (Probador de copa).*

*Las especificaciones bajo las cuales se realizan las pruebas y las lecturas de los datos obtenidos, están disponibles en las siguientes normas:*

- IEEE C57.12.90-1993 “IEEE Standard test code for liquid-immersed distribution, power and regulating transformers and IEEE guide for short-circuit testing of distribution and power transformers.”*
- IEEE 43-1974.*
- IEEE C57.12.90.*
- NMX-J-123/1-ANCE-1999.*

*En el presente trabajo se documentan las pruebas eléctricas realizadas a un transformador de potencia trifásico de 115,000/34,500 V instalado en la Subestación de Lázaro Cárdenas.*

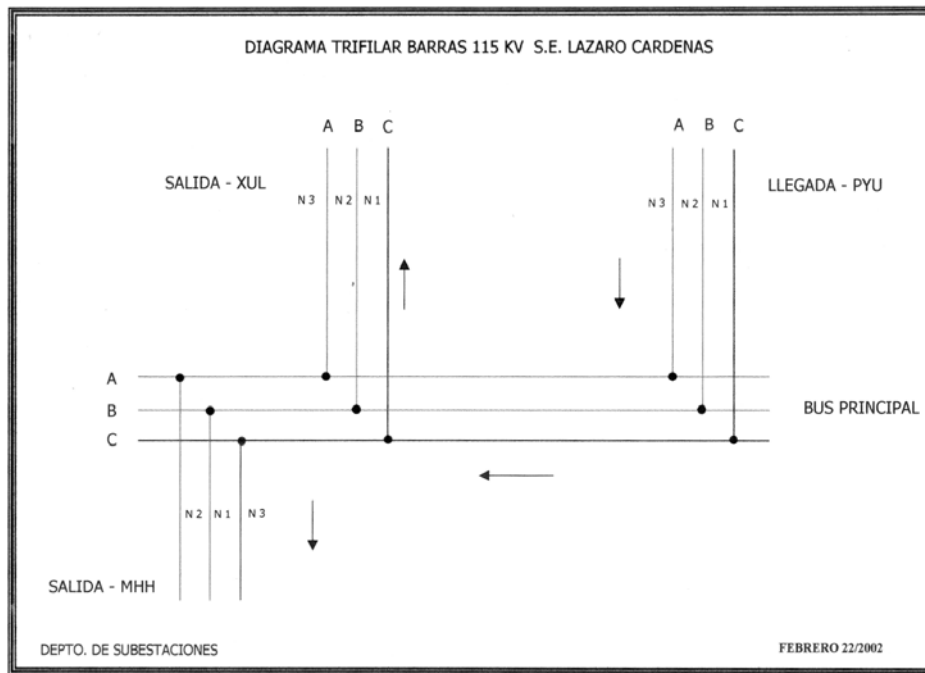
*El terreno donde se ubica la subestación Lázaro Cárdenas se localiza en la zona de distribución Chetumal en la carretera Chetumal a Carrillo Puerto en el tramo Pedro Antonio de los Santos a Lázaro Cárdenas, kilómetro 1 + 210 metros, en el Estado de Quintana Roo. Su ubicación geográfica se muestra en la Figura 1.*



UBICACIÓN GEOGRAFICA.

**Figura 1.** Plano de localización de la Subestación Lázaro Cárdenas.

*La Subestación de Lázaro Cárdenas no contaba con transformadores y solo cumplía con una función de switcheo o de transferencia de líneas, las cuales llegan de la subestación Pol-Yuc, con líneas de 115 KV y sale en dos circuitos hacía las subestaciones de Mahahual y Xul-Ha, ver Figura 2. La subestación de Lázaro Cárdenas fue modificada para cumplir con la demanda creciente del servicio de energía eléctrica, que es necesaria para activar el desarrollo turístico integral de la costa maya localizados en el estado de Quintana Roo.*



**Figura 2.** Diagrama de conexión de la Subestación.

*El presente trabajo monográfico documenta las pruebas eléctricas que se realizan a un transformador de potencia de forma que cumplan con los lineamientos que se indican en las normas americanas IEEE y ANCE-1999; además de cumplir con las especificaciones indicadas por la CFE (Comisión Federal de Electricidad) y en la norma NOM-001-SEDE-2005. Con el propósito de verificar que el transformador a probar se encuentre en las mejores condiciones antes de su puesta en operación.*

## 1.2 METODOLOGÍA

---

*La metodología utilizada fue:*

- 1. Recabar información bibliográfica disponible sobre el tema de pruebas a transformadores de potencia.*
- 2. Consultar las normas establecidas por manuales de la CFE con respecto a los valores aceptables en cada prueba y los procedimientos establecidos.*
- 3. Realizar algunas pruebas al transformador de potencia antes de su puesta en servicio.*

## 1.3 OBJETIVO

---

*El objetivo de este trabajo monográfico es proporcionar una metodología que permita verificar el buen estado de un transformador de potencia antes de su puesta en servicio, mediante pruebas eléctricas que cumplan con los procedimientos establecidos en las normas vigentes.*

# Capítulo II

## EL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

---

En éste capítulo se presenta la definición de un transformador de potencia; incluyendo su clasificación, partes constitutivas, tipos de enfriamiento, conexiones, especificaciones y concluyendo con las pruebas que deben realizarse al transformador.

El transformador es la parte más importante de una subestación eléctrica y puede encontrarse con diferentes niveles de capacidad, como se observa en la Tabla 1.

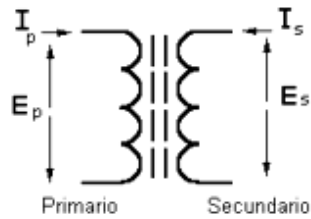
**Tabla 1.-** Clasificación de los transformadores por su capacidad.

CATEGORÍA	CAPACIDAD MÍNIMA EN (KVA)	CAPACIDAD MÍNIMA EN (KVA)
	MONOFÁSICO	TRIFÁSICO
I	5 – 500	15 – 500
II	501 – 1667	501 – 5000
III	1667 – 10000	5001 – 30000
IV	> 10000	> 30000

El transformador es una máquina electromagnética que permite incrementar o disminuir el nivel de voltaje en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia del sistema (50 ó 60Hz). Debido a que es una máquina estática, el transformador prácticamente no requiere mantenimiento; sin embargo, es necesario que los indicadores de presión y aceite se encuentren dentro de rangos de operación normales, con el fin de prevenir fallas.

## 2.1 FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR

---



**Figura 3.** Representación esquemática del transformador.

Como se observa en la Figura 3, si se aplica un voltaje al devanado primario, las variaciones de magnitud y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la corriente. Este campo magnético variable atravesará los conductores del devanado secundario y de acuerdo a la ley de Inducción de Faraday, un voltaje aparecerá en las terminales del devanado secundario.

La relación entre el voltaje primario ( **$E_p$** ), aplicado al devanado primario y el voltaje secundario ( **$E_s$** ), inducido en el devanado secundario, es directamente proporcional a la relación del número de espiras (vueltas) de los devanados primario ( **$N_p$** ) y secundario ( **$N_s$** ); a esta relación se le conoce como “relación de transformación” y está representada con la letra ( **$a$** ).

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} = a$$

Un transformador puede elevar o reducir el voltaje dependiendo del número de espiras de cada devanado. Por ejemplo, si en un transformador elevador se tiene una relación de transformación ( $a$ ) igual a 0.01, y se aplica un voltaje de 230 Volts en el primario la tensión en el devanado secundario será de 23,000 Volts.

En las centrales generadoras, se utilizan con frecuencia los transformadores elevadores; ya que incrementan el nivel de voltaje y reducen la corriente para transportar la energía eléctrica a grandes distancias. Transportar la energía eléctrica con grandes niveles de voltaje y pequeñas corrientes, minimiza las pérdidas de energía, [1].

## 2.2 CLASIFICACIÓN

---

El transformador de potencia se clasifica de manera general:

a) Por la forma del núcleo:

1. -Tipo columna
2. -Tipo acorazado
3. -Tipo radial

b) Por el número de fases:

1. -Monofásico
2. -Trifásico

c) Por el número de devanados:

1. -Dos devanados
2. -Tres devanados

d) Por el tipo de enfriamiento:

1. -OA
2. -OW
3. -OA/FA/FA
4. -FOA
5. -OW/FA
6. -OA/FA/FA



7. -FOW
8. -A/A
9. -AA/FA

(Ver la sección 2.4 “Tipos de enfriamiento”)

e) Por el tipo de regulación (Cambiador de derivaciones)

1. -Fija
2. -Variable sin potencial
3. -Manual con carga
4. -Automática con carga.

En los transformadores tipo columna se manejan dos tipos de bobinas: rectangulares y bobinas circulares. Las bobinas rectangulares son utilizadas en equipos con pequeños valores de KVA y bajos voltajes hasta equipos de 5,000 KVA y 34,500 V. Las bobinas circulares se utilizan en rangos en donde las bobinas rectangulares dejan de aplicarse y van hasta los 50,000 KVA, y en voltajes de hasta 230,000 V.

## 2.3 PARTES CONSTITUTIVAS.

---

El transformador está constituido por tres partes principales:

- a) Parte activa.
- b) Parte pasiva.
- c) Accesorios.

**a) *Parte activa.***- Es un conjunto de elementos separados del tanque principal y estos son:

1. *Núcleo*: constituye el circuito magnético, el cual se fabrica en lámina de acero al silicio, con un espesor que varía de 0.3mm a .5mm.
2. *Bobinas*: conforman el circuito eléctrico, se fabrican utilizando alambre o solera de cobre o bien de aluminio. Los conductores se forran de material aislante, teniendo diferentes características de acuerdo a la tensión de servicio de la bobina, la temperatura y el medio en el que va a estar sumergida. El transformador consta de dos bobinas o grupos de bobinas, las cuales son: bobinas del devanado primario y bobinas del devanado secundario.
3. *Bastidor*: está compuesto por un conjunto de elementos estructurales que rodean el núcleo y las bobinas y su función es de soportar los esfuerzos mecánicos y electromagnéticos que se desarrollan durante la operación del transformador.

**b) *Parte pasiva.***- Consta del tanque donde se aloja la parte activa, se utiliza en los transformadores cuya parte activa va sumergida en líquidos. Las características que debe presentar el tanque son: ser hermético, soportar el vacío absoluto sin presentar deformación permanente, proteger eléctrica y mecánicamente al transformador, ofrecer puntos de apoyo para su transporte y su carga, soportar los enfriadores, bombas de aceite, ventiladores y los accesorios especiales.

**c) Accesorios.-** Los accesorios de un transformador son el conjunto de partes y dispositivos que auxilian en la operación y facilitan las labores de mantenimiento. Algunos de estos son:

1. Tanque conservador.- Es un tanque extra colocado sobre el tanque principal del transformador, cuya función es absorber la expansión del aceite debido a los cambios de temperatura provocados por los incrementos de carga.
2. Boquillas.- Son los aisladores terminales de las bobinas de alta y baja tensión que se utilizan para atravesar el tanque o la tapa del transformador. Además, de ser los elementos que permiten el paso de la corriente a través del transformador, proporcionando un nivel de aislamiento adecuado sin ocasionar fugas indebidas.
3. Tanque principal.- Contiene tanto a los elementos internos como externos, en este recae todo el peso del transformador, además de disipar el calor producido durante la operación del transformador. Está diseñado para soportar un vacío absoluto y una presión absoluta de 1 Kg/cm<sup>2</sup>.
4. Radiadores.- Es parte del sistema de enfriamiento, a través de sus serpentines, pasa el aceite caliente para ser enfriado ya sea por ventilación natural o aire forzado.
5. Medio refrigerante.- Debe ser un buen conductor de calor para su disipación hacia el medio ambiente, además de tener propiedades dieléctricas. El mas empleado es el aceite mineral, sin embargo existen otros en el mercado los cuales pueden reemplazar a este último; entre ellos está el aceite silicónico y el MIDEL 7131.
6. Cambiador de derivaciones.- Regulan la tensión del transformador; debido a las variaciones de tensión que puede haber en la red de distribución el transformador se provee de un cambiador de derivación de tal forma que pueda aumentar o disminuir el número de espiras y en consecuencia la relación de transformación dentro de los límites establecidos que son del 5% de la capacidad del transformador.

7. Relé buchholz.- Se encuentra entre el tanque principal y el tanque conservador; es un dispositivo que permite el paso del aceite de un tanque a otro, con el fin de proteger al equipo de posibles fugas de aceite.
8. Indicador de nivel.- Es un dispositivo de alarma y sirve para indicarnos que el nivel de aceite del tanque principal se encuentra normal. También se cuenta con un indicador de temperatura y uno de presión.
9. Termómetro.- Es uno de los indicadores que censa en todo momento la temperatura en los devanados del transformador; con el fin de evitar sobrecalentamientos.

#### 2.4 TIPOS DE ENFRIAMIENTO [2].

---

Cuando un transformador se encuentra en operación, circula una corriente a través de sus devanados la cual genera un calentamiento (efecto Joule); este calor generado debe ser disipado para tener un mejor rendimiento el equipo y para lo cual es necesario contar con un sistema de enfriamiento. Para los transformadores de potencia existen diferentes tipos de enfriamiento, comúnmente se utiliza la siguiente nomenclatura:

O – Enfriamiento por aceite.

A – Enfriamiento por aire.

FOA – Enfriamiento por aire y aceite forzados.

OA/FA – En este caso el transformador sumergido en aceite tiene su primera etapa de enfriamiento por el aceite y aire; y en segunda etapa se suministra aire forzado.

OA/FA/FOA – Transformador sumergido en aceite con enfriamiento propio en la primera etapa, en la segunda etapa tiene aire forzado y en la tercera etapa su enfriamiento consiste en aire y aceite forzados.

OW – Consiste en un transformador sumergido en aceite, enfriado con agua; en este tipo de enfriamiento el agua es conducida a través de serpentines.

---

#### 2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CONEXIONES EN LOS TRANSFORMADORES.

---

Los devanados del transformador pueden conectarse en diversas maneras como se ilustra en la Figura 4, algunas de sus características más importantes son:

a) Estrella-estrella: Esta conexión se usa cuando se requiere alimentar grandes cargas monofásicas e forma simultánea con cargas trifásicas. También se usa solo si el neutro del primario se puede conectar sólidamente al neutro de la fuente de alimentación ya sea con un neutro común o a través de la tierra.

- Aislamiento mínimo.
- Cantidad de cobre mínimo.
- Circuito económico para baja carga y alto voltaje.
- Los dos neutros son accesibles.
- Alta capacitancia entre espiras, que reduce los esfuerzos dieléctricos durante los transitorios debidos a la tensión.
- Neutros inestables, si no se conectan a tierra.

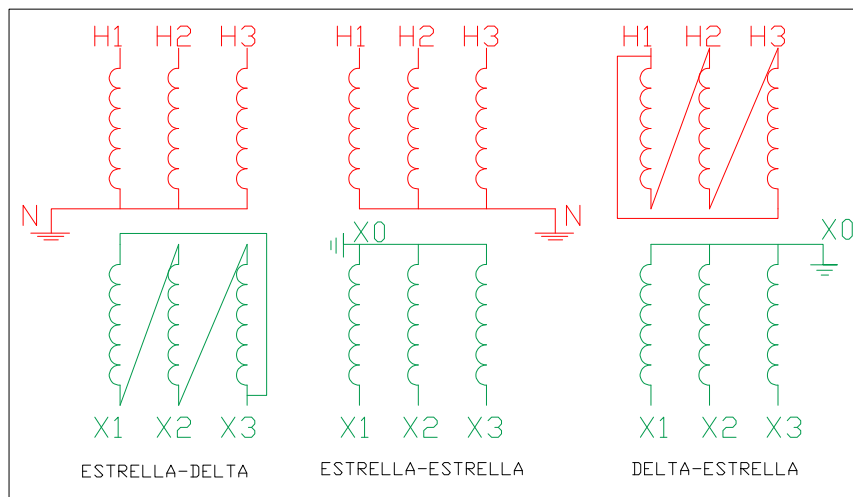
b) Delta-delta.- Es una conexión raramente usada, se utiliza en tensiones bajas y medias. Sus características son:

- En caso de que a un banco de transformadores se le dañe una fase, se puede operar utilizando la conexión delta abierta o V.
- Circuito económico para alta carga y bajo voltaje.

- No se pueden conectar a tierra los puntos neutros. Se necesita utilizar un banco de tierra, lo cual encarece más el banco.
- Se necesitan mayores cantidades de aislamiento y cobre.
- La conexión delta se usa con aislamiento total y rara vez se usa para tensiones superiores a 138KV por el alto costo del aislamiento.

c) Delta-estrella.- Se acostumbra utilizar en transformadores reductores de tensión. Sus características son:

- Al aterrizar el neutro del secundario se aíslan las corrientes de tierra de secuencia cero.
- La conexión estrella se usa con aislamiento graduado hasta el valor de la tensión del neutro.



**Figura. 4** Conexiones típicas de un transformador de potencia.

---

### 2.4.2 AUTOTRANSFORMADOR.

---

Otro tipo de transformador es el denominado autotransformador, el cual se emplea cuando la relación de transformación es menor de dos. Es más económico que el transformador de potencia; sus características son:

- Menor tamaño, peso y costo.
- Como la impedancia entre primario y secundario es menor que un transformador, se presenta una posibilidad mayor de fallas.
- Debido a que solo existe una bobina, el devanado de baja tensión también debe soportar las sobretensiones que recibe el devanado de alta tensión.
- Las conexiones en el primario y secundario deben ser siempre iguales, o sea estrella- estrella o delta-delta, estas últimas no son usuales.

---

### 2.5 ESPECIFICACIONES

---

En las especificaciones se encuentran los datos y características de operación del transformador, las cuales se basan en normas nacionales e internacionales y se encuentran en los catálogos de los fabricantes.

Las especificaciones más importantes son visibles en los datos de placa del transformador, algunas de estas son:

1. Números de fases.
2. Capacidad en KVA ó MVA.
3. Frecuencia.
4. Voltaje y nivel de aislamiento de sus diferentes devanados.
5. Conexiones de cada devanado (en caso de tres fases).
6. Elevación de temperatura.
7. Altura de operación.
8. Medio de refrigeración o enfriamiento.

- 9. Dimensiones y peso.
- 10. Valor o valores de impedancia.
- 11. Equipo complementario.

A continuación se proporcionan los datos de placa tomados de un transformador trifásico típico de usos propios empleado en una subestación de distribución:

- A. Potencia Nominal 25 KVA
- B. Frecuencia 60Hz
- C. Tensión nominal primaria 13800 V con regulación de +/- 5%.
- D. Tensión nominal secundaria 220 V

Las características nominales de los aislamientos son los siguientes:

- E. Tensión máxima de diseño 15 KV.
- F. Nivel básico de aislamiento al impulso de rayo en alta tensión (con onda de 1.2/50 microsegundos.) 95 KV.
- G. Conexión del devanado primario, DELTA.
- H. Conexión del devanado secundario, (estrella con neutro aterrizado).

Se fijan como datos de diseño los siguientes:

- I. Pérdidas en los devanados a 75°C y 60 Hz, 600 W
- J. Impedancia 5%.
- K. Temperatura media de los devanados (65°C) y máxima del aceite; 60°C.

“Todos los datos mencionados anteriormente sirven como puntos de referencia para las pruebas que se realizan al transformador; sirviendo como parámetros para comparar los resultados obtenidos en campo”



## 2.6 PRUEBAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA

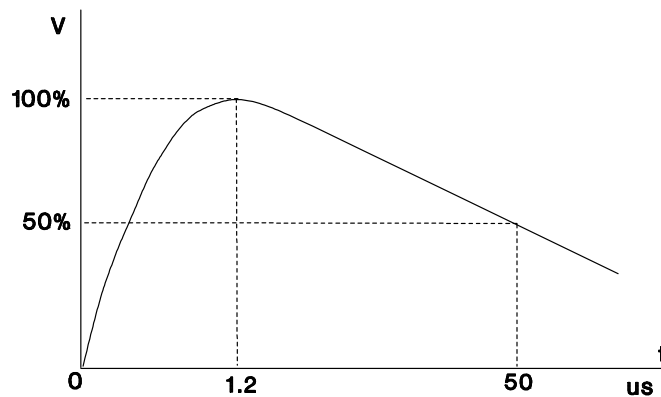
---

Las pruebas mínimas que se efectúan a los transformadores antes de salida de la fábrica son, [4]:

- A. Inspección del equipo. Se verifica el cumplimiento de las normas y las especificaciones del transformador (datos de placa del equipo) en base a pruebas electromecánicas.
- B. Aceite aislante. Se practican pruebas de rigidez dieléctrica y la acidez.
- C. Resistencia de aislamiento. Para realizar esta prueba, se utiliza un megger con una tensión de 1000 a 5000 V durante un minuto (de preferencia se emplean 5000 Volts para transformadores con capacidades de más de 150 KVA), corrigiendo la lectura a 20°C. La medición se efectúa en tres pasos: primero se mide la resistencia de los devanados entre alta y baja tensión, después se mide entre alta tensión y tierra, y finalmente, entre baja tensión y tierra.
- D. Inspección del alambrado de control. Se comprueba la continuidad y la operación de los circuitos de control, protección, medición, señalización, sistema de enfriamiento, cambiador de derivaciones y transformadores de instrumentos.
- E. Relación de transformación. Esta prueba se efectúa para determinar que las bobinas han sido fabricadas, de acuerdo con el diseño y con el número de vueltas exacto.
- F. Polaridad. Se requiere su comprobación para efectuar la conexión adecuada de los bancos de transformadores.
- G. Impulso. La prueba de impulso por rayo, consiste en simular en el Laboratorio las condiciones de falla provocadas por descargas atmosféricas en los equipos y sirve para verificar la resistencia de un aislamiento.

La curva característica que se asemeja a las condiciones de una descarga atmosférica, es aquella que obtiene su máximo valor de tensión en un tiempo de

1.2 microsegundos y decrece al 50% del valor de tensión en un tiempo de 50 microsegundos, a esta curva se le llama onda completa, esto se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Onda completa, 1.2 x 50 microsegundos.

H.- Prueba de potencial aplicado. Consiste en aplicar al equipo un voltaje a la frecuencia de operación del sistema, cuyo valor varía de acuerdo a lo indicado en la norma correspondiente para cada nivel de voltaje (de 180% al 300% del voltaje nominal), su duración es de un minuto.

## Capítulo III

### PRUEBAS AL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

En este capítulo se documentan las pruebas de campo que se realizan al transformador de potencia, junto con una breve pero suficiente descripción del procedimiento y un dibujo esquemático de las conexiones que deben realizarse para llevar a cabo dichas pruebas satisfactoriamente.

Las pruebas al transformador de potencia, son la base para verificar que el equipo cumpla los criterios de aceptación. Se consideran pruebas eléctricas aquellas que determinan las condiciones en que se encuentra el equipo eléctrico para determinar su operatividad.

Las pruebas que se describen a continuación son conocidas como pruebas de aceptación (Norma NMX-J-169-ANCE-2004 "Tipos de Prueba" pg. 2/91); son aquellas pruebas establecidas en un contrato que demuestran al usuario que el producto cumple con las normas y especificaciones correspondientes. Se realiza al equipo en campo después de haber sido: instalado, ajustado, secado, etc., con la finalidad de verificar su condición y decidir si entra o no en operación.

### 3.1 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A LOS AISLAMIENTOS.

El Factor de Potencia del aislamiento es otra manera de evaluar y juzgar las condiciones del aislamiento de los devanados del transformador de potencia, esta prueba también es aplicada para autotransformadores y reactores; se emplea para detectar humedad y suciedad en los mismos.

Los equipos que se utilizan para llevar a cabo la prueba, pueden ser de las marcas: James G. Biddle, Nansen y Doble Engineering Co., de esta última, en sus modelos MEU-2.5 KV y M2H-10 KV, M4000-10KV, el ETP de SMC-10KV, Delta 2000 de AVO entre otros. El equipo seleccionado para la prueba fue el M2H-10 KV ya que su lectura es confiable y es de costo accesible. El voltaje que se debe utilizar para la prueba del factor de potencia es de 10,000 V y esto aplica en la mayoría de los transformadores de potencia.

Como el factor de potencia aumenta directamente con la temperatura del transformador, se deben referir los resultados a una temperatura base de 20°C, para fines de comparación.

---

### 3.1.1 RECOMENDACIONES GENERALES PARA REALIZAR PRUEBAS DE FACTOR DE POTENCIA DEL AISLAMIENTO.

---

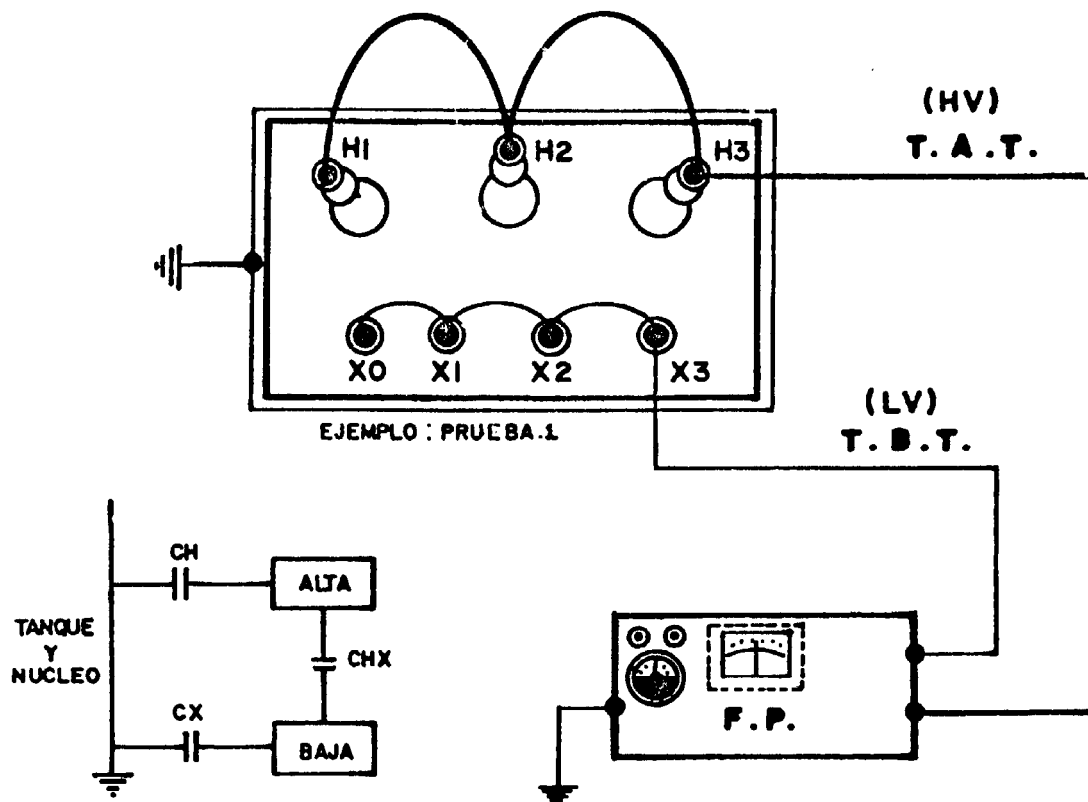
- a) Una de las recomendaciones más importantes es asegurarse que el equipo este aterrizado o conectado a tierra, antes de realizar las pruebas eléctricas al transformador.
- b) El instrumento de prueba se debe colocar sobre una base firme y nivelada a una distancia tal del transformador, que permita el buen manejo de los cables de prueba.
- c) Se conecta el medidor a la fuente de alimentación y se opera hasta alcanzar el rango del voltaje de prueba (10 KV), después se debe reducir a cero, con la finalidad de verificar la fuente de poder del medidor.
- d) El transformador debe aislarse totalmente de los buses o barras, líneas y la superficie de las boquillas deben de estar limpias y secas.
- e) Desconectar todas las terminales de boquillas.
- f) Desconectar los neutros de los devanados del sistema de tierra.
- g) Colocar puentes entre las terminales de las boquillas de cada devanado: primario, secundario y terciario, si éste es el caso.
- h) Las unidades equipadas con cambiadores bajo carga deben colocarse en la posición nominal.
- i) Preferentemente se debe efectuar las pruebas cuando la humedad relativa sea menor de 75%.

---

### 3.1.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

---

Una vez listo el medidor, se conectan las terminales de prueba del equipo al transformador. La terminal de alta tensión del medidor, se conecta al devanado por probar y la terminal de baja tensión a otro devanado. En la Figura 6, se indican las conexiones de los circuitos de pruebas de factor de potencia para un transformador de 2 devanados.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA			MIDE
	T. A . T	T. B . T	SELECTOR	
1	H	X	GROUND	CH + CHX
2	H	X	GUARDA	CH
3	X	H	GROUND	CX + CHX
4	X	H	GUARDA	CX
5	H	X	UST	CHX

Figura 6. Conexiones para la prueba de factor de potencia del aislamiento a transformadores de dos devanados.

### 3.1.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

*El criterio a utilizar para considerar un valor de Factor de Potencia aceptable, para un transformador de potencia con aislamiento clase "A" y sumergido en aceite es de 0.5 a 1.0 % de FP a una temperatura de 20°C. Esto es en base a la norma interna utilizada por CFE.*

*Para valores mayores al 1 % de Factor de Potencia, se recomienda investigar la causa, que puede originarse por degradación del aceite aislante, humedad o suciedad en los aislamientos o por posible deficiencia de alguna de las boquillas. La revisión estadística de valores obtenidos en pruebas anteriores, se hace con el objeto de analizar la tendencia del comportamiento de los valores. Si se detecta que éstos se han ido incrementando, se debe programar un mantenimiento general.*

---

### 3.2 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

---

Esta prueba es de gran utilidad para dar una idea rápida y confiable de las condiciones del aislamiento total del transformador bajo prueba.

La resistencia de aislamiento se define como la oposición al paso de una corriente eléctrica que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado, medido a partir de la aplicación del mismo y generalmente expresada en Megaohms, Gigaohms o Teraohms.

Se recomienda realizar las pruebas al transformador con una tensión mínima de 5,000 V durante 10 minutos; (esta tensión se puede usar en todos los transformadores).

---

#### 3.2.1 FACTORES QUE AFECTAN LA PRUEBA

---

Entre los factores que afectan la prueba y tienden a reducir la resistencia de aislamiento de una manera notable son: la suciedad, la humedad relativa, la temperatura y la inducción electromagnética. Con respecto a la suciedad es necesario eliminar toda materia extraña (polvo, carbón, aceite, etc.) que este depositada en la superficie del aislamiento; para la humedad se recomienda efectuar las pruebas a una temperatura superior a la de rocío. La temperatura base recomendada es de 20°C para transformadores y 40°C para máquinas rotatorias. Para equipos a probar, que se encuentren bajo el efecto de inducción electromagnética, es necesario acondicionar un blindaje para drenar a tierra las corrientes inducidas que afectan a la prueba.

Una forma práctica para el blindaje, es utilizar malla metálica multiaterrizada (jaula de Faraday) sobre el equipo, soportada con material aislante. Para realizar lo anterior, se deben tomar las medidas estrictas de seguridad por la proximidad con otros equipos energizados.

Otro factor que afecta las mediciones de resistencia de aislamiento y absorción dieléctrica es la presencia de carga previa en el aislamiento. Esta carga puede originarse porque el equipo trabaja aislado de tierra o por una aplicación del voltaje de C.D. en una prueba anterior. Por tanto es necesario que antes de efectuar las pruebas los aislamientos se descarguen mediante una conexión a tierra.



---

### 3.2.2 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO.

---

- a) Limpiar perfectamente la porcelana de las boquillas quitando el polvo, suciedad, etc.
- b) Desconectar los neutros de los devanados del sistema de tierra.
- c) Colocar puentes entre las terminales de las boquillas de cada devanado: primario, secundario y terciario, si éste es el caso.
- d) Nivelar el medidor centrando la burbuja con los tornillos de ajuste.
- e) Conectar adecuadamente las terminales de prueba al transformador y encender el medidor, luego girar el selector a la posición TEST hasta el valor de voltaje preseleccionado.

En medidores de resistencia de aislamiento de alto rango, se recomienda usar cable de prueba blindado en la terminal de Línea y conectar su blindaje a la terminal de guarda, para no medir la corriente de fuga en las terminales o a través del aislamiento del cable.

- f) Para cada prueba anotar las lecturas de 15, 30, 45 y 60 segundos, así como a 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 minutos.
- g) Al terminar la prueba, ponga fuera de servicio el instrumento, regresando el selector a la posición de Discharge y aterrice la parte del equipo probado durante un tiempo mas o menos igual al de la prueba. Con el selector en Discharge se completa, a través de conexiones internas del instrumento, un circuito de descarga para la parte probada.
- h) Se registra el porcentaje de humedad relativa. De preferencia efectuar las pruebas cuando la humedad sea menor de 75%.
- i) Se registra la temperatura del aceite y del devanado .

---

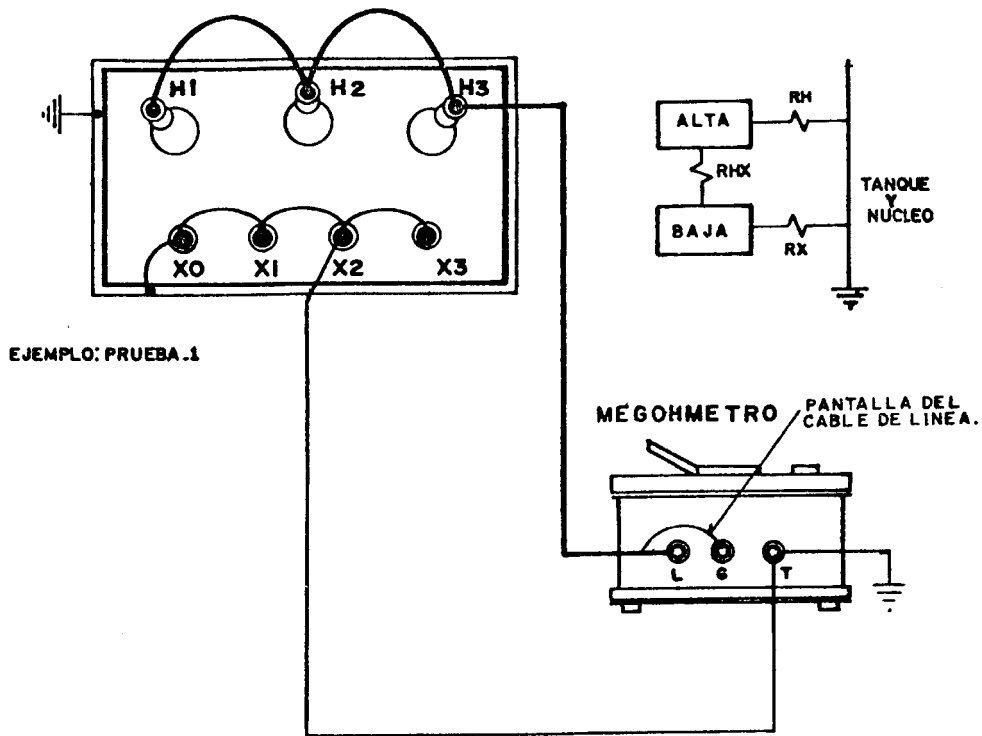
### 3.2.3 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

---

Al efectuar las pruebas de resistencia de aislamiento a los transformadores, hay diferentes criterios en cuanto al uso de la terminal de guarda del medidor. El propósito de la terminal de guarda es efectuar mediciones en mallas con tres elementos, (devanado de A.T., devanado de B.T. y tanque), y puede decirse que la corriente de fuga de un sistema de aislamiento conectada a esa terminal, no interviene en la medición.

Si no se desea utilizar la terminal de guarda del medidor, el tercer elemento se conecta a través del tanque a la terminal de tierra del medidor, la corriente de fuga solamente tendrá la trayectoria del devanado en prueba a tierra.

Con el objeto de unificar la manera de probar los transformadores de potencia, y para fines prácticos, en éste procedimiento se considera la utilización de la terminal de guarda del medidor. Lo anterior permite ignorar aquellos elementos y partes que no se desean que intervengan en las mediciones, resultando estas más precisas y confiables. Las conexiones para transformadores de 2 devanados, se muestra en la Figura 7.



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

Nota: El tanque debe estar aterrizado. Tq = Tanque

**Figura 7.** Conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento a transformadores de dos devanados.

### 3.2.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS DE PRUEBA PARA LA EVALUACION DE LAS CONDICIONES DEL AISLAMIENTO.

Para evaluar las condiciones del aislamiento de los transformadores de potencia, es conveniente analizar la tendencia de los valores que se obtengan en las pruebas periódicas, con la finalidad de facilitar este análisis se recomienda graficar las lecturas, (Tablas 3 y 4) para obtener las curvas de absorción dieléctrica. La pendiente de las curvas indican las condiciones del aislamiento, una pendiente baja indica que el aislamiento esta húmedo o sucio. Las pruebas deben hacerse al mismo potencial, las lecturas corregidas a una misma base (20°C) y en lo posible, efectuar las pruebas bajo las mismas condiciones ambientales. El envejecimiento de los aislamiento o la falta de mantenimiento provocan un aumento en la corriente de absorción que toma el aislamiento y se detecta con un decremento gradual de la resistencia de aislamiento. En la Tabla 3, se proporcionan los valores mínimos de resistencia de aislamiento a 20°C de los transformadores según su voltaje de operación. En la Tabla 4, se proporcionan los factores de corrección por temperatura.

**Tabla 3.** Resistencia mínima de aislamiento en aceite a 20°C.

<u>VOLTAJE ENTRE FASES KV.</u>	<u>MEGAOHMS</u>	<u>VOLTAJE ENTRE FASES KV.</u>	<u>MEGAOHMS</u>
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
34.5	930	287	7750
69.0	1860	400	

**Tabla 4.** Corrección por temperatura para resistencia de aislamiento.

TEMPERATURA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR °C	FACTOR DE CORRECCION	TEMPERATURA DEL ACEITE DEL TRANSFORMADOR °C	FACTOR DE CORRECCION
95	89	35	2.5
90	66	30	.8
85	49	25	1.3
80	36.2	20	1.0
75	26.8	15	0.73
70	20	10	0.54
65	14.8	5	0.40
60	11	0	0.30
55	8.1	-5	0.22
50	6	-10	0.16
45	4.5	-15	0.12
40	3.3	-	-

### 3.3 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL NÚCLEO.

---

La prueba se realiza a transformadores que se preparan para su puesta en servicio, con el objeto de verificar la resistencia de aislamiento del núcleo y su correcto aterrizamiento en un solo punto, comprobando al mismo tiempo la adecuada geometría del núcleo y asegurando que no exista desplazamiento del mismo durante las maniobras de transporte. La prueba es aplicable también a transformadores en operación que presenten sobrecalentamiento sin llegar a su capacidad nominal. Para realizar la prueba se utiliza un medidor de resistencia de aislamiento, aplicando un voltaje de 2000 V durante un minuto (Norma NMX-J-169-ANCE-2004 “Tension aplicada” pg.78/91).

---

#### 3.3.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

---

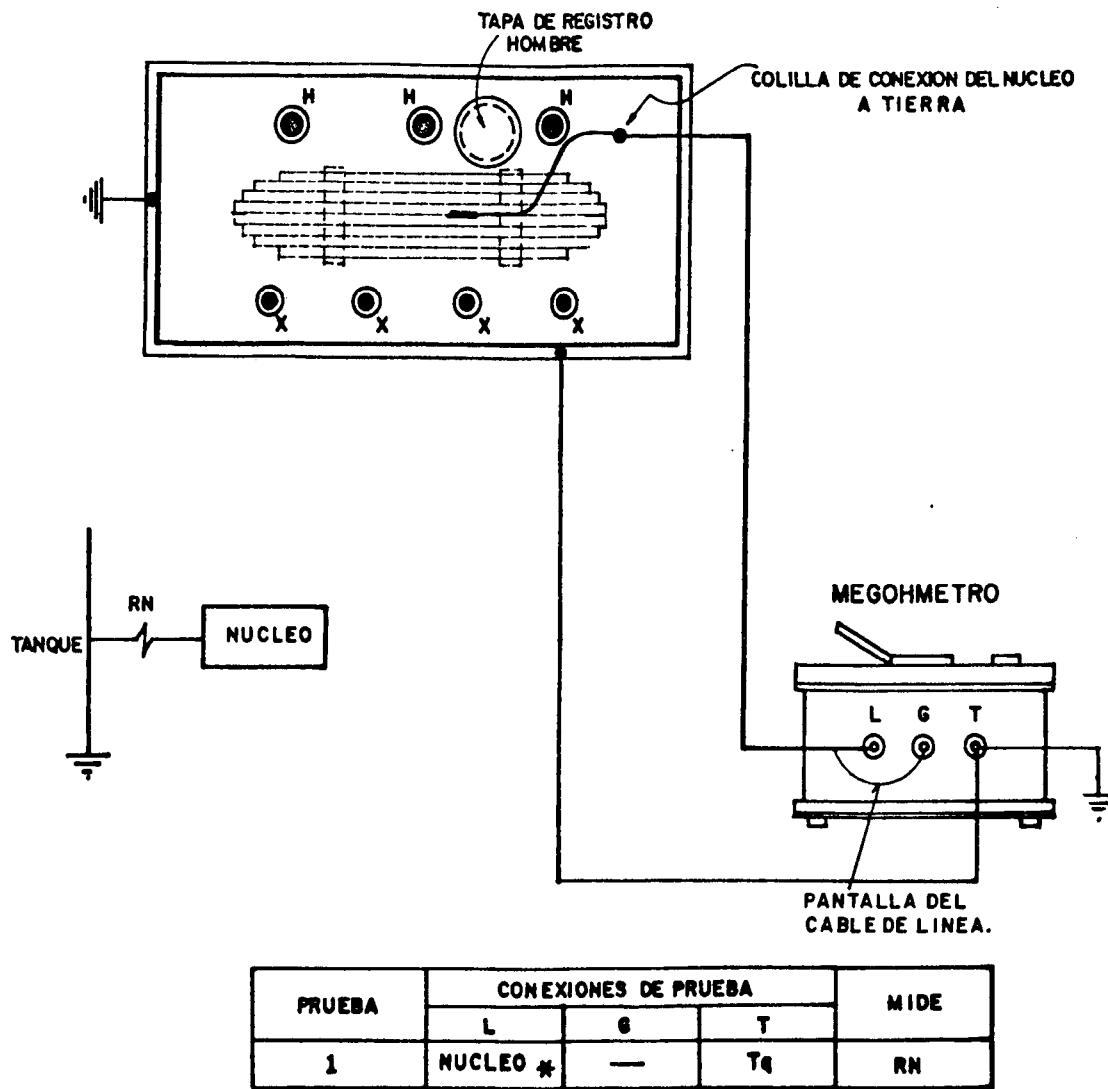
- a) Una de las recomendaciones mas importantes es asegurarse que el equipo este aterrizado o conectado a tierra, antes de realizar las pruebas eléctricas al transformador.
- b) En transformadores llenos de aceite, se debe reducir el nivel a lo necesario para tener acceso a la conexión del núcleo y al tanque; si el transformador tiene presión de nitrógeno, se debe liberar por seguridad al personal.
- c) Se retira la tapa del registro (entrada-hombre).
- d) Luego se desconecta la conexión a tierra del núcleo (generalmente se localiza en la parte superior del tanque).
- e) Por último se prepara el equipo de prueba.

---

### 3.3.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

---

- a) Conectar la terminal de línea del Megger al núcleo.
- b) Luego se conecta la terminal de tierra del Megger al tanque del transformador.
- c) Se opera el medidor y después de pasado un minuto, se registra el valor de la resistencia.
- d) Las conexiones de prueba se muestra en la Figura 8.



\* para la prueba, la colilla que aterriza el nucleo debe de desconectarse de la tapa del transformador.

Nota: El tanque debe estar aterrizado.

tq = tanque

**Figura 8.** Prueba de resistencia de aislamiento del núcleo en transformadores de potencia.



---

### 3.3.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

---

*“El valor de la resistencia de aislamiento del núcleo, debe ser conforme a lo establecido en la especificación CFE K0000-06 TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE 10 MVA Y MAYORES, esto es mayor a 200 Megaohms a 1000 V de corriente directa para considerarlo satisfactorio”.*

---

### 3.4 PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN.

---

La prueba de Corriente de Excitación en los transformadores de potencia permite detectar daños o cambios en la geometría del núcleo y devanados; así como espiras en cortocircuito y juntas o terminales con mala calidad desde su construcción. Las pruebas de corriente de excitación se realizan con el medidor de factor de potencia que se disponga.

---

#### 3.4.1 RECOMENDACIONES PARA EFECTUAR LA PRUEBA DE CORRIENTE DE EXCITACIÓN.

---

- a) Una de las recomendaciones mas importantes es asegurarse que el equipo este aterrizado o conectado a tierra, antes de realizar las pruebas eléctricas al transformador.
- b) Se desenergiza y desconecta de sus terminales externas todas las boquillas del transformador.
- c) Todas las pruebas de corriente de excitación deben efectuarse en el devanado de más alto voltaje.

d) Cada devanado debe medirse en dos direcciones, es decir, primero se energiza una terminal y se registran sus lecturas; enseguida se energiza la otra terminal registrando también sus lecturas, esto es con la finalidad de verificar la prueba.

e) Se revisa que los devanados no energizados en la prueba estén libres de toda proximidad con el personal, cables, etc.; en virtud de que al energizar el devanado bajo prueba se puede inducir un potencial en el resto de los devanados.

El voltaje de prueba de los transformadores, no debe exceder al valor del voltaje nominal del devanado bajo prueba.

g) Antes de efectuar cualquier medición se debe ajustar el voltaje de prueba con el selector en posición Check y verificar que se establezca la aguja del medidor.

h) Si el punto anterior no se cumple, puede deberse a que exista un fuerte magnetismo remanente por lo que se recomienda desmagnetizar el núcleo de acuerdo con el tipo de conexión que se tenga en el devanado primario. Otra causa de inestabilidad de la aguja puede deberse a interferencia electromagnética.

---

### 3.4.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA PRUEBA.

---

De acuerdo con experiencias en las pruebas de corriente de excitación, las lecturas son afectadas en forma relevante por flujo magnético remanente en el núcleo del transformador bajo prueba. Este flujo magnético es indeseable por dos razones:

1.- Al energizar de nueva cuenta un transformador con magnetismo remanente, la corriente de arranque aumenta considerablemente.

2.- Puede originar valores anormales de corriente de excitación durante las pruebas, al analizar las condiciones de los devanados o alguno en especial.

El método más empleado para eliminar el magnetismo remanente es la aplicación de una corriente directa, inversa al sentido del devanado. Este método se basa en utilizar corrientes altas las cuales pueden ser obtenidas con acumuladores, aprovechando la baja resistencia óhmica de los devanados del transformador.

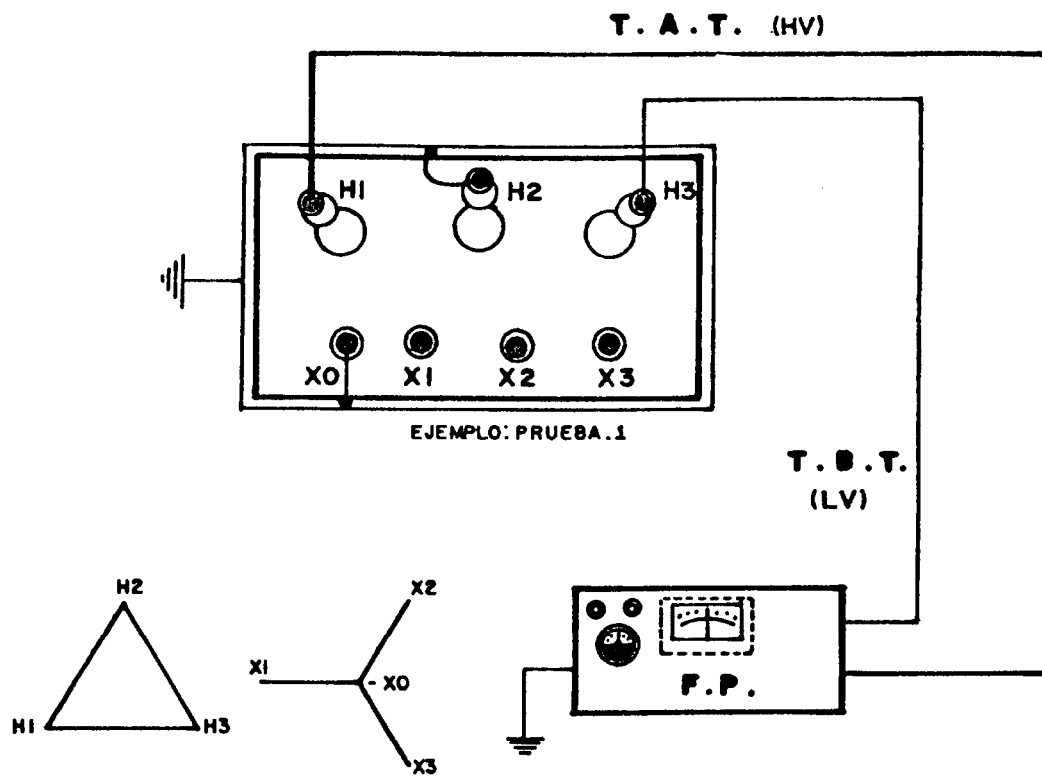
La ventaja de éste método, es que podemos aplicar voltajes de 6, 12 ó 24 V que normalmente se utilizan en acumuladores de automóvil o equipos de tracción, por lo tanto estas fuentes de alimentación se consiguen fácilmente.

---

### 3.4.3 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

---

En la Figura 9, se muestran las conexiones de prueba de corriente de excitación para transformadores de dos devanados. Las pruebas se realizan con el selector (LV) en la posición de UST. El medidor MEU-2.5, proporciona el resultado en mVA que dividido entre el voltaje de prueba de 2500 volts, se obtendrá la corriente de excitación. Algunos medidores como el M2H-10 y el M4000 dan su lectura en mA directamente.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	T. A. T.	T. B. T.	ATERRIZAR	SELECTOR	
1	H1	H3	H2, X0	UST	I A-C
2	H2	H1	H3, X0	UST	I B-A
3	H3	H2	H1, X0	UST	I C-B

Nota: el tanque debe estar aterrizado

**Figura 9.** Conexiones para la prueba de corriente de excitación a transformadores de dos devanados.

---

#### 3.4.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

---

Una corriente excesiva puede deberse a un corto circuito entre dos o varias espiras del devanado cuyo valor se adiciona a la corriente normal de excitación. También el exceso de corriente puede deberse a defectos dentro del circuito magnético como pueden ser: fallas en el aislamiento de los tornillos de sujeción del núcleo o aislamiento entre laminaciones.

Otra manera para evaluar los resultados de las pruebas cuando los transformadores tienen devanados en conexión delta es; que la fase central (H2-H1), se obtenga una corriente de aproximadamente la mitad del valor de las fases adyacentes (H1-H3), (H3-H2).

Para transformadores que tienen conexión estrella, la corriente obtenida en la fase central (H2-H0), es ligeramente menor que las corrientes de excitación obtenidas en las fases adyacentes (H1-H0), (H3-H0).

---

#### 3.5 PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.

---

Esta prueba se encarga de verificar la relación de transformación en todas las posiciones del cambiador de derivaciones (taps) durante la puesta en servicio. La prueba permite:

- La determinación de condiciones reales del transformador después de la operación de protecciones primarias tales como: diferencial, buchholz, fusibles de potencia, etc.
- Identificación de espiras en corto circuito.

- Investigación de problemas relacionados con corrientes circulantes y distribución de carga en transformadores en paralelo.
- Determinación de cantidad de espiras en bobinas de transformadores.

---

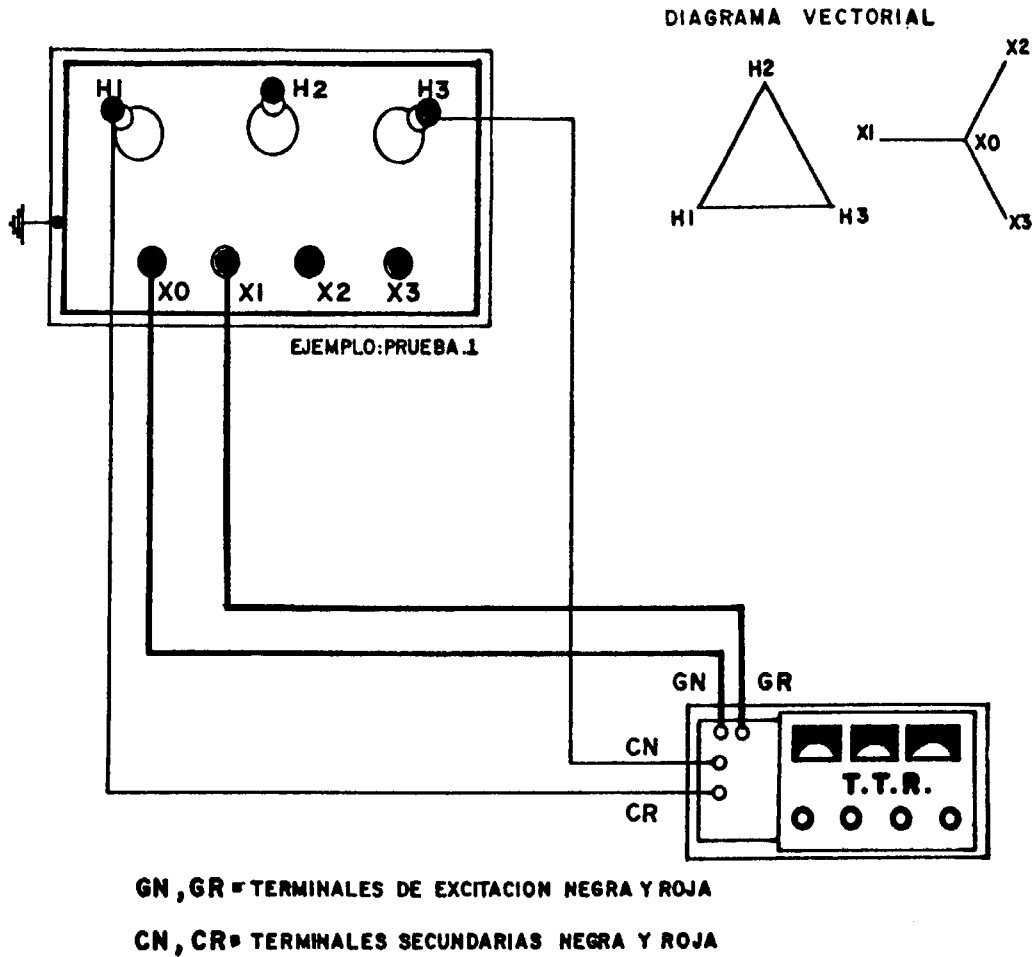
### 3.5.1 RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.

---

- a) Librar el equipo completamente y asegurarse de que se encuentren abiertas las cuchillas seccionadoras correspondientes, desconectando las terminales de las boquillas de la línea.
- b) Se calcula la relación teórica, tomando en cuenta que la relación a medir es por fase correspondiente de alta y baja tensión de los transformadores trifásicos.
- c) Conectar las terminales de excitación del TTR GN y GR al devanado de baja tensión del transformador bajo prueba, y las terminales secundarias CN y CR se deberán conectar al devanado de alta tensión. (Solo para probadores monofasicos manuales-analogicos y digitales)
- d) Accionar la manivela manteniendo 8 V de excitación y operar los selectores de menor rango hasta lograr la deflexión nula en el galvanómetro. (Solo para probadores monofasicos manuales-analogicos)
- e) Hacer las mediciones y registrar las lecturas en el formato correspondiente.
- f) Al terminar la prueba, poner fuera de servicio el medidor y aterrizar el equipo objeto del ensayo.

### 3.5.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la Figura 10, se presentan los diagramas de conexión de circuitos de prueba de transformadores utilizando medidores manuales-analogicos o digitales.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA				MIDE
	CR	CN	GR	GN	
1	H1	H3	X1	X0	SA
2	H2	H1	X2	X0	SB
3	H3	H2	X3	X0	SC

Nota: El tanque debe estar aterrizado.

**Figura 10.** Conexiones para la prueba de relación de transformación a transformadores de dos devanados.

---

### 3.5.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

---

*Para medidores manuales-analogicos, si la aguja del amperimetro se deflexiona a plena escala y la aguja del voltmetro no se aprecia deflexión, es indicación que el transformador bajo prueba esta tomando mucha corriente de excitación; se notara que la manivela resulta difícil de girar, hay razón para sospechar de un corto circuito.*

*Independientemente del método de prueba utilizado, para calcular la diferencia entre la relación teórica y la relación medida, se utiliza la siguiente fórmula:*

$$\% \text{ Diferencia} = (\text{Rel. Teórica} - \text{Rel. Medida}) \times 100 / \text{Rel. Teórica}$$

*El criterio establecido por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), indica que el valor máximo de diferencia permitido es de 0.4%. Sin embargo en la normativa internacional se aceptan diferencias hasta de 0.5% .*

---

### 3.6 VERIFICACIÓN DE IMPEDANCIA.

---

La prueba de verificación de impedancia es importante ya que es usada para detectar movimientos de los devanados que puedan haber ocurrido desde que las pruebas de fabrica fueron hechas (Norma NMX-J-169-ANCE-2004, "Impedancia de cortocircuito", pg. 64/91). En transformadores reparados, puede comprobarse si el valor de impedancia es el mismo que el original. En transformadores nuevos,



verificar el valor de placa; también para calcular la impedancia de aquellos equipos sin placa de datos. Por este método podemos obtener únicamente la impedancia del transformador en la capacidad (OA). La prueba consiste en aplicar bajo voltaje (220 V) por uno de los devanados del lado secundario del transformador (del lado de bajo voltaje) mientras el otro devanado se mantiene corto-circuitado; no se debe aplicar el voltaje nominal del devanado. Para determinar el valor del voltaje que se requiere para la prueba, utilizar la siguiente ecuación.

$$V = (V \text{ nom. del devanado} \times Z)/100$$

Al aplicar el voltaje calculado, circulará la corriente nominal del devanado, se debe comprobar midiendo la corriente de cada fase.

Si la corriente medida durante la prueba, es igual a la nominal, indicara que la impedancia en la placa del transformador es correcta. Por el contrario, si la corriente medida, es diferente a la nominal, el valor de la impedancia marcado en la placa es incorrecto.

---

### 3.6.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

---

- a) La fuente de alimentación debe tener capacidad suficiente para realizar la prueba.
- b) Debe protegerse el circuito de prueba con un interruptor termomagnético trifásico seleccionado en base a los cálculos previos.
- c) Los cables de prueba, deben ser de un calibre adecuado a la corriente que circulará.

---

### 3.6.2 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

---

Las conexiones que se deben realizar para determinar la impedancia en transformadores es de la siguiente manera:

a) Transformador trifásico.- La alimentación de prueba es de 220 V en un sistema trifásico, en el lado de baja tensión con conexión en estrella; manteniendo cortocircuitado el lado de alta tensión con conexión en delta.

b) Autotransformador monofásico, primera prueba.- Aquí, se aplica un voltaje de 220 V en el lado de alta tensión (HV), se mantiene cortocircuitado el lado de baja tensión; el terciario se mantiene abierto. Por lo tanto, la impedancia que se registra es del lado de alto voltaje al de bajo voltaje (ZH – X).

c) Autotransformador monofásico, segunda prueba.- Se utiliza un voltaje de 220 V en el lado de alta tensión (HV), se mantiene cortocircuitado el terciario, y el lado de baja tensión se mantiene abierto. Por lo tanto, la impedancia que se registra es del lado de alto voltaje al terciario (ZH – Y).

d) Autotransformador monofásico, tercera prueba.- Aplicar un voltaje de 120 V en el lado de baja tensión (LV), se mantiene cortocircuitado el terciario, y el lado de alta tensión se mantiene abierto. Por lo tanto, la impedancia que se registra es del lado de bajo voltaje al terciario (ZX – Y).

e) Transformadores monofásicos y potenciales.- Para estos equipos, la alimentación de prueba es de 220 V en el lado de alta tensión (HV), se mantiene cortocircuitado el lado de baja tensión.

Se observan los tres ejemplos en la Figura 11.

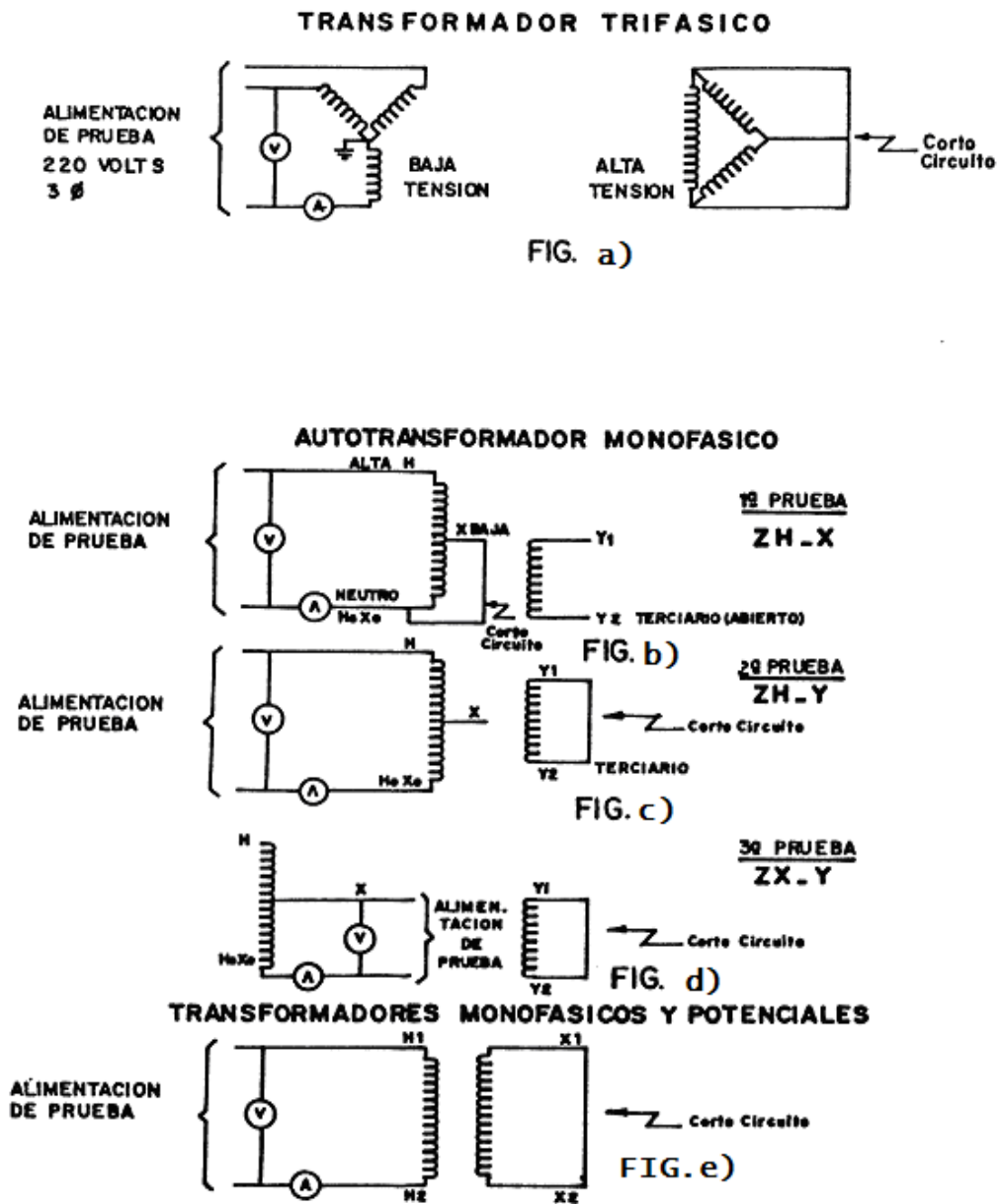


Figura 11. Comprobación de impedancia a transformadores de potencia y taps.

---

### 3.6.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

---

*“Debido a que la medición no es mayor al 1% utilizando instrumentos de 0.5% de precisión, los cambios menores al +/- 2% de la impedancia de corto circuito son considerados aceptables (Norma NMX-J-169-ANCE-2004, “Interpretación de la medición de impedancia” pg.66/91). “*

*“Si la corriente obtenida durante la prueba difiere del valor previamente calculado, significa que la impedancia del transformador es diferente a la indicada en la placa. Si el resultado es mayor al especificado en las normas, indica deficiencias en devanados y núcleo”.*

---

### 3.7 PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA A LOS DEVANADOS.

---

Esta prueba es utilizada en el campo para detectar valores de  $R I^2$  (pérdidas en el cobre), falsos contactos (conexiones de boquillas y cambiadores de derivaciones) por soldaduras deficientes. La diferencia entre esta prueba y la de impedancia es que la prueba de impedancia nos indica un posible movimiento de los devanados dentro del transformador y la prueba de resistencia ohmica a devanados las pérdidas en el cobre de los devanados.

La corriente empleada en la medición no debe exceder el 15% del valor nominal del devanado, ya que con valores mayores pueden obtenerse resultados inexactos por calentamiento del devanado.

---

### 3.7.1 RECOMENDACIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA DE RESISTENCIA OHMICA DE DEVANADOS.

---

- a) Se desconectan las terminales externas de las boquillas.
- b) Se desconectan los neutros del sistema de tierra en una conexión estrella.
- c) Limpiar las terminales perfectamente, a fin de que cuando se efectúe la conexión al medidor se asegure un buen contacto.
- d) Como no se conoce la resistencia óhmica del transformador bajo prueba, el multiplicador y las perillas de medición (décadas) deben colocarse en su valor más alto.
- e) Al circular la corriente alterna por el devanado bajo prueba, se origina un flujo magnético que de acuerdo a la Ley de Lenz induce un potencial el cual produce flujos opuestos. Lo anterior se refleja en el galvanómetro por la impedancia que tiene el devanado. Pasado un cierto tiempo la aguja del galvanómetro se mueve hacia la izquierda, esto es debido a que comienza a estabilizarse la corriente en la medición de la resistencia. Enseguida accione primeramente el multiplicador del medidor y obtenga la lectura de la resistencia por medio de las perillas de medición hasta lograr que la aguja del galvanómetro quede al centro de su carátula.
- f) Se mide la resistencia de cada devanado y en cada posición del cambiador, registrando las lecturas en el formato de prueba.

---

### 3.7.2 INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL MEDIDOR DE RESISTENCIA OHMICA (PUENTE DE WHEASTONE).

---

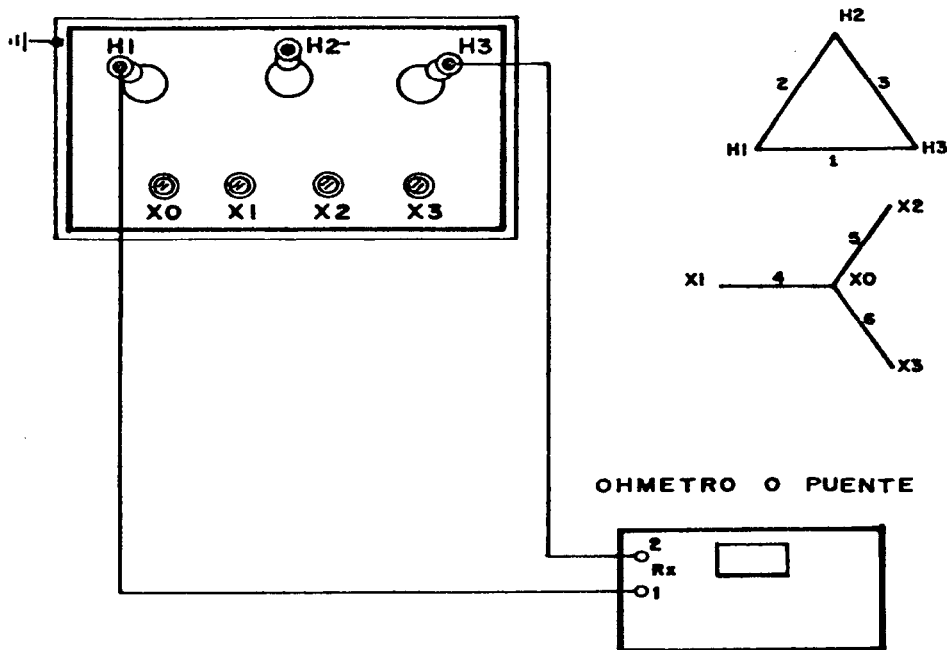
Los equipos comúnmente utilizados en la CFE para la medición de resistencia óhmica son: el puente de Kelvin y el puente de Wheatstone.

- a) Asegúrese que los bordes de conexión EXT GA estén cortocircuitados.
- b) Verifique el galvanómetro presionando el botón BA, la aguja debe posesionarse en cero; si esto no sucede, con un destornillador ajustarlo en la posición cero; para lo anterior el botón GA debe estar fuera.
- c) Compruebe que las pilas (batería) estén en buen estado, ya que si están bajas la prueba tardará más tiempo de lo normal.
- d) Conecte la resistencia de los devanados a medir en las terminales RX, coloque la perilla multiplicadora en el rango más alto y las perillas de las décadas en 9 (nueve). Presione el botón BA y enseguida el botón GA.
- e) Con lo anterior, la aguja del galvanómetro debe moverse a la derecha (+), pasado un tiempo esta se mueve lentamente a la izquierda (-), enseguida disminuir el rango de la perilla multiplicadora hasta observar que la aguja oscile cerca del cero.
- f) Para obtener la medición accione las perillas de las décadas, iniciando con la de mayor valor, hasta lograr que la aguja se posesione en cero. El valor de la resistencia se lee en las perillas mencionadas.
- g) Libere los botones BA y GA.

**NOTA:** Se recomienda utilizar cables de pruebas calibre No. 6 AWG para evitar al máximo la caída de tensión en los mismos. Es importante medir la resistencia de los cables de prueba y anotarlos en el formato para fines analíticos de la resistencia.

### 3.7.3 CONEXIONES PARA REALIZAR LA PRUEBA.

En la Figura 12, se ilustran las conexiones de circuitos de prueba de resistencia óhmica de devanados de transformadores con 2 devanados.



PRUEBA	CONEXIONES DE PRUEBA		MIDE (r)
	R <sub>x</sub> (1)	R <sub>x</sub> (2)	
1	H1	H3	1, 2+3
2	H2	H1	2, 3+1
3	H3	H2	3, 1+2
4	X1	X0	4
5	X2	X0	5
6	X3	X0	6

Figura 12. Conexiones para la prueba de resistencia óhmica de devanados a transformadores de dos devanados.

---

### 3.7.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

---

*En conexión delta de transformadores, el valor de la resistencia implica la medición de una fase en paralelo con la resistencia en serie de las otras dos fases.*

*Por lo anterior al realizar la medición, en las tres fases se obtienen valores similares. En caso de que se tenga un devanado fallado, dos fases darán valores similares.*

*Para transformadores en conexión estrella el valor es similar en las tres fases, por lo que se puede determinar con precisión cual es la fase fallada. Es recomendable que los valores de puesta en servicio se tengan como referencia para comparaciones con pruebas posteriores.*



# *Capítulo IV*

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

Llevar a cabo los protocolos de prueba para los transformadores es una parte de gran importancia y necesaria, debido a que el transformador es un equipo muy costoso. La mejor manera de verificar que el equipo se encuentre en buen estado antes de ser puesto en servicio es realizando las pruebas eléctricas. Todas las pruebas mencionadas en este trabajo se llevaron a cabo bajo la estricta supervisión de ingenieros por parte de la CFE, quienes dieron su aprobación, al cumplirse con los procedimientos establecidos en las normas que dispone esa institución. Como parte medular del presente trabajo se ha documentado esta información que servirá de apoyo para los compañeros de la carrera interesados en pruebas a transformadores de potencia o equipos de menor tamaño. El llevar a cabo las pruebas a los transformadores me permitió conocer y manejar equipos de media tensión, como son: el transformador de potencia, interruptor de potencia, cuchillas desconectoras, transformador de potencial y de corriente entre otros; y conocer sus propiedades y características eléctricas al someterlos a pruebas eléctricas. Lo más importante de este trabajo es la experiencia en campo y el manejo adecuado de estos equipos para evitar algún accidente. De manera particular, el presente trabajo me ayudo a reforzar los conocimientos teóricos sobre los principios de la inducción electromagnética y el transformador.

## RECOMENDACIONES

---

- Para la prueba del factor de potencia, se debe tener cuidado que los cables LV y HV (high voltage and Low voltage) no estén cruzados, o que algún otro cable alimentador de otro equipo este cruzado con estos, ya que se crea una interferencia eléctrica que afecta en la lectura del factor.
- Revisar que esté correctamente limpia la superficie donde se ponga el gancho del factor, para que la lectura sea lo más precisa posible.
- Antes de encender el factor, se tiene que asegurar que estén operando todos los medios de desconexión, ya que se maneja una tensión de 10 KV.
- Para las pruebas de resistencia de aislamiento, limpiar correctamente toda la porcelana de las boquillas de alta y baja tensión; ya que el polvo es un elemento que impide una lectura precisa.
- Se deben realizar las pruebas con una humedad arriba del 60%, ya que sí tiene un efecto importante en los resultados de las pruebas.
- Antes de probar cualquier parte del transformador, se debe conectar a tierra el equipo para drenar cualquier carga inductiva en el.
- Un aspecto que si no tiene mucha relevancia pero es fundamental para todas las pruebas, es la tornillería; esta debe estar muy bien ajustada para obtener un buen resultado.
- Para la prueba de relación del transformador, se debe realizar primero la prueba de saturación, ya que a partir de esta se puede graficar y observar hasta qué punto la lectura de los devanados empieza a dispararse (ir de una lectura estable 5 A a infinito).
- Nunca se debe realizar una prueba mientras este lloviendo o que el equipo este mojado.

## BIBLIOGRAFÍA.

---

1. <http://es.wikipedia.org/wiki/Transformador>
2. Martín José Raúl. Diseño de Subestaciones Eléctricas, México, UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), Facultad de ingeniería. 2° Edición.
3. Enríquez Harper, Gilberto. *El ABC de las máquinas eléctricas* 1: Transformadores 1. México: Limusa, 2006.
4. M.I.T. Circuitos Magnéticos y Transformadores. Editorial Reverte.697 p.p. Norma CADAFE. Evaluación del diseño y de pruebas de transformadores.
5. Normas NMX-J-169-ANCE-2004 "Transformadores y autotransformadores de distribución y potencia-Métodos de prueba". Publicado en el Diario Oficial de la Federación: 13 de agosto de 2004.
6. NOM-001-SEDE-2005. Título 3.4.2 "Prueba inicial" pg.8, y el Art. 924-14 a) "Equipo de uso continuo" pg.761.

## *Anexo “A”*

### *Fotografías*



**Fotografía 1.-** Este equipo es el Megger, el cual sirve para realizar las pruebas de resistencia de aislamiento óhmica a devanados y resistencia de aislamiento al núcleo del transformador. Como se puede ver en la imagen el equipo no requiere conectarse a una fuente eléctrica, ya que tiene su propia batería interna; la cual es recargable, es portátil y manejable. El voltaje utilizado para las pruebas fue de 5,000 V por lo que se recomienda conectarlo siempre a la tierra física por seguridad.



**Fotografía 2.-** En esta imagen se observa el M2H-D que mide el factor de potencia a los aislamientos del transformador y para la corriente de excitación.

Para usar este equipo, es necesario conectarlo a alguna fuente de alimentación eléctrica. Es un equipo pesado y para operarlo es necesario al menos dos técnicos especializados debido a que maneja tensiones muy altas (10,000 V).



**Fotografía 3.-** En esta imagen se presenta el hidrómetro, el cual es una herramienta esencial para llevar a cabo estas pruebas. En la pantalla se muestra la temperatura ambiente, la hora, la humedad relativa, la fecha e indica si es un día nublado.



**Fotografía 4.-** En esta imagen se observa el transformador de potencia que va a ser colocado sobre su base en la subestación; una vez ensamblado se puede proceder a realizar las pruebas eléctricas. También se puede apreciar en la parte posterior el tanque conservador de aceite y los radiadores.

*Anexo "B"*

# Formatos de prueba



## INFORME DE PRUEBAS A TRANSFORMADOR

Testigo : Ing. Francisco Buzon Prieto.	Orden de Trabajo : 26-1356
Probó : M.A. Garcia y J.M. Montiel	Pedido del Cliente : 99-1-00012-DU7 Pda. 9
Hoja 32 de 33	Forma : FACT-220 Fecha : 22-08-98

### REGISTRO DE LAS BOQUILLAS DE LOS TRANSFORMADORES EN PRUEBAS FINALES.

Terminal	H1	H2	H3	X0	X1	X2	X3
Marca	ABB	ABB	ABB	ABB	ABB	ABB	ABB
Serie	8C01083003	8C01083001	8C01083002	8C01082602	8C01082601	8C01082603	8C01082604
NBAI	550	550	550	250	250	250	250
f.p.	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25
C1 pF.	404	402	402	350	348	350	350

18. FACTOR DE POTENCIA Y CAPACITANCIA.  
 Norma Aplicada: NCM - J - 159  
 Método de Prueba: Puente de Capacitancias.  
 Instructivo: IACT-209

Fecha :	22-08-98	Tensión de Prueba	@	Volts	Fecha :	26-08-98					
Temperatura :	25.0 °C				Temperatura :	32.0 °C					
Terminal :	H1		Marca :		ABB		Serie :	8C01083003		NBAI :	550
Conexión	mVA	mW	FP	FP a 20°	C. pF.	@	mVA	mW	FP	FP a 20°	C. pF.
UST	940	3	0.32	0.29	399	2000	950	2.8	0.29	0.23	402
Ground	10000	26	0.26	0.23	4230	2000	9900	24	0.24	0.19	4220
Guard	9100	26	0.29	0.26	3820	2000	9000	22	0.24	0.19	3820
Terminal :	H2		Marca :		ABB		Serie :	8C01083001		NBAI :	550
Conexión	mVA	mW	FP	FP a 20°	C. pF.	@	mVA	mW	FP	FP a 20°	C. pF.
UST	950	2.6	0.27	0.24	398	2000	960	2.8	0.29	0.22	401
Ground	10000	22	0.22	0.20	4230	2000	10000	24	0.24	0.18	4230
Guard	9100	20	0.22	0.20	3830	2000	9040	24	0.27	0.20	3820
Terminal :	H3		Marca :		ABB		Serie :	8C01083002		NBAI :	550
Conexión	mVA	mW	FP	FP a 20°	C. pF.	@	mVA	mW	FP	FP a 20°	C. pF.
UST	940	2.4	0.26	0.23	394	2000	950	2.64	0.28	0.21	398
Ground	10000	24	0.24	0.21	4240	2000	10040	24	0.24	0.18	4220
Guard	9100	22	0.24	0.22	3830	2000	9040	22	0.24	0.19	3820

Ing. Luis Ortiz Baendia.  
 Glr. de Aseg. de la Calidad

Ing. Alvaro Candino Quiroz.  
 Glr. de Ing. de Diseño.

Ing. David Mota de la Garza.  
 Pico de Pruebas de EAT

**Formato 1:** Prueba de Factor de Potencia y Capacitancia en las boquillas del transformador del lado fuente (Alta Tensión con nomenclatura "H1, H2 y H3"). El valor de FP no debe exceder de 1, al igual que los valores obtenidos en las terminales deben ser casi similares.





INFORME DE PRUEBAS A TRANSFORMADOR

Testigo : Ing. Francisco Buenro Prieto.	Orden de Trabajo : 26-1356
Probó : M. A. García y J.M. Montiel.	Pedido del Cliente : 98-1-00012-DU7 Pda.9
Hoja 33 de 33	Forma : FACT - 221

18. FACTOR DE POTENCIA Y CAPACITANCIA.  
 Norma Aplicada: NCM - J - 169  
 Método de Prueba: Puente de Capacitancias.  
 Instructivo: IACT - 209

Fecha : 22-08-98	Tensión de Prueba @ : Volts	Fecha : 26-08-98
Temperatura: 25.0 °C		Temperatura: 32.0 °C

Terminal : X0	Marca : ABB	Serie : 8C01082802	NBAI : 250								
Conexión	mVA	mW	FP	FP a 20°	Cap. pF.	@	mVA	mW	FP	FP a 20°	Cap. pF.
UST	820	2.4	0.29	0.26	345	2000	840	3	0.36	0.27	354
Ground	1920	7.2	0.38	0.34	803	2000	1880	6.4	0.34	0.26	796
Guard	1080	5.8	0.54	0.48	459	2000	1050	5	0.47	0.36	443

Terminal : X1	Marca : ABB	Serie : 8C01082801	NBAI : 250								
Conexión	mVA	mW	FP	FP a 20°	Cap. pF.	@	mVA	mW	FP	FP a 20°	Cap. pF.
UST	820	2.2	0.27	0.24	344	2000	830	2.8	0.34	0.26	348
Ground	1900	6	0.32	0.28	805	2000	1900	6.4	0.34	0.26	802
Guard	1080	5.2	0.48	0.43	461	2000	1080	5.2	0.48	0.37	455

Terminal : X2	Marca : ABB	Serie : 8C01082803	NBAI : 250								
Conexión	mVA	mW	FP	FP a 20°	Cap. pF.	@	mVA	mW	FP	FP a 20°	Cap. pF.
UST	820	2.4	0.29	0.25	345	2000	830	2.7	0.33	0.25	350
Ground	1900	7	0.37	0.33	496	2000	1850	6.2	0.34	0.26	788
Guard	1060	5.6	0.53	0.47	451	2000	1040	3	0.29	0.22	438

Terminal : X3	Marca : ABB	Serie : 8C01082804	NBAI : 250								
Conexión	mVA	mW	FP	FP a 20°	Cap. pF.	@	mVA	mW	FP	FP a 20°	Cap. pF.
UST	820	2.2	0.27	0.24	345	2000	830	2.8	0.34	0.26	348
Ground	1940	7	0.36	0.32	811	2000	1900	7.4	0.39	0.30	807
Guard	1100	5.8	0.53	0.47	465	2000	1090	6.2	0.57	0.44	490

Ing. Luis Ortiz Buendía.  
 Gt. de Ases. de la Calidad

Ing. Alvaro Cancino Quiroz.  
 Gt. de Ing. de Diseño

Ing. David Motos de la Garza.  
 Pico de Pruebas de EAT

**Formato 2:** Prueba de Factor de Potencia y Capacitancia en las boquillas del transformador del lado carga (Baja Tensión con nomenclatura "X1, X2, X3 y X0"). El valor de FP no debe exceder de 1, al igual que los valores obtenidos en las terminales deben ser casi similares.



### INFORME DE PRUEBAS A TRANSFORMADOR

Orden de Trabajo :	26-1356
Pedido del Cliente :	98-1-00012-DU7 Pda.9
Hoja 31 de 33	Forma : FACT - 219

19. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL NUCLEO.  
Norma Aplicada : NOM - J - 169  
Método de Prueba : Medición con Megger.  
Instructivo : IACT - 208

Testigo : Ing. Francisco Buenon Prieto.	Fecha : 27-08-98	
Probó : H. Aguayo y R. Ríos	Lectura 12000 Megohms.	
Temp. °C 20.0	Tensión 1000 Volts	Constante 1
Condiciones del transformador : SIN ACEITE	Valor Garantizado 200 M ohms	.....Resultado : SATISFACTORIO

4. POTENCIAL APLICADO AL NUCLEO A 60 Hz., 60 seg.  
Norma Aplicada : NOM - J - 169  
Método de Prueba : De acuerdo a la norma.  
Instructivo : IACT - 214

Testigo : Ing. Francisco Buenon Prieto.	Fecha : 27-08-98
Probó : H. Aguayo y R. Ríos	.....Resultado : SATISFACTORIO
Condiciones del transformador : SIN ACEITE	Tensión de Prueba 2000 volts

21. MEDICION DE LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO.  
Norma Aplicada : NOM - J - 169  
Método de Prueba : Fuente monofásica en baja tensión,  
delta de alta tensión cerrada.  
Instructivo : IACT - 225

Testigo : Ing. Francisco Buenon Prieto.	Fecha : 26-08-98		
Probó : R. Palillo, H. Aguayo y C. Serván.	.....Resultado : SATISFACTORIO		
Cap. kVA 30000	Tensión 34.50	Corriente 30.66	%Z <sub>0</sub> a 75° 15.07
Pos. AT 2		Tensión 61.09	%Z <sub>0</sub> Ref. 15.00
Pos. BT N. A.	Incom. 502.0	Temp. °C 25	% Dif. 0.44

  
Ing. Luis Ortiz Buendía.  
Gto. de Aseg. de la Calidad

  
Ing. Alvaro Cancino Quiroz.  
Gto. de Ing. de Diseño

  
Ing. David Mota de la Garza.  
Jefe de Pico de Pruebas

**Formato 3:** Prueba de resistencia de aislamiento del núcleo. En este formato esta anotado 1,000 V como voltaje de prueba para generar 200 Megaohms como mínimo; para fines de aprobación por parte de CFE es aceptable este valor. El resultado es 12,000 Megaohms y es satisfactorio.



## INFORME DE PRUEBAS A TRANSFORMADOR

Testigo : Ing. Francisco Bueron Prieto.			Orden de Trabajo : 26-1356		
Protó : R. Pablo, J. M. Morzuel y C. Servín.			Pedido del Cliente : 98-1-00012-DU7 Pda. 9		
Hoja	15	de	33	Forma :	FACT-210
				Fecha :	24-08-98

7. MEDICIÓN DE PÉRDIDAS EN VACÍO Y CORRIENTE DE EXCITACIÓN A 60 Hz.  
 Norma Aplicada : NCM - J - 169  
 Método de Prueba: Excitación con una fuente trifásica en el devanado de BT.  
 Instructivo : IACT - 217

Base de Medición y Cálculos 18000 kVA

Prueba 1 al 90% de su tensión nominal					31050 volts			
Lectura	Tensión	Tensión	Corriente	Potencia	Cálculos Finales			
	Media en Volts	Eficaz en Volts	en Amperes	en Watts	W Reales	10030	% Iexc	0.12
X 1	31802	30012	0.173	-1873	W Calc.	N. A.	%IexcCal	N. A.
X 2	31335	31826	0.507	7764	Diferencia	ND	Diferencia	ND
X 3	30126	32263	0.505	4229	2			
Promedios	31088	31367	1.193	10120	1			
<b>Resultado : SATISFACTORIO</b>								

Prueba 2 al 100% de su tensión nominal					34500 volts			
Lectura	Tensión	Tensión	Corriente	Potencia	Cálculos Finales			
	Media en Volts	Eficaz en Volts	en Amperes	en Watts	W Reales	12982	% Iexc	0.15
X 1	34954	32950	0.172	-2034	W Gar.	15000	%IexcGar	0.28
X 2	35345	35706	0.541	9337	Diferencia	2018	Diferencia	0.13
X 3	33478	35721	0.627	5758	2			
Promedios	34582	34792	1.340	13061	2			
<b>Resultado : SATISFACTORIO</b>								

Prueba 3 al 110% de su tensión nominal					37950 volts			
Lectura	Tensión	Tensión	Corriente	Potencia	Cálculos Finales			
	Media en Volts	Eficaz en Volts	en Amperes	en Watts	W Reales	16948	% Iexc	0.21
X 1	38486	36426	0.256	-1856	W Calc.	20312	%IexcRef	N. A.
X 2	38507	38712	0.605	11604	Diferencia	3364	Diferencia	ND
X 3	36854	38757	0.882	7207	2			
Promedios	37949	37965	1.743	16955	1			
<b>Resultado : SATISFACTORIO</b>								

  
 Ing. Luis Ortiz Buendía  
 Gte. de Aseg. de la Calidad.

  
 Ing. Alvaro Cancino Quiroz  
 Gte. de Ing. de Diseño.

  
 Ing. David Mora de la Garza.  
 Fiso de Pruebas de EAT.

**Formato 4:** Medición de las pérdidas en vacío y corriente de excitación a 60 Hz en el lado de baja tensión. Para observar que esta prueba es correcta, el resultado de la corriente de excitación debe ser casi similar en las tres fases.



## INFORME DE PRUEBAS A TRANSFORMADOR

Testigo : Ing. Francisco Baerón Prieto.	Orden de Trabajo : 26-1356	
Probó : H. Aguayo y R. Pablo.	Pedido del Cliente : 98 - 1 - 00012 - DU 7 Pda 9	
Hoja 28 de 33	Forma : FACT - 215	Fecha : 26-08-98

17. MEDICIÓN DE LA CORRIENTE DE EXCITACION A 2.5 kV.  
Norma Aplicada : NOM - J - 169  
Método de Prbta Excitación con una fuente monofásica de C.A. en AT.  
Instructivo : FACT - 227

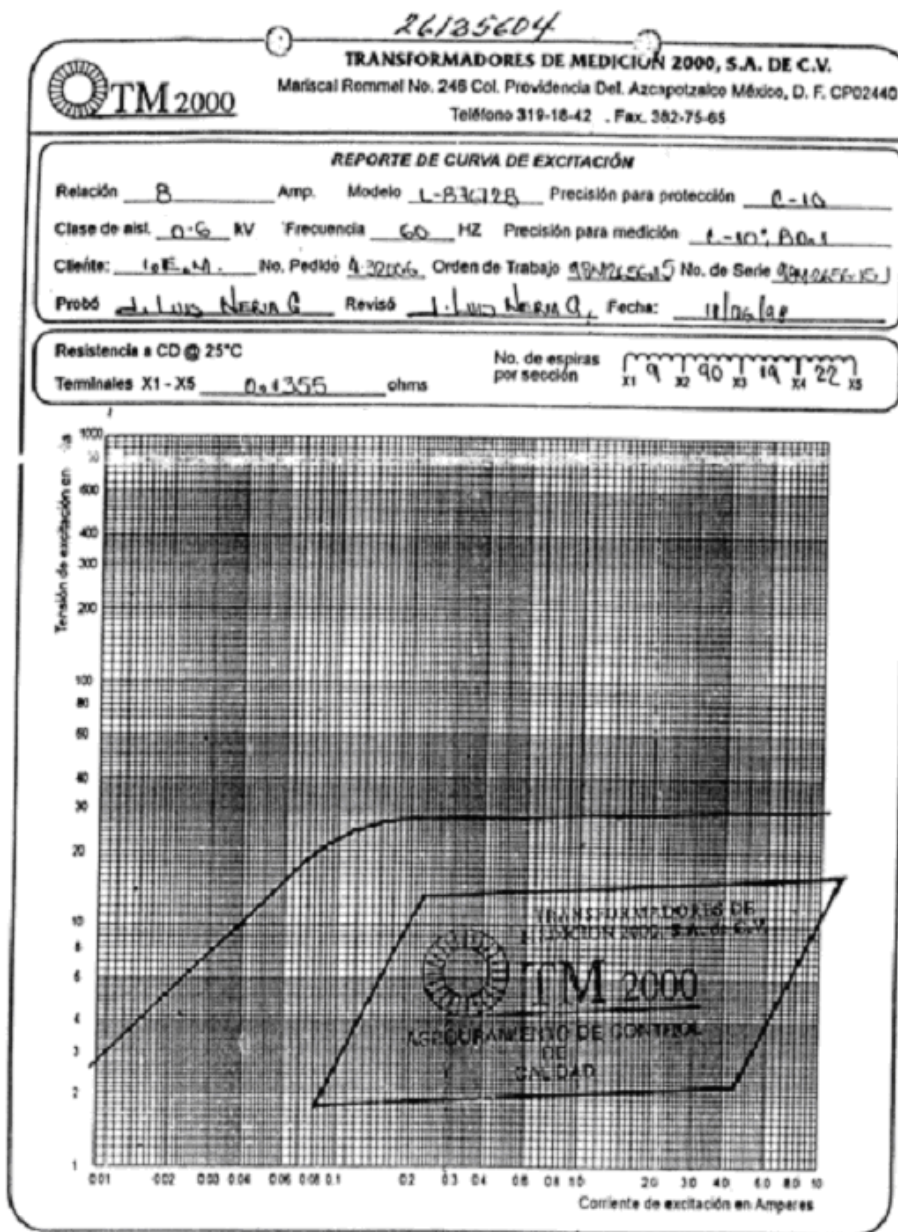
Posición	Fase A			Fase B			Fase C			Observaciones
	Medición	Constante	m VA	Medición	Constante	m VA	Medición	Constante	m VA	
1	72.0	100	7200	34.0	100	3400	64.2	100	6420	
2	76.0	100	7600	35.5	100	3550	67.2	100	6720	
3	79.0	100	7900	37.0	100	3700	70.0	100	7000	
4	82.8	100	8280	38.5	100	3850	73.0	100	7300	
5	86.2	100	8620	40.0	100	4000	76.2	100	7620	

  
Ing. Luis Ortiz Buendía.  
Cte. de Aseg. de la Calidad.

  
Ing. Alvaro Cancino Quiroz.  
Cte. de Ing. de Diseño.

  
Ing. David Mota de la Garza.  
Piso de Pruebas de EAT.

**Formato 5:** Medición de las pérdidas en vacío y corriente de excitación a 60 Hz en el lado de alta tensión. El voltaje de prueba es de 2,500 V, una forma de observar que esta prueba es satisfactoria es que el valor de la corriente de excitación resultante en la fase "B" es la mitad que el valor que arrojan las Fases "A" y "C". En esta prueba resulto satisfactorio.



**Formato 6:** Reporte de la curva de excitación a 60 Hz en el lado de baja tensión. De manera gráfica se puede ver que aumentando el voltaje, la corriente de excitación va subiendo gradualmente pero cuando se llega a 28 V, la corriente se dispara al infinito. Como resultado queda registrado el valor de la corriente de excitación antes de tender al infinito.



## INFORME DE PRUEBAS A TRANSFORMADOR

Hoja 31 de 33	Forma : FACT - 219	Orden de Trabajo : 26-1355	Pedido del Cliente : 90-1-00012-DU7 Pda. 9
---------------	--------------------	----------------------------	--

19. RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL NUCLEO.  
Norma Aplicada : NOM - J - 169  
Método de Prueba : Medición con Megger.  
Instructivo : IACT - 208

Testigo : Ing. Francisco Bueros Prieto.	Fecha : 27-08-98			
Probó : H. Aguayo y R. Ríos	Lectura 12000 Megohms.			
Temp. °C 20.0	Tensión 1000	Volts	Constante 1	Resultado : SATISFACTORIO
Condiciones del transformador : SIN ACEITE		Valor Garantizado 200	M ohms	

4. POTENCIAL APLICADO AL NUCLEO A 60 Hz., 60 seg.  
Norma Aplicada : NOM - J - 169  
Método de Prueba : De acuerdo a la norma.  
Instructivo : IACT - 214

Testigo : Ing. Francisco Bueros Prieto.	Fecha : 27-08-98
Probó : H. Aguayo y R. Ríos	Resultado : SATISFACTORIO
Condiciones del transformador : SIN ACEITE	

21. MEDICION DE LA IMPEDANCIA DE SECUENCIA CERO.  
Norma Aplicada : NOM - J - 169  
Método de Prueba : Fuente monofásica en baja tensión,  
delta de alta tensión cerrada.  
Instructivo : IACT - 225

Testigo : Ing. Francisco Bueros Prieto.	Fecha : 26-08-98			
Probó : R. Paldo, H. Aguayo y C. Servín.	Resultado : SATISFACTORIO			
Cap. kVA 30000		Tensión 34.50	Corriente 30.66	% $\omega$ a 75° 15.07
Pos. AT 2			Tensión 61.09	% $\omega$ Ref. 15.00
Pos. BT N. A.		Inom. 502.0	Temp. °C 25	% Dif. 0.44

  
Ing. Luis Ortiz Buendía  
Gte. de Aseg. de la Calidad

  
Ing. Alvaro Carroza Quiroz  
Gte. de Ing. de Diseño

  
Ing. David Mota de la Garza  
Jefe de Piso de Pruebas

**Formato 7:** Verificación de la impedancia de secuencia cero. Para determinar si esta prueba es satisfactoria, los resultados de impedancia deben ser los mismos que aparecen en los datos de placa.



**INFORME DE PRUEBAS A TRANSFORMADOR**

Testigo : Ing. Francisco Bueron Prieto.	Orden de Trabajo : 26-1355
Probó : M.A. García, R. Pablo y C. Servín.	Pedido del Cliente : SB - 1 - 00012 - DU 7 Pda. 9
Hoja 16 de 33	Fecha : 24-08-98
Forma : FACT - 212	

**8. RESISTENCIA ÓHMICA DE LOS DEVANADOS.**  
 Norma Aplicada : NOM - J - 169  
 Método de Prueba: Ponte de Kelvin o Wheatstone.  
 Instructivo : IACT - 215

Posición	Terminal	1 - 3	2 - 1	3 - 2	Suma	Constante	Temp. °C	R. Amb.	R a 75°C	R Calc.	% Df.
I	H	0.05360	0.05365	0.05365	0.16090	20	30	4.8270	5.6482	5.8950	4.19
N.A.	X	0.003657	0.003651	0.003658	0.010965	25	30	0.13733	0.16059	0.16887	4.84
Devanado	Tensión	Conexión	Cap. kVA	I2R AT	I2R BT	I2R Calc.	% Df.	<b>Resultado :</b> <b>SATISFACTORIO</b>			
A T	117.875	Delta	18000	14634	14580						
BT	34.50	Estrella	24000	25016	25921						
Elevación	55.0	°C	30000	40651	40501	84993	4.52				

**9. y 10. PERDIDAS EN LOS DEVANADOS A 60 Hz. Y CALCULO DE PERDIDAS TOTALES.**  
 Norma Aplicada : NOM - J - 169  
 Método de Prueba: Fuente trifásica en alta tensión, corto circuito en baja tensión.  
 Instructivo : IACT - 215

Cap. kVA	Lectura	Corriente	Tensión	Potencia
18000	H1	86.586	10061	12327
Pos. AT	N.A.	H2	88.617	10893
Pos. BT	N.A.	H3	91.334	10668
I nom.	88.16	Promedio	88.846	10541
Temp. °C	30.0			34042

W Medidos	34042	59370	95742
I2R Ambiente	24967	44386	69353
Ind. Ambiente	9075	14984	26389
Ind. a 75° C	7756	12806	22552
I2R a 75° C	29215	51937	81152
W a 75° C	36970	64743	103704
W en Vacío	12982	12982	12982
W Totales	49952	77725	116686
W Calculo	53136	82793	121132
Diferencia	3184	5068	4446

Cap. kVA	Lectura	Corriente	Tensión	Potencia
24000	H1	117.98	13448	22620
Pos. AT	N.A.	H2	113.56	13897
Pos. BT	N.A.	H3	119.46	14373
I nom.	117.55	Promedio	117.00	13906
Temp. °C	30.0			59370

Resultado :			
<b>SATISFACTORIO</b>			
% Z a 75° C	8.94	11.80	14.91
% Z Cal	N.A.	N.A.	N.A.
% Diferencia	N.A.	N.A.	N.A.
<b>Resultado :</b> <b>SATISFACTORIO</b>			

Cap. kVA	Lectura	Corriente	Tensión	Potencia
30000	H1	150.11	17595	37830
Pos. AT	N.A.	H2	145.27	17232
Pos. BT	N.A.	H3	146.08	17904
I nom.	146.94	Promedio	147.15	17576
Temp. °C	30.0			95742

Ing. Luis Ortiz Baendía  
 Gte. de Aseg. de la Calidad

Ing. Álvaro Cansino Quiroz  
 Gte. de Ing. de Diseño

Ing. David Mejía de la Garza  
 Jefe de Piso de Pruebas

**Formato 8:** Resistencia óhmica de los devanados. Para esta prueba los valores obtenidos tanto en baja tensión como en alta deben ser casi similares.