

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DESARROLLO DE UN TUTORIAL MULTIMEDIA SOBRE
PRUEBAS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
ELÉCTRICA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

JAIME ROBERTO URBINA PEREYRA

**PROMOCIÓN
1982 - I**

**LIMA – PERÚ
2004**

***Dedico este trabajo a:
Claudia y Paulo, hijos maravillosos,
Mary, por su amor y apoyo incondicional,
Germán y Delicia por todo lo que me dieron y enseñaron.***

**DESARROLLO DE UN TUTORIAL MULTIMEDIA SOBRE
PRUEBAS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
ELÉCTRICA**

SUMARIO

La importancia de dar a conocer como se realizan las pruebas a máquinas eléctricas como son los transformadores de distribución y la incorporación de nuevas técnicas y facilidades para el desarrollo de programas que faciliten el proceso de aprendizaje en general, en este caso aplicado a la rama de Ingeniería Eléctrica, me ha llevado a desarrollar el presente informe y el programa titulado *TUTORIAL MULTIMEDIA SOBRE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA*.

Las pruebas que se realizan a todo transformador eléctrico de distribución cumplen un papel muy importante para asegurarnos que el equipo en mención empezará a trabajar cumpliendo las normas que regulan su fabricación y/o reparación y que permiten asegurar un grado de confiabilidad de operación y calidad de servicio, siempre que consideremos y mantengamos para él condiciones normales de trabajo.

Por lo general estas pruebas son difíciles de apreciar en forma conjunta cuando estudiamos la parte teórica, y no es sino hasta cuando realizamos nuestras practicas pre-profesionales en empresas que se dedican a la fabricación y/o reparación y que cuenten con los equipos requeridos para la realización de las mismas, en que podemos conocer el detalle operativo de

las mismas, razón por la cual este informe y programa desarrollado son parte de una alternativa para suprimir esta carencia.

En el primer capítulo se ofrece una visión general de las tendencias de los procesos de enseñanza, y como ha venido la tecnología de la computación o informática, proporcionando nuevas facilidades y herramientas para apoyar cada vez más en las distintas etapas del proceso de enseñanza. Así mismo se describen características de la solución propuesta.

En el segundo capítulo se hace una breve descripción del contenido que va a tener el tutorial, es decir una descripción de las pruebas a que son sometidos los transformadores de distribución eléctrica, por lo tanto no se describen pruebas específicas como la de impulso que corresponden a transformadores de potencia

Las características requeridas para el funcionamiento y ejecución del programa o software tutorial son descritas en el capítulo final. Cabe anotar que como parte de este Informe se ha considerado el desarrollo de ese Software que estará almacenado en medio magnético adecuado, un CD-Rom, el cual puede ser leído fácilmente en cualquier computador personal y por lo tanto ser un valioso apoyo a toda persona interesada en el conocimiento del tema, sea estudiante o un trabajador de esta área profesional.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.	
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL TUTORIAL	
1.1 Objeto de Estudio	6
1.2 Planteamiento del problema	6
1.3 Fundamentación de Objetivos	7
1.4 Tendencias en los procesos actuales de enseñanza	8
1.4.1 Incorporación de nuevos medios	10
1.4.2 Impacto en el aprendizaje	11
1.4.3 Disponibilidad y acceso al conocimiento	12
1.5 Análisis de soluciones	12
1.6 Solución propuesta	13
1.6.1 Características de diseño	13
1.6.2 Características de funcionalidad	14
1.6.3 Requerimientos de ejecución	14
CAPÍTULO II.	
DESARROLLO DEL TUTORIAL MULTIMEDIA PARA LAS PRUEBAS DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	16
2.1 Transformadores	16
2.2 Influencia del diseño y construcción en las pruebas	17
2.3 Normas que regulan la Fabricación y Pruebas de los transformadores	18
2.4 Pruebas	19
2.4.1 Medida de la relación de transformación	20
2.4.2 Prueba en Vacío	22
2.4.3 Prueba en Corto Circuito	26
2.4.4 Prueba de Tensión Aplicada	28
2.4.5 Prueba de Tensión Inducida	33
2.4.6 Resistencia de Aislamiento	35

2.4.7 Rigidez dieléctrica del aceite	37
--------------------------------------	----

CAPÍTULO III.

CONSIDERACIONES DE USO DEL TUTORIAL

3.1	Requerimientos de instalación	41
3.1.1	Requerimientos mínimos de Hardware	41
3.1.2	Requerimientos mínimos de Software	42
3.2	Consideraciones básicas de uso	43
3.3	Guía de Uso	44
3.4	Recomendaciones ante posibles problemas comunes	44

CONCLUSIONES	51
---------------------	----

APÉNDICE	52
-----------------	----

BIBLIOGRAFÍA	59
---------------------	----

INTRODUCCIÓN

Los transformadores eléctricos participan activamente en toda la cadena de suministro de energía, desde la generación cumpliendo la labor de elevador de dicha tensión a valores capaces de ser utilizados en el proceso de transmisión a 60 kV o 220 kV y luego para reducir estos niveles a valores de utilización es decir distribución 13.8, 10 kV y finalmente 220 voltios de donde se concentra su uso mayoritario. Para que estos equipos funcionen adecuadamente es necesario verificar a través de pruebas que estos cumplen lo previsto en la norma que regula su fabricación para asegurar el otorgar un nivel de calidad de servicio.

El transformador es una máquina eléctrica que pueden funcionar por muchos años sin causar grandes problemas, siempre y cuando no se le sobrecargue en sus condiciones nominales de trabajo y se le haga el debido mantenimiento preventivo, pero a su vez depende de detalles de diseño y sobre todo algunos de carácter constructivo o de montaje que ocasionan fallas o salidas de servicio de los mismos ocasionando malestar entre los usuarios.

Estos pequeños detalles son muchas veces detectados durante las pruebas a que deben ser sometidos los transformadores, por ello la importancia de

las mismas, aparte de que todo fabricante o reparador de estos equipos que se considere serio las cumple, consiguiendo medidas dentro de los márgenes de tolerancia previstos en las referidas normas. Durante el ejercicio profesional he podido apreciar por ejemplo que problemas en el montaje del núcleo, inadecuada sujeción de materiales de apoyo de las bobinas y pequeños deterioros ocurridos al bobinado durante su proceso de fabricación o armado han podido ser detectados a tiempo gracias a estas pruebas, ya que algunas de estas influyen o se manifiestan en los resultados que se obtienen, corrientes altas de vacío, valores muy altos de tensión de corto circuito o relaciones de transformación entre espiras que salían fuera de los márgenes de tolerancia, ponían en evidencia algún problema de construcción, ensamble o de cálculo que se tenía con dicho transformador.

Es importante anotar que la tecnología también aporta en las pruebas ya que cada día se cuenta con instrumentos mas avanzados algunos de tecnología digital que permiten obtener medidas con un mayor rango de precisión, aunque el costo de los mismos sí es un factor importante a considerar en su compra para aquellas empresas que se dedican a este rubro de fabricación y/ o reparación.

El interés personal de escoger este tema para la elaboración de este informe ha sido una conjunción de las actividades que he realizado en el área de fabricación y reparación de transformadores así como de sus pruebas y una segunda actividad que hoy en día vengo desarrollando la cual es la docencia universitaria la cual hoy en día esta en un proceso de transformación como todo proceso de enseñanza – aprendizaje por la

utilización cada vez más importante de medios informáticos, llámese equipos como computadores, como programas de diversa índole y a la conectividad que hoy en día se puede tener con redes como Internet, y que permiten poner al alcance de muchas personas en cualquier parte del mundo de los avances en todas las áreas.

Es por el lado de los programas que se orienta este informe, ya que se desarrollará un Tutorial Multimedia sobre las Pruebas de Transformadores de Distribución Eléctrica, labor que debe de realizarse en salas de prueba debidamente acondicionadas con los equipos de medición apropiados así como fuentes generadores de tensión variable, ya sea en voltaje o frecuencia así como otros transformadores de mayor nivel de tensión para las pruebas de tensión aplicada.

El acceso a estas pruebas a veces no es sencillo, por la carencia de salas de pruebas adecuadas o por exceso de celo de algunos fabricantes que no permiten el acceso a observar dichas pruebas. Es esta ocurrencia la que motiva la realización del referido tutorial, llevar al alcance de muchos estudiantes, técnicos u otros profesionales el poder revisar la parte practica de dichas pruebas y complementar la formación teórica que se tiene del tema.

Es aún un producto perfectible, porque en su realización me encontré con varios problemas que asumí en un inicio no iba a enfrentar, el primero las restricciones de poder grabar la ejecución de las pruebas en las 2 más importantes fabricas del medio, por políticas propias de las mismas, a pesar de llevar como carta de presentación un documento otorgado por la

Universidad la cual indicaba que dicha labor se hacia con fines netamente académicos.

La segunda fue el carácter técnico de la grabación misma de las pruebas con una cámara analógica no profesional y su traslado a un medio magnético que permiten gran capacidad de almacenamiento como lo es un CD-Rom, los cuales obligaron a investigar, probar diversos programas con la finalidad de que la imagen salga con la mayor claridad y nitidez posible a pesar de las limitaciones de origen. Creo que tener equipos más profesionales o avanzados habría facilitado mucho el mejorar la calidad de esta parte del tutorial.

La otra sin duda es la de la elaboración misma del contenido, en donde entra a tallar un aspecto ya metodológico y de mayor conocimiento del tema. La realización de un tutorial implica un trabajo muy importante en este último aspecto, en contenido, en forma de presentación y exposición de los temas, en la forma como se presentan, si ofrecen capacidades de auto evaluación, etc. que hoy en día están trabajando muchas universidades del mundo, por lo que se requiere de profesionales con experiencia en los temas así como de conocimiento de metodologías educativas.

La bibliografía utilizada han sido libros relativos a máquinas eléctricas, así como publicaciones Web de fabricantes: Delcrosa, ABB, Siemens, entre otras, además de libros y publicaciones relativos a la preparación de materiales con características multimedia para procesos de enseñanza no tradicional, hoy en día muy en boga.

Es importante agradecer el apoyo brindado por el Ingeniero Jorge Ramos, tratando de establecer los contactos para el apoyo de fábricas del medio, que finalmente no permitieron, por políticas internas, se grabe las pruebas que ellos realizan, pero sí a la empresa Energotecnia SRL, que facilitó sus instalaciones y tiempo para apoyarme en la realización del software multimedia que acompaña el presente informe.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL TUTORIAL

Este capítulo permitirá describir como podemos conocer y enseñar la parte práctica de las pruebas de los transformadores de distribución eléctrica, considerando algunas de las facilidades que hoy en día ofrece la tecnología informática así como las tendencias de incorporar estas facilidades en los procesos de enseñanza.

1.1. Objeto de Estudio

Se ha enfocado el objeto de estudio del presente informe en las pruebas que se realizan a los transformadores de distribución eléctrica, como parte previa a su puesta en servicio ya sea durante su fabricación, o luego de una labor de reparación y/o mantenimiento.

1.2. Planteamiento del Problema

Las pruebas en las máquinas eléctricas en general, rotativas o estáticas, son muy importantes y necesarias porque garantizan un buen comportamiento y desempeño de estas como parte de un sistema de distribución eléctrica, brindando calidad de servicio.

El conocimiento teórico que se tiene recién se complementa cuando realizamos o presenciamos directamente, las mismas y esto ocurre cuando se realizan prácticas profesionales o cuando se ingresa a

laborar en alguna empresa de fabricación y/o reparación o empresas de distribución eléctrica, las cuales generalmente tienen una sala, para realizar las pruebas de rigor.

Tomando en consideración que no siempre se dispone del equipamiento adecuado y de una metodología para el desarrollo de las pruebas e interpretación de resultados de las mismas, el presente informe desarrolla un Tutorial Multimedia sobre Pruebas de Transformadores de Distribución Eléctrica a fin de contribuir con una mejor comprensión de las mismas.

1.3. Fundamentación de Objetivos

Los objetivos a alcanzar con el presente informe y tutorial a desarrollar son:

a. Explicar el principio y requerimiento de cada una de las pruebas de Transformadores de Distribución.

Debemos conocer antes de efectuar una prueba, el principio y objetivo de ella. Por lo tanto se describirán estas brevemente en el presente documento así como en el tutorial

b. Explicar los procedimientos para la realización de las pruebas.

Los procedimientos de prueba implican, adicionalmente, el conocimiento del o los equipos necesarios para realizar las mediciones, las condiciones en que estas se deben dar así como las normas que las regulan.

c. Describir las pruebas acompañándolas de medios audiovisuales como imágenes, fotos y videos, para facilitar su comprensión y

conocimiento. No todos los centros universitarios o tecnológicos pueden tener salas de pruebas idóneas así como los diversos tipos de transformadores a libre disposición para la realización de las mismas, por lo que la descripción textual y sobre todo audiovisual permitirán un enfoque más directo de ellas. Podría inclusive ser un medio de refuerzo y/o capacitación para empresas dedicadas a la fabricación y/o reparación de transformadores eléctricos de distribución.

d. Apoyar el aprendizaje sobre el tema de Pruebas de Transformadores. Hoy en día debemos sacar ventaja de todos los medios que estén a nuestro alcance para hacer del aprendizaje, un proceso interesante y de fácil alcance o disponibilidad para los interesados.

1.4. Tendencias actuales en los procesos de enseñanza

En los últimos años el proceso de enseñanza ha tenido cambios notables que aprovechando de las facilidades tecnológicas, como la utilización de los elementos de computación, hardware o software, así como del desarrollo de las comunicaciones, han favorecido la aparición de nuevas formas de impartir enseñanza y compartir conocimientos, eliminando la necesidad imperiosa de la concentración en un solo recinto y lugar tanto del profesor como de los alumnos, y muy por el contrario diversificando esta de múltiples formas como veremos a continuación.

Hoy en día las computadoras son utilizadas como medio de instrucción o enseñanza – aprendizaje además de ser una herramienta de trabajo. Y precisamente como medio de enseñanza – aprendizaje se puede utilizar para diversos contenidos o cursos. Para ello se desarrollan los llamados Programas Educativos Computarizados (PEC), estos actúan como complemento al programa de enseñanza aprendizaje y no actúan como reemplazo de otros cuya calidad es probada pero si trata de cubrir las acciones y metas que son difíciles o no posibles de lograr. Los PEC's se clasifican en PEC de tipo algorítmico, aquel en que predomina el aprendizaje vía transmisión de conocimiento desde quien sabe hacia quien desea aprender, y en PEC de tipo heurístico, aquel en el que predomina el aprendizaje experimental y por descubrimiento, donde el diseñador crea ambientes ricos en situaciones a explorar.

Otra forma de clasificar los PEC's es según las funciones educativas que asumen, estos son:

- Los sistemas tutoriales
- Los sistemas de ejercicio y práctica.
- Los de simulación
- Los juegos educativos
- Los sistemas expertos
- Los sistemas inteligentes de enseñanza, entre otros más.

Estos también se pueden calificar dentro de la calificación anterior, así tenemos por ejemplo que un sistema tutorial es de tipo algorítmico y un sistema inteligente de enseñanza es de tipo heurístico.

Un sistema tutorial propone un aprendizaje a través de una estructura de presentación y evaluación, comprende una etapa de introducción o motivación selectiva del alumno de lo que se desea aprender, una fase de orientación inicial, donde se almacena y retiene lo aprendido, una fase de aplicación donde hay transferencia de lo aprendido y una fase de retroalimentación donde se demuestra lo aprendido a través de una evaluación.

1.4.1. Incorporación de nuevos medios y conceptos.

Hoy en día el proceso de enseñanza y aprendizaje dista mucho del que utilizamos hace unos años. Además de la presencia del profesor, con su pizarra y materiales de ilustración, se contaba con los libros o material impreso para poder adelantar, reforzar o investigar un tema en específico. Las formas disponibles hoy en día son de las más variadas sin que necesariamente sean estas muy costosas. Hoy en día los profesores e instituciones educativas se ven apoyadas para el proceso de enseñanza por material audiovisual, desde un proyector de transparencias, videograbadoras, computadores, acceso a Internet y proyectores multimedia para facilitar el proceso de enseñanza. Para reforzar el proceso, aparte de los medios y materiales ya conocidos: libros, catálogos, manuales, hoy en día tenemos los PEC que permiten emprender el aprendizaje de los más

diversos temas de un modo sencillo, amigable y sobre todo que da la libertad de ser tomado en el momento que el requiriente de conocimiento tenga disponibilidad para el mismo, de una sola vez o tomándolo por partes, sin la necesidad de movilizarse hasta un centro de enseñanza, en una hora y fecha determinada.

Es más, hoy en día crece cada vez más la tendencia hacia la utilización de Internet para impartir cursos a distancia, sean estos gratuitos o pagados. Enseñanzas a través de tele conferencias, como las utilizadas para capacitar a médicos y/o estudiantes de medicina en las técnicas de operaciones y que son impartidas y transmitidas desde una sala de un quirófano hasta los mas distantes centros de enseñanza, son hoy en día una realidad y un valioso medio de masificar el aprendizaje aprovechando los avances en las diversas tecnologías empleadas. Se puede contar de este modo con los mejores especialistas para el proceso de enseñanza, asistiendo a él, alumnos de los mas variados lugares del mundo. La condición es tener la disponibilidad de conexión a través de un computador hacia Internet, con características de buena velocidad de transmisión y apropiado ancho de banda. Es decir, existe hoy en día, una variedad de medios y formas de utilizarlos para apoyar el proceso de enseñanza, aprendizaje y/o capacitación

1.4.2. Impacto en el aprendizaje.

Estos diversos medios tienen un resultado favorable en las diversas ramas, que se indicarán a través de cuadros estadísticos acerca de

mejoras en el aprendizaje a través de nuevas formas de enseñanza apoyadas en medios audiovisuales.

1.4.3. Disponibilidad y acceso al conocimiento.

Una de las mayores ventajas que se obtienen de la utilización de nuevos medios para la enseñanza y el aprendizaje es su disponibilidad y facilidad de acceso. Hoy en día una clase presencial puede ser grabada en un video y puede ser vista después por los alumnos, para revisar algunos puntos que no quedaron muy claros o atenderla completamente si es que no se tuvo la posibilidad de asistir. De igual modo podemos ampliar la audiencia de alumnos y/o poder cubrir alguna ausencia del instructor por motivos de fuerza mayor. Así mismo nos da la posibilidad de escuchar y ver alguna clase / tema dado, que no sea necesariamente de un curso que se este llevando, pudiendo ser este para adelantar o reforzar conceptos, es decir el conocimiento disponible para quien desea adquirirlo. Estos conceptos son aplicables en la mayoría de niveles educativos y aprendizaje en general.

1.5. Análisis de Soluciones

Como se ha revisado hasta el momento son múltiples las formas de mejorar y/o reforzar los procesos de enseñanza / aprendizaje, una es utilizar material audiovisual, para utilizarlo en el conocimiento y preparación que debemos tener para realizar adecuadamente las pruebas a Transformadores de Distribución Eléctrica.

Para la selección adecuada de una forma y medios utilizados para aprender y/o reforzar el conocimiento necesario de la ejecución y desarrollo de estas pruebas, se ha tenido en cuenta las siguientes características:

- a. Fiabilidad del medio de enseñanza, entendiéndose por esta la estabilidad del medio empleado para que resida el producto de enseñanza, en este caso un archivo digitalizado en vez de uno grabado en cintas de video, en donde se producen muchos problemas a través del tiempo..
- b. Costo y capacidad de almacenamiento del medio utilizado para grabar el contenido, se sugiere sea a través de discos grabables (CD's)
- c. Facilidad de incorporar en un solo medio información escrita, fundamentos teóricos, tablas, gráficos, fotos, videos y explicación audible.
- d. Fácil disponibilidad de la información, ya sea esta a través del CD, como también pudiera instalarse dentro de una Intranet de una Universidad u otros centro de enseñanza, que facilite la consulta de cursos y/o tutoriales a través de este medio.

1.6. Solución Propuesta

1.6.1. Características de Diseño.

El diseño del tutorial esta basado en una visualización de la información a través de páginas Html, las cuales tienen un esquema o menú central de opciones y a través del cual se ofrece primero

una introducción o generalidades del contenido del programa, así como los diferentes puntos tratados, es decir, nuestro principal objetivo, las pruebas a que son sometidos los transformadores de distribución eléctrica.

El diseño del programa y las pantallas que lo componen, ha tenido en cuenta que ellas deben de ser de muy fácil uso por los profesionales o estudiantes que lo consulten, estas características permitirán que el usuario sienta un programa muy amigable y de fácil utilización.

1.6.2 Características de funcionalidad.

El material desarrollado permite que el estudiante acceda a la información sin una secuencia obligatoria sobre los temas del contenido del tutorial.

La parte correspondiente a las pruebas en sí tienen la siguiente estructura:

- objetivo de la prueba
- esquemas e instrumentos
- procedimiento
- criterios de aprobación y
- video de la prueba.

Cada una de estas secciones contienen texto, algunas con gráficos o, figuras que pueden ser ampliados para una mejor visualización así como también el poder observar un video sobre la prueba.

1.6.3 Requerimientos de ejecución.

Para que el programa responda con estas características es necesario que este desarrollado con software que permita dar estas características, es decir incorporar material didáctico, texto, figuras, gráficos, imágenes fijas o en movimiento y sonido siempre que lo amerite; estos hacen atractivo el material de enseñanza y actúa como facilitador del aprendizaje.

CAPÍTULO II

DESARROLLO DEL TUTORIAL MULTIMEDIA PARA LAS PRUEBAS DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

En este capítulo se describe brevemente el contenido que se incluirá en el software tutorial, no se hace en forma extendida porque no es el objetivo principal del informe. En el se incluye algunas consideraciones respecto a los grupos de conexión que pueden tener los transformadores, así como la referencia respecto de la norma que regula las pruebas de los transformadores, y luego una breve descripción de las mismas.

2.1 Transformadores y su nivel de operación

Un transformador es un dispositivo que cambia potencia eléctrica de un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna a otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético, consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común.

Uno de los devanados se conecta a la fuente de energía eléctrica alterna y el segundo suministra energía eléctrica a las cargas. Al primero se le llama devanado primario o de entrada y al segundo secundario o de salida.

Dentro de los sistemas de potencia se suele clasificar a los transformadores dependiendo en que parte de esta cadena de suministro es usada. Así tenemos que un transformador conectado a la salida de un generador y que permite elevar los niveles de tensión hasta los cuales vamos a transmitirla como en nuestro país a 60 kV o 220 kV, se denomina transformador de unidad. Al transformador que esta en la llegada de la línea de transmisión se le denomina Transformador de Subestación, normalmente de 220 kV o 60 kV hasta 13 o 10 kV, finalmente cuando queremos llegar a usuarios finales tenemos los llamados Transformadores de distribución, generalmente convirtiendo la tensión anterior a 440, 380 o 220 V. Es a este tipo de transformadores que se aboca en el presente trabajo y en donde analizaremos sus procedimientos de prueba. El orden de potencia abarca desde los 25 kVA de potencia aparente hasta aproximadamente 2 MVA, llamándose a los de mayor potencia precisamente transformadores de potencia

2.2 Influencia del diseño y detalles constructivos que influyen sobre resultados de pruebas.

Todo transformador tiene características constructivas físicas que van a incidir sobre el funcionamiento del mismo.

Si empezamos a analizar por ejemplo desde el núcleo magnético, podríamos tener una elevada corriente de magnetización y apreciables pérdidas en el hierro, si es que no se ha procedido, por ejemplo al armar adecuadamente las placas magnéticas que

constituyen el núcleo del transformador. Así también el correcto montaje de las bobinas y el grado de sujeción, tenemos también que las características físicas de las bobinas nos llevarán a tener influencia sobre la impedancia equivalente del transformador, por lo que tendremos que diseñarlas y calcularlas para obtener valores adecuados de estos parámetros de acuerdo a la potencia y voltajes del transformador.

Las consideraciones que se deben tener con respecto al aislamiento en sus diversas formas, como es entre espiras, entre capas de bobinas, entre bobinas, o entre bobinas y tanque, etc. serán muy importantes para que no ocurran fallas o descargas durante los procesos de prueba, ni tampoco más tarde durante su funcionamiento. También debemos de no sobredimensionar las características de distancias a fin de no tener problemas de aislamiento, ya que llevarán a construir un transformador antieconómico, y por lo tanto tener un producto no rentable.

2.3 Normas que regulan las pruebas de los transformadores

La norma que rige en nuestro país para los transformadores eléctricos es la NTP 370.002, anteriormente llamada ITINTEC 370.002, la cual se basa en la norma de la Comisión Electrotécnica Internacional la CEI 76.

Estas normas contienen una serie de definiciones respecto a lo que constituye un transformador, sus diversos grupos de conexión, así

como del ambiente permisible de trabajo, temperaturas que pueden permitirse como máximas de operación así como los valores límites de tolerancia para las mediciones de pérdidas que se evalúan a través de las diversas pruebas, como relación, aislamiento, vacío, corto circuito, tensión aplicada, etc. Existen otras normas que también se toman como referencia para realizar por ejemplo las pruebas de rigidez dieléctrica del aceite usado en el transformador, la cual es la ASTM – D1816. Para regular otras características del aceite, se siguen una serie de ensayos físico químicos, cada una de las cuales tiene su norma específica. Las pruebas y normas son las siguientes: índice de neutralización (ASTM D-974), pérdidas dieléctricas a 25° C (ASTM D-924), la de tensión interfacial (ASTM D-971), así como la de contenido de Agua KFisher (ASTM D-1533).

2.4 Pruebas de los Transformadores eléctricos

A continuación se detalla brevemente el objetivo, esquema de conexión e instrumentos, procedimiento, criterios de aprobación que tienen cada una de las pruebas a que son sometidos los transformadores.

En el apéndice A del presente informe se adjuntan a modo de ejemplo algunos de los protocolos de prueba de transformadores de 50, 100 y 400 kVA, a fin de apreciar los valores obtenidos y forma de registro de los resultados para cada una de las pruebas consideradas.

2.4.1 Medida de la relación de transformación

a. Objetivo:

El objetivo de la prueba es, verificar que las relaciones de transformación para las diferentes posiciones del tap de un transformador están dentro de la tolerancia de la medición. Esta tolerancia para la relación de transformación es de $\pm .05$ % del voltaje nominal.

b. Procedimiento:

La relación de transformación en un transformador es la relación entre el número de vueltas del devanado primario y el número de vueltas del devanado secundario y también se aplica a las tensiones entre ambos devanados.

A efectos de poder regular y entregar la tensión nominal en uno de ellos, generalmente el de baja tensión, se tienen una serie de tomas en el devanado secundario, llamados taps, que permiten pequeños cambios en la relación de vueltas del transformador, con respecto a la establecida a los valores nominales y por lo tanto variación en su relación entre voltajes primario y secundario o por su relación de transformación.

Estas tomas suelen ser 4 en la mayoría de los casos además del valor nominal, con un rango de variación del ± 2.5 % del voltaje nominal. Así para un Transformador de voltaje nominales de 10,000/230 V, podrá tener variaciones de 10,500, 10,250, 10,000,

9,750 y 9500V en el lado de alta tensión mientras entregue constante 230V en el lado de baja tensión.

En la mayoría de los casos para transformadores monofásicos o trifásicos de baja o media potencia se hace el cambio sin carga, pero para los transformadores que están conectados a líneas de potencia, se les adiciona un conmutador llamado conmutador bajo carga, este permitirá seguir administrando voltaje y potencia constante a la carga aun con las variaciones en su alimentación.

Actualmente se realiza la prueba a través de los llamados puentes de medida de relación de transformación, estos pueden ser analógicos o digitales, y en algunos casos muestran el valor de la relación de transformación y en otros casos dan directamente el porcentaje de error entre el valor teórico y el obtenido en la práctica.

c. Instrumento de Medición:

Como se mencionó anteriormente hoy en día se usan puentes electrónicos para medir esta relación, que permiten de una manera rápida y precisa medir la relación de transformación. Cabe mencionar que en el caso de los transformadores trifásicos esta prueba se debe hacer para cada una de las fases y para cada una de las derivaciones o taps, a través del conmutador de posiciones. En la figura 2.1 se observa el puente digital marca AEMC modelo DTR model 8500, utilizado en la realización de las pruebas de este tutorial. El rango de medidas posibles de realizar es desde 0.8000:1 hasta 1500:1 y el rango de error no es mayor de +/- 0.2 % de la lectura.



Fig. 2.1 Puente para medir relación de transformación

d. Criterios de Aprobación:

La tolerancia para la relación de transformación es de $\pm .05 \%$ en todas sus derivaciones. Se presentará un reporte indicando los porcentajes de variación de la medición con respecto a la teórica, para cada una de las derivaciones, si las hubiera y también por cada fase. Puede presentarse el caso de que el transformador de distribución tenga en el lado de baja tensión doble posibilidad de conexión, por ejemplo 230/380 V o 220/440 V, debiendo realizarse las pruebas para cada una de las posibles conexiones.

2.4.2 Prueba en Vacío

a. Objetivo

El objetivo de la prueba de vacío es determinar las pérdidas y la corriente de vacío.

Las pérdidas medidas en vacío comprenden no solo las pérdidas en el hierro sino también las pérdidas por efecto Joule debidas a la corriente de vacío.

La corriente de vacío tiene dos componentes: la de magnetización i_m requerida para producir el flujo en el núcleo del transformador y la de pérdidas en el núcleo por el fenómeno de histéresis y corrientes parásitas de magnetización, i_{h+e} .

b. Procedimiento:

La prueba de vacío se realiza por lo general, por medidas de seguridad, alimentando el transformador por el lado primario o de menor voltaje manteniendo a circuito abierto el otro devanado. La onda de alimentación de tensión alterna debe ser perfectamente sinusoidal.

Puesto que no hay una corriente en el secundario, la única corriente esta en el primario y es la necesaria para mantener la corriente de magnetización. Como esta corriente esta atrasada casi 90° , el factor de potencia es muy bajo, por lo tanto se demanda muy poca potencia la cual se emplea para superar las diversas pérdidas en el circuito magnético.

La prueba de vacío se desarrolla como sigue:

Se conecta la alimentación de tensión al devanado primario o de menor tensión, para lo cual se debe contar con una fuente de tensión variable, la cual permite ir elevando gradualmente la tensión, hasta llegar al valor nominal del devanado conectado.

A este voltaje se procede a medir la corriente que esta consumiendo el transformador así como la potencia.

La corriente medida será la de vacío y la potencia corresponderá a las pérdidas en el núcleo magnético, como ya se describió anteriormente.

Cabe mencionar que al ser una prueba que implica la aplicación de la tensión nominal en el lado de baja tensión, se tendrá también la tensión nominal en el lado de alta tensión, que esta a circuito abierto, por lo que sea cual fuera ésta, por ejemplo 2.3, 10 o 13 kV, nos debe hacer pensar en la seguridad y acceso restringido a la que debe tenerse la zona de prueba del transformador. La corriente media será la de vacío y la potencia corresponderá a las pérdidas en el núcleo magnético, como ya se describió líneas arriba.

c. Esquema e instrumentos de medición:

El esquema de la prueba en vacío de un transformador trifásico es el que se señala en la figura 2.2. Suele tenerse en las salas de pruebas de transformadores, transformadores de corriente o de tensión que va a alimentar a nuestros instrumentos principales, en este caso amperímetros, voltímetros y vatímetro, por lo que las lecturas que se realizaran en los instrumentos deberán tener en cuenta los factores de transformación, los cuales se indicarán en la hoja que detalla el protocolo de prueba.

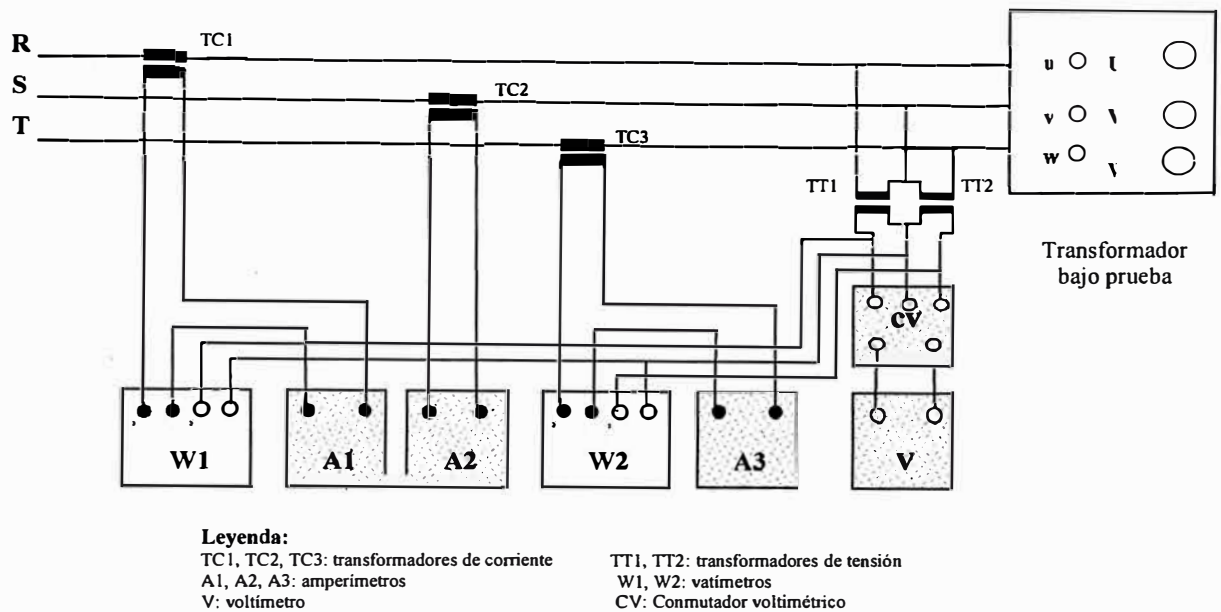


Fig 2.2 Esquema de conexión para prueba en vacío de un transformador trifásico (Método de los dos vatímetros)

La clase de precisión de todos los equipos de medida utilizados es de 0.5, el voltímetro tiene escala de 0-300 y 0-700 V, el amperímetro tiene escalas de 0.5-1, 2 y 5 A y el vatímetro con entrada con escalas de corriente de 1-5-25 Amperios y en voltaje con escalas de 100-200-500 V. Las características completas de los instrumentos se encuentran en el Apéndice del presente informe.

d. Criterios de Aprobación:

Como el objetivo es medir las pérdidas y la corriente de vacío estas deben estar dentro de los siguientes rangos de tolerancia:

- Pérdidas en el hierro: + 1/7 del valor garantizado
- Corriente de vacío: + 3/10 del valor garantizado

2.4.3 Prueba en Corto Circuito

a. Objetivo:

El objetivo de la prueba de corto circuito es poder determinar la tensión de corto circuito del transformador y las pérdidas en el cobre.

Normalmente la tensión de corto circuito se expresa en un % y para un transformador, por ejemplo para el transformador de 100 kVA cuyo protocolo se adjunta en el Apéndice, la tensión de corto circuito es de 4.2 %.

b. Procedimiento:

Para esta prueba se alimenta normalmente el transformador por el lado de alta tensión a fin de alcanzar en el su corriente nominal, teniendo cortocircuitado el lado de baja tensión.

Se procede a aumentar gradualmente la tensión de alimentación hasta tratar de alcanzar el valor de la corriente nominal en el lado de alta tensión. La potencia leída en esta prueba, sea del modo monofásica o trifásica nos dará las pérdidas en el cobre del transformador.

Estas pérdidas son las consideradas a la temperatura ambiente en el que se realiza la prueba, la norma específica que se deben hallar tanto las pérdidas como la tensión de corto circuito a 75° C, que es la temperatura aproximada de trabajo del transformador.

c. Esquema e instrumento de medición

El esquema de conexión para esta prueba se muestra en la figura 2.3 y se requerirán, amperímetros, voltímetros y vatímetros a fin deponer tomar las lecturas correspondientes.

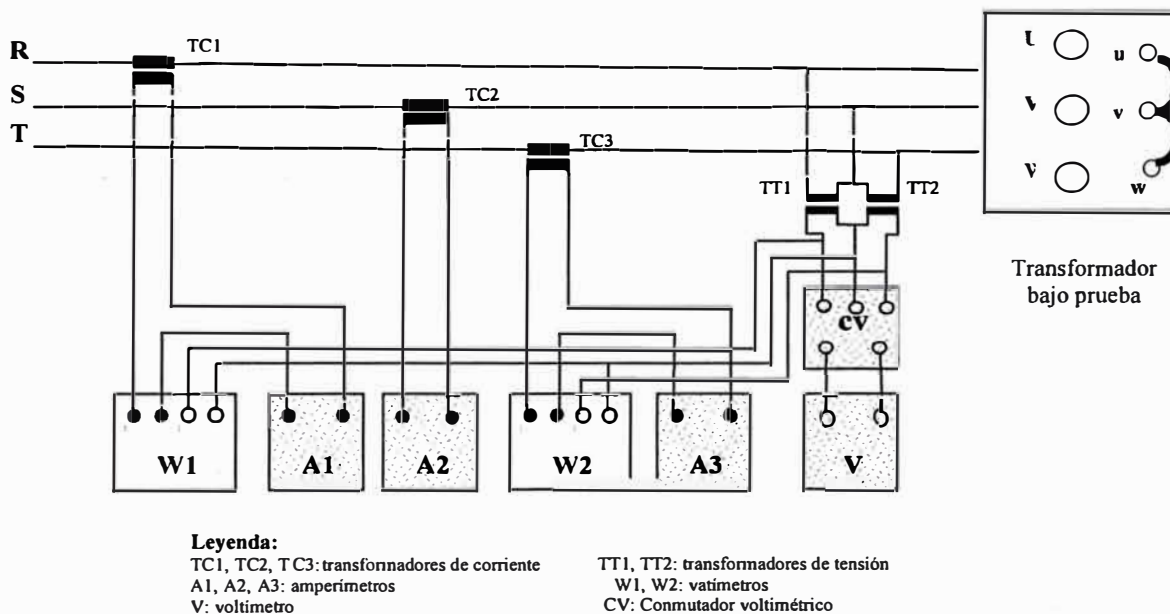


Fig 2.3 Esquema de conexión para prueba en corto circuito de un transformador trifásico (Método de los dos vatímetros)

La clase de precisión de todos los equipos de medida utilizados es de 0.5, el voltímetro tiene escala de 0-300 y 0-700 V, el amperímetro tiene escalas de 0.5-1, 2 y 5 A y el vatímetro con entrada con escalas de corriente de 1-5-25 Amperios y en voltaje con escalas de 100-200-500 V. Las características completas de los instrumentos se encuentran en el Apéndice del presente informe.

d. Criterios de aprobación:

Para las pérdidas en el cobre estas deben estar en el siguiente rango de tolerancia:

pérdidas en el cobre: $\pm 1/7$ del valor garantizado

tensión de cortocircuito: $\pm 1/10$ del valor garantizado.

2.4.4 Prueba de Tensión Aplicada

a. Objetivo:

El objetivo de la prueba es determinar si el transformador bajo prueba soporta una tensión de prueba que se aplica sucesivamente sobre cada bobinado manteniendo los otros conectados al tanque y a tierra, durante el tiempo de 1 minuto, sin que ocurran descargas

b. Procedimiento:

Para la realización de esta prueba previamente se debe haber conectado entre sí todos los terminales del lado bajo prueba. Así mismo los bornes del otro devanado se conectarán entre sí y a su vez también al tanque del transformador y a una toma de tierra en la sala de pruebas, luego recién aplicaremos la tensión de prueba.

Entre el transformador que alimenta con la tensión de prueba y el transformador bajo prueba, debe de colocarse un par de electrodos esféricos, con una determinada separación entre ellas a fin de que si nos excedemos en el valor de la tensión de alimentación prevista, esta no llegue y dañe el transformador bajo prueba y origine una descarga a través de dichas esferas.

La separación entre las mismas estará en función al equivalente de ruptura en el aire versus la tensión de ruptura entre bobina y tierra en un medio dieléctrico, como es en este caso el aceite. Un ejemplo de

este transformador lo podemos apreciar en la figura 2.4, de .220/140 kV – 60 Hz.

La prueba comienza con tensión eficaz igual a 1/3 del valor estipulado, elevándola lo más rápido posible hasta alcanzar el valor apropiado, sin que se corte el circuito es decir ocurra una descarga.



Figura 2.4 Transformador de alimentación para Prueba de Tensión Aplicada

Según la norma NTP 370.002 en su sección sobre Niveles de Aislamiento, nos da dos cuadros respecto a los valores de la tensión de prueba a aplicar que esta de acuerdo a la tensión máxima de la red a la que estará conectada cada lado, esta tensión esta dada en kV eficaces.

Existe una tabla que se aplica para transformadores inmersos en aceite que no están previstos para soportar ondas de choque, (ver Tabla 1.1) y otra para aquellos previstos a soportar ondas de choque (ver tabla 1.2).

Así tenemos que por ejemplo para un transformador trifásico de 10000/230 V, la tensión a aplicar de prueba en el caso de AT contra BT y tierra sería de 25 kV, y para la prueba de BT contra AT y Tierra sería de 2.5 kV.

Tensión Máxima de la Red (kV Eficaces)	Nivel de Aislamiento Tensión de Prueba a frecuencia industrial (kV Eficaces)
Menor que 1.1	2.5
1.1	3.
3.6	8
7.2	15
12.5	25
17.5	36
24	50

*Tabla 1.1 Extracto de la Norma NTP 370.002 Sección
Niveles de Aislamiento de bobinados y partes no previstas
para soportar ondas de choque*

En la práctica para las tensiones mayores a 2.3 kV se toman las referencias de la tabla 1.2 que considera que debería soportar ondas de choque, por lo tanto el nivel de aislamiento a aplicar para 10,000 V será de 28 kV.

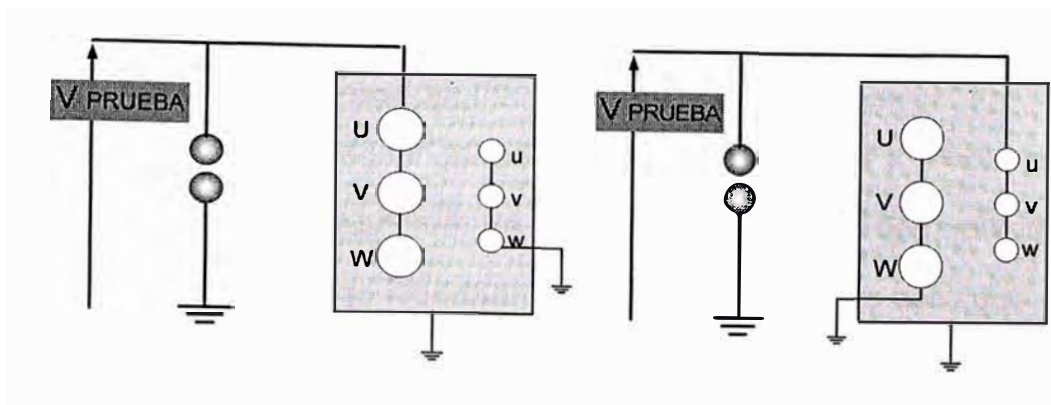
Tensión Máxima de la Red (KV Eficaces)	Nivel de Aislamiento Tensión de Prueba a frecuencia industrial (KV Eficaces)
3.6	16
7.2	22
12	28
17.5	38
24	50

Tabla 1.2 Extracto de la Norma NTP 370.002 Sección Niveles de Aislamiento de bobinados y partes, previstos para ondas de choque

c. Esquema e Instrumentos de Medición:

Para esta prueba lo que requerimos es la medida del voltaje eficaz aplicado al transformador por lo que se requiere por lo general de un divisor capacitivo de tensión y un voltímetro para las lecturas correspondientes.

Un esquema de la conexión necesaria para la prueba es mostrada en la figura 2.5, para cada uno de los devanados. Así mismo en la figura 2.6 se muestra la imagen de un transformador Trifásico de 200 kVA, 10000/230 V, sometido esta prueba.



AT contra BT y Tierra

BT contra AT y Tierra

Figura 2.5 Esquemas de conexión para la prueba de tensión aplicada

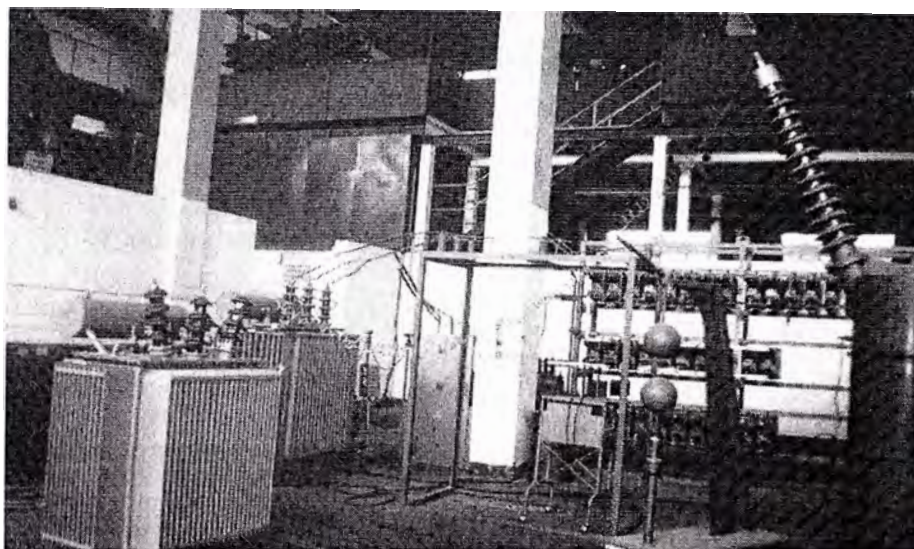


Figura 2.6 Prueba de Tensión Aplicada a un transformador trifásico de 10000/230 V

Las clase de los instrumentos de medición es 0.5 y el transformador elevador utilizado fue de 20 KVA de potencia y de 230 V / 75 kV . Datos de los instrumentos utilizados están en el Apéndice del informe.

d. Criterios de Aprobación:

La prueba se dará por aprobada si es que no llega a producirse descarga entre ninguno de los bobinados en prueba y tierra durante el minuto de prueba. De ocurrir alguna descarga quiere decir que se hubiera producido una perforación o descarga entre un bobinado y tierra. Los valores a aplicar para la prueba dependerán de los voltajes tanto primario como secundario a que va a ser conectado el transformador ya en funcionamiento y se rigen por las tablas contenidas en la norma expuesta en la parte del procedimiento de la prueba.

2.4.5 Prueba de Tensión Inducida

a. Objetivo:

El objetivo de la prueba es verificar el aislamiento entre espiras de los bobinados aplicando una tensión igual al doble de la nominal, manteniendo el otro lado a circuito abierto. Esta tensión también se debe mantener durante un minuto sin que se produzca una descarga.

b. Procedimiento:

Como para esta prueba se requiere aplicar una tensión sinusoidal igual al doble de la nominal, por facilidad y seguridad se alimentará por el lado de baja tensión.

Si a un transformador se le aplica directamente una tensión nominal igual al doble del valor previsto que esta diseñado para trabajar, lo

que conseguiremos será simplemente saturar el núcleo magnético y por lo tanto el transformador tomará una gran corriente, inclusive de repente no se podrá alcanzar dicho voltaje, por lo que se recurre al artificio de realizar la prueba aplicando el doble de tensión pero al doble de frecuencia que permitirá no llegar a saturar el núcleo alcanzando valores de corriente muy cercanos a la corriente de vacío o magnetización a frecuencia y voltajes nominales.

La prueba se deberá empezar aplicando una tensión máxima igual $1/3$ del valor establecido, elevando lo más rápido posible hasta llegar a la tensión prevista ($V_{\text{prueba}} = 2 V_{\text{nominal}}$) y mantenerla por 1 minuto, al final se debe bajar rápidamente la tensión antes de proceder al corte de la misma.

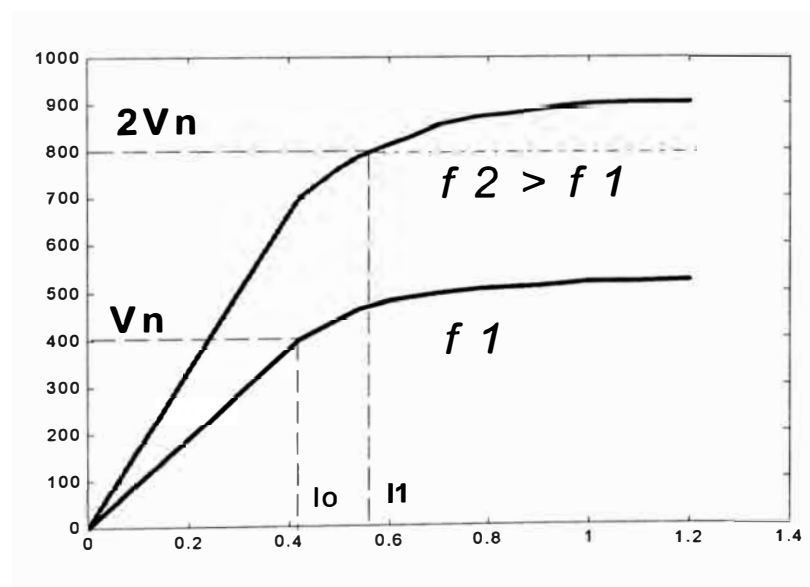


Figura 2.7 Comportamiento de las corrientes de magnetización a diferentes frecuencias

En algunos casos será necesario el uso de un transformador auxiliar a fin de elevar la tensión necesaria para alcanzar el valor requerido

c. Esquema e Instrumentos de Medición:

Para esta prueba lo que requerimos es aplicar una tensión igual al doble de la nominal pero a doble frecuencia por lo que tenemos que valernos de un equipo adicional, el generador de tensión a doble frecuencia, el cual alimentará nuestro transformador bajo prueba en forma incremental hasta llegar a la tensión prevista. Se requiere medir adicionalmente de la tensión de alimentación, la corriente que absorbe que debe estar por el orden de la corriente de vacío o magnetización a condiciones normales

e. Criterio de Aprobación:

La prueba se dará por aprobada si es que no llega a producirse descarga entre las espiras de ninguno de los bobinados.

2.4.6 Prueba de Resistencia de Aislamiento

a. Objetivo:

El objetivo de la prueba es determinar el valor de resistencia de aislamiento entre los devanados o arrollamientos y el de estos contra tierra.

b. Procedimiento:

Para la realización de esta prueba se utilizará el megóhmetro, el cual aplica una tensión continua en los bobinados del transformador.

El resultado de la prueba dependerá mucho de las condiciones de diseño, sequedad y limpieza de los aislantes que cubren el transformador.

Las normas especifican que los devanados y el aceite aislante deben estar a una temperatura cercana a los 20 °C, y todos los bobinados deberán estar inmersos en el mismo aceite aislante.

Todos los terminales del lado o bobinado bajo prueba deberán cortocircuitarse, así mismo los terminales que no están bajo prueba, además la carcasa y el tanque deberán conectarse a tierra, mientras se aplica el voltaje de prueba.

Dependiendo del instrumento y de la tensión nominal de referencia se aplicara la tensión de prueba, no hay una precisión específica en la norma al respecto, pero normalmente para valores hasta de 230 V suele aplicarse 500 V de tensión de prueba y para 460 V se aplicará 500 o 1000V.

Como regla general el voltaje debe ser aplicado hasta que la lectura no cambie en un margen de 15 segundos o la lectura final que se observa al cabo de 60 segundos.

Las pruebas normalmente incluyen los siguientes casos: Alta tensión vs. Baja tensión, Alta Tensión vs. Tierra y finalmente Baja Tensión vs. Tierra

Valores experimentales pueden verse en la sección de ejemplos de protocolos de prueba.

Después de realizarse la prueba se debe descargar a tierra ambos devanados a fin de que no quede carga almacenada en ellos.

c. Esquema e Instrumentos de Medición:

Para la realización de esta prueba se realiza la medida en forma directa con el instrumento de medición llamado Megger o Megóhmetro.

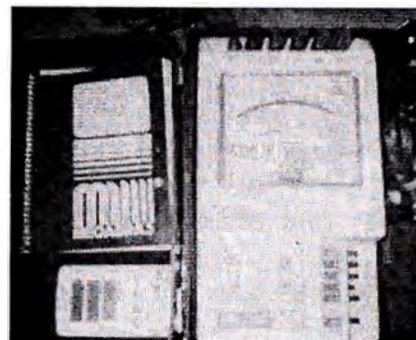
Los hay analógicos o digitales, en la figura 2.8 se muestra un

Megóhmetro electrónico analógico, marca Megabras modelo MI-15KV, el

cual puede aplicar tensiones de prueba de 1,000, 5,000, 10,000 y 15,000 Voltios. El alcance de medida de aislamiento va de 0 a 3.000,000 M Ω , más detalles el mismo en el apéndice del informe.

d. Criterios de Aprobación:

La prueba será exitosa sí el valor obtenido de cada una de las pruebas como mínimo 1 Megaohm por 1000 V de prueba



*Figura 2.8: Megóhmetro
Megabras 15 kV*

2.4.7 Prueba de Rigidez dieléctrica del aceite

a. Objetivo:

El objetivo de la prueba es determinar el valor de la rigidez dieléctrica del aceite en el que está inmerso la parte activa del transformador.

El aceite dieléctrico es un derivado más del petróleo, y es usado para facilitar la disipación del calor del núcleo y devanados durante el funcionamiento del transformador además de las grandes cualidades dieléctricas es decir aislantes.

b. Procedimiento:

La prueba se realiza con la ayuda de un instrumento llamado espinterómetro, el cual consta de un transformador de alto voltaje regulable y un recipiente o cuba provista de dos electrodos semiesféricos de 25 mm. de diámetro, en donde se deposita el aceite a probar.

El procedimiento comprende desde la extracción de la muestra de aceite del transformador, a través de la válvula de descarga o vaciado del aceite, enjuagando con este aceite la cuba de espinterómetro hasta por 3 veces, tanto el interior de la cuba y semiesferas, como la aleta de circulación que tiene incorporada en la tapa de la cuba, es decir se trata de que todo el interior del recipiente este en contacto con el aceite en prueba. Se deja reposar por 5 minutos y luego se empieza a aplicar tensión a una velocidad de 3KV por segundo, hasta que se presente una descarga entre los electrodos.

Suele no considerarse la primera medida y luego se realizan 5 pruebas con un intervalo de 1 minuto entre ellas.

El valor de la tensión de descarga no debe ser menor de 30 KV a una distancia entre electrodos de 2 mm, por lo que la rigidez dieléctrica estará por el orden de los 150 KV/cm.

El resultado de la prueba dependerá mucho de las condiciones en las que se haya sacado el aceite, y el grado de limpieza y de humedad del mismo.

Hoy en día suelen solicitarse otras pruebas llamadas de características físico químicas, para poder determinar otras características del aceite, que se ha encontrado inciden y revelan comportamiento de trabajo del transformador, como lo son posibles descargas parciales o deterioro de los diversos materiales orgánicos dentro del tanque del transformador y que van contaminando el aceite.

Dichas pruebas son la de Índice de neutralización (norma ASTM D-974), la de pérdidas dieléctricas a 25 °C, (norma ASTM D-974), tensión interfacial (norma ASTM D-971) y contenido de agua Kfisher (norma ASTM D-1533)

c. Instrumentos de Medición:

Para esta prueba lo que requerimos como se ha mencionado anteriormente es un equipo llamado espinterómetro, en el cual determinaremos el grado de rigidez dieléctrica del aceite contenido

en el transformador bajo prueba. El espinterómetro utilizado para las pruebas realizadas fue de marca Hipotronics con una escala máxima de 60 KV.

d. Criterios de Aprobación:

El nivel de ruptura mínimo del aceite estará sobre los 150 kV/cm, para asegurar una buena calidad de rigidez dieléctrica. Un ejemplo de valores de prueba se puede observar en el protocolo de prueba del transformador monofásico de 50 kVA.

El grado de contaminación del aceite así como la presencia de agua en el mismo determinará el que se haga un proceso de filtrado y secado del aceite o recomendar el cambio total del mismo para el transformador

CAPÍTULO III

CONSIDERACIONES DE USO DEL TUTORIAL

En este capítulo final veremos algunas consideraciones es necesario tener en cuenta para que el tutorial pueda ser apreciado en un computador.

3.1. Requerimientos de Utilización

Debemos considerar dos tipos de requerimientos siempre que estemos pensando utilizar o instalar un software en un computador, los de hardware y los de software.

El tutorial esta diseñado para ser utilizado directamente desde un CD-Rom, pero podría también pensarse y preparase para instalarse en un computador, pudiendo instalarse en mas de uno para que cada máquina cuente con su propia versión del programa.

3.1.1. Requerimientos mínimos de Hardware

Los requerimientos de hardware, son aquellas características que debieran tener como mínimo para poder visualizar el software, con todas las funcionalidades de que ha sido previsto, y sin que la ejecución del mismo sea demasiado lenta o no funcione por no encontrar la capacidad mínima de disco o de memoria. Hoy en día la mayoría de computadoras personales que se comercializan cumplen con estas mínimas condiciones requeridas pero de todas

maneras es necesario conocerlas por si nuestro recurso es de mas antigüedad.

Los requerimientos mínimos serían:

- Procesador Pentium de 200 Mhz
- 32 MB de memoria RAM
- CD-ROM Drive 4X
- Tarjeta de sonido de 16 bit compatible con Sound

Blaster

- Parlantes
- Pantalla de 16 bits y resolución mínima de 800 X 600
- Espacio en disco de 4MB

3.1.2 Requerimientos mínimos de Software

Con lo que respecta al software se ha previsto los siguientes requerimientos:

- Sistema Operativo :Microsoft Windows 95 / 98 NT / 2000 o XP
- Navegador: Microsoft Internet Explorer 5.0 o superior
- Macromedia Flash Player versión 5 o superior
- QuickTime Player versión 3 o superior
- Adobe Acrobat Reader version 4 o superior.

Los dos primeros se logran fácilmente ya que se obtienen con la instalación de un sistema operativo en un computador personal.

En cuanto al Macromedia Flash Player, si es que no esta instalado en la PC, se tiene en el CD dicho archivo a fin de facilitar su uso, lo

mismo sucede con el Quick Time que nos permitirá ver los videos de las pruebas.

Así mismo para poder observar los protocolos de prueba de algunos transformadores, estos se han escaneado y llevados al formato de un archivo tipo Pdf y pueden visualizarse con el sw Acrobat Reader 4 o superior. Como este programa es muy útil hoy en día para visualizar documentos se ofrece la posibilidad de instalar una versión libre del mismo. Esta posibilidad esta en la sección correspondiente a visualización de documentos.

3.2 Consideraciones básicas de uso.

El software tutorial utiliza varios recursos del computador cuando se ejecuta, por ejemplo: unidad lectora, programas navegadores, y de visualización de archivos multimedia, estos por lo general tienen un tamaño significativo (básicamente los videos), lo cual obliga a uso de la memoria Ram de la computadora, haciendo lento su accionar, por lo que se recomienda ejecutar un mínimo de programas adicionales en forma simultánea.

Los gráficos e imágenes se han logrado obtener en un formato que no ocupa mucho espacio ni recursos para su visualización, pero los que si lo requieren son los videos de las pruebas.

3.3 Recomendaciones ante posibles problemas

Los errores o problemas encontrados durante las pruebas a que ha sido sometido el programa durante su construcción, se han concentrado básicamente en la falta de algunos de los componentes nombrados anteriormente y / o problemas con la lectora de CD, los cuales una vez superados no volvieron a presentarse. Se ha incidido en que si algún componente es requerido y no lo encuentra instalado en la computadora este pueda ser instalado desde el mismo CD que contiene el tutorial.

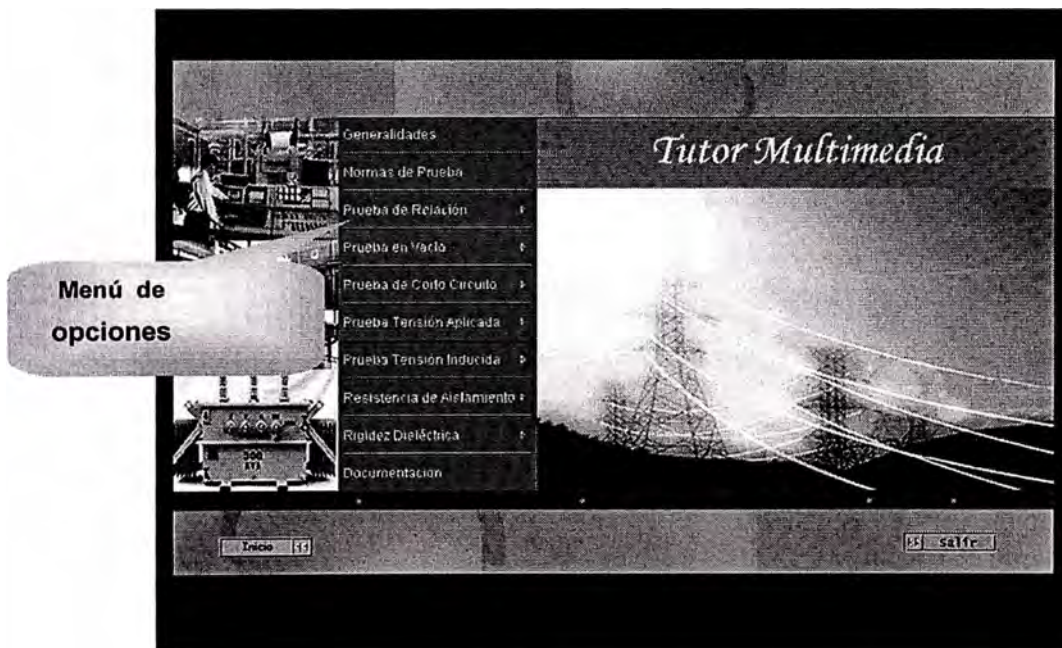
En todo caso para prevenir estos problemas es necesario verificar si cumple con los requerimientos mínimos tanto de hardware como de software, y darles una solución previa antes de ejecutar el programa.

3.4 Guía de uso del tutorial

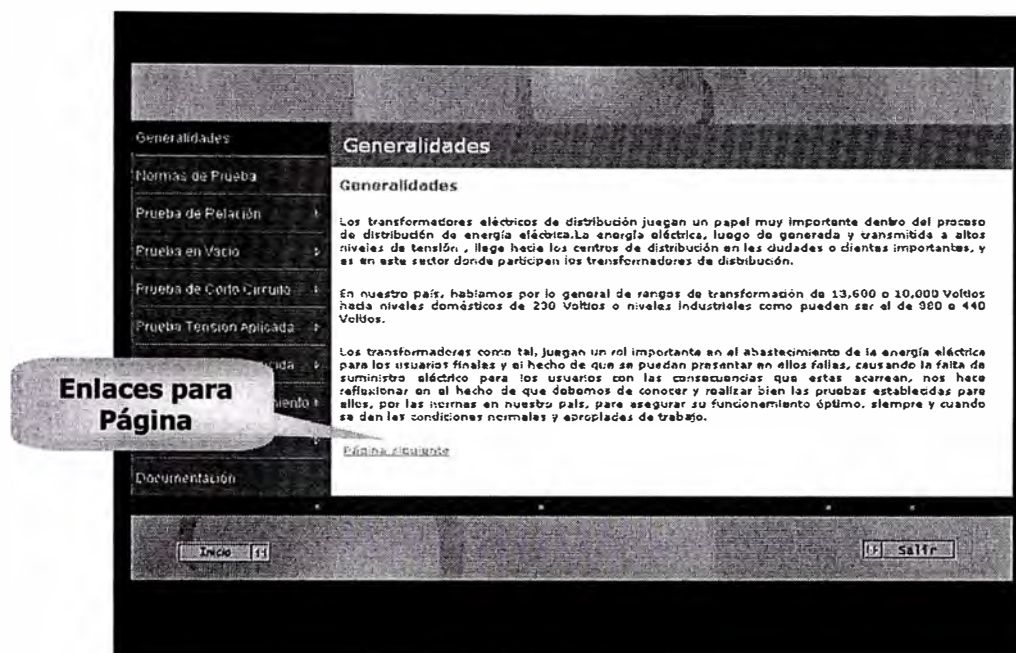
A continuación se muestran y describen algunas de las pantallas del tutorial para describir algunas funcionalidades de mismas y que permiten su fácil manejo. Ya que el ambiente es bastante gráfico se hace uso intensivo del mouse por lo que es necesario su conocimiento de manejo.



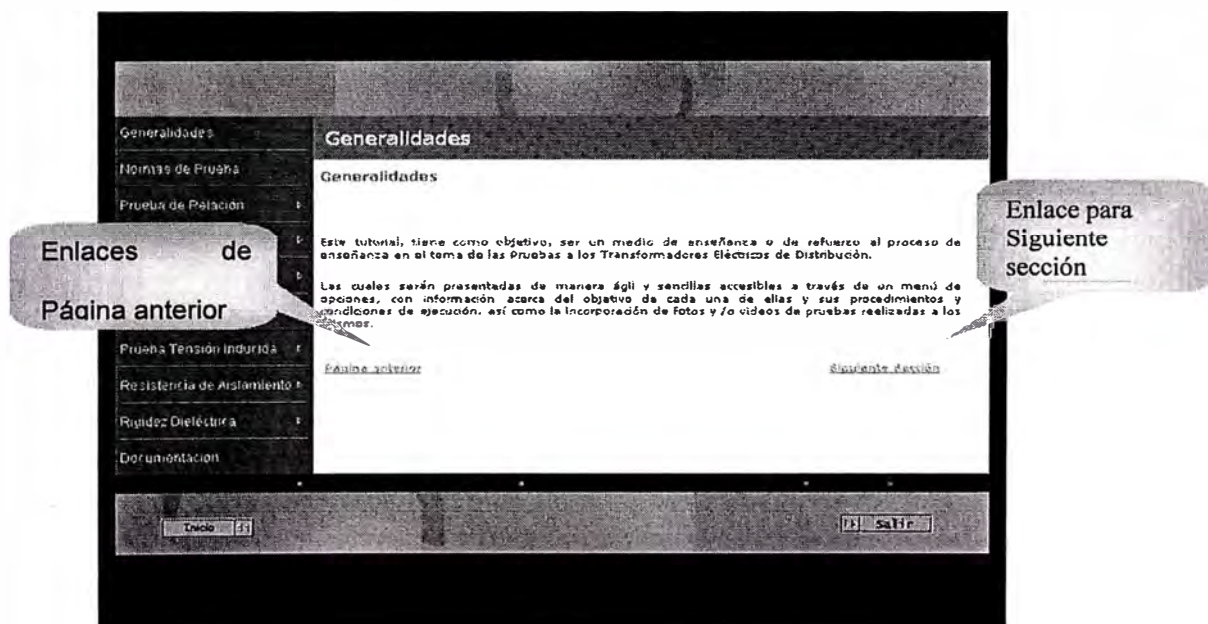
Pantalla 1: Pantalla de Presentación del Tutorial o Pantalla Inicio, con dos botones uno para ingresar al tutorial y otro para salir y abandonar el mismo.



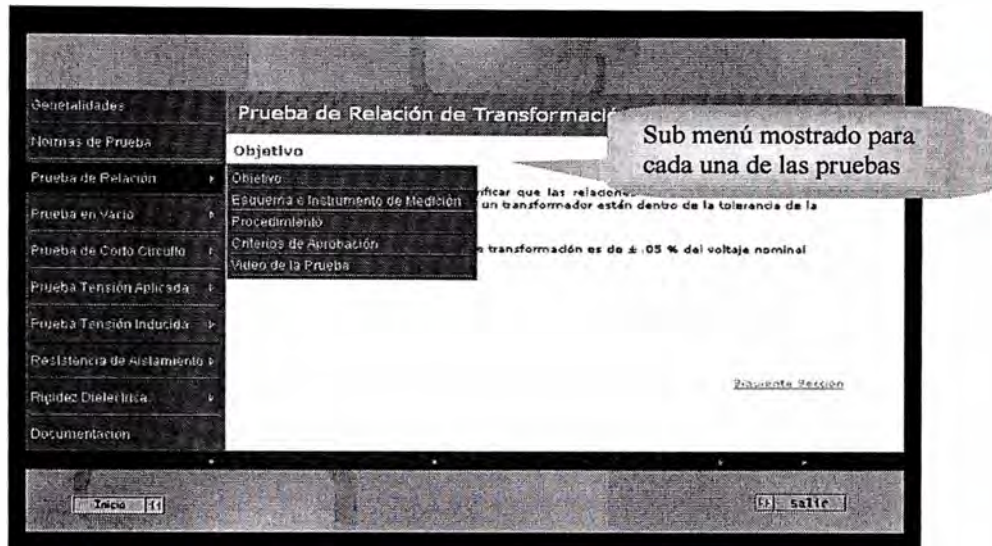
Pantalla 2: Menú Principal de opciones del tutorial, algunos de ellos tienen sub opciones. Presenta 2 botones uno para regresar a la pantalla de Inicio y otro para salir y abandonar el tutorial.



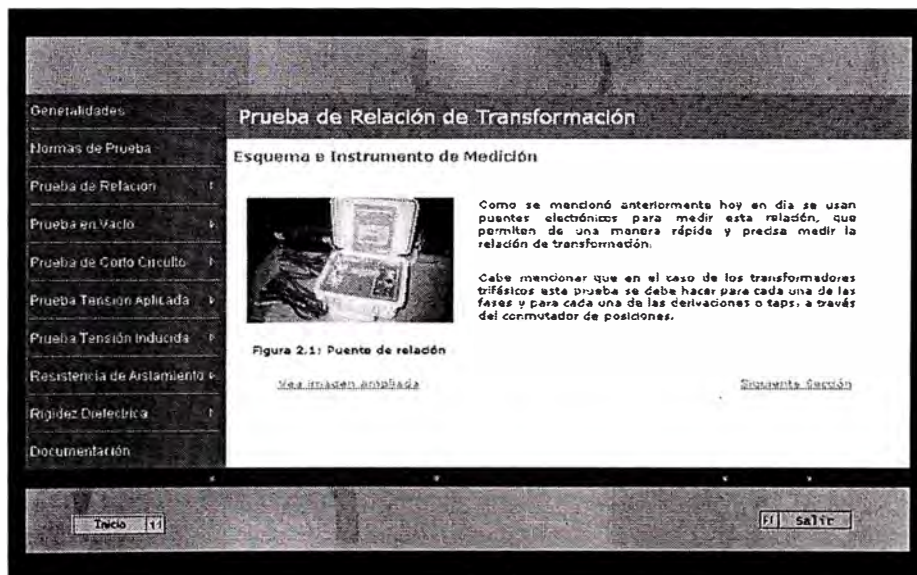
Pantalla 3: Pantalla de Generalidades, en la que se expone sobre el contenido, finalidad y uso del tutorial. En este caso el contenido no entra en una sola página de visualización por lo que se muestra opción a ver paginas adicionales a través de un enlace



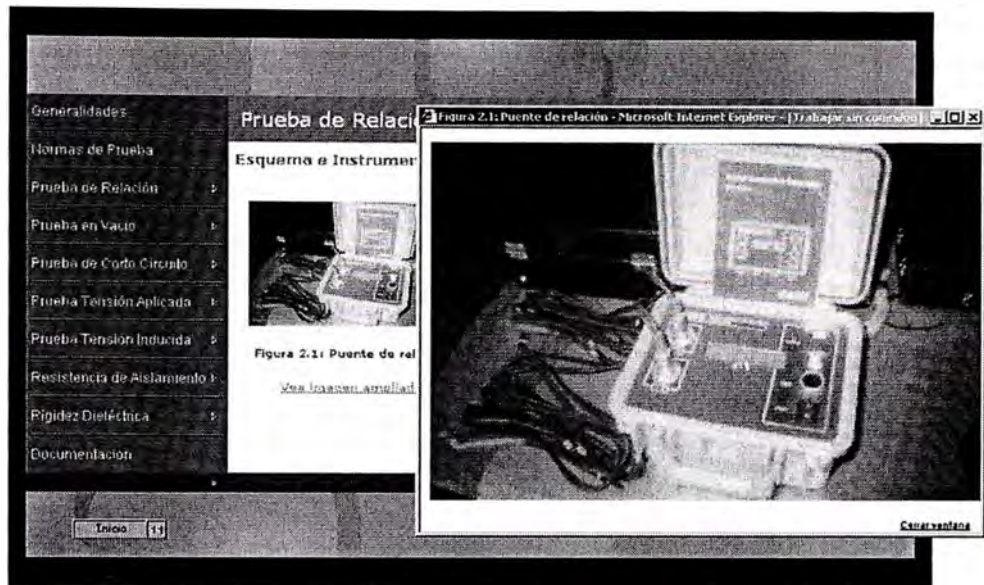
Pantalla 4: De la misma manera de darse el caso, se puede regresar a través de enlaces a una página anterior o pasar a una siguiente sección como lo muestran los textos y enlaces.



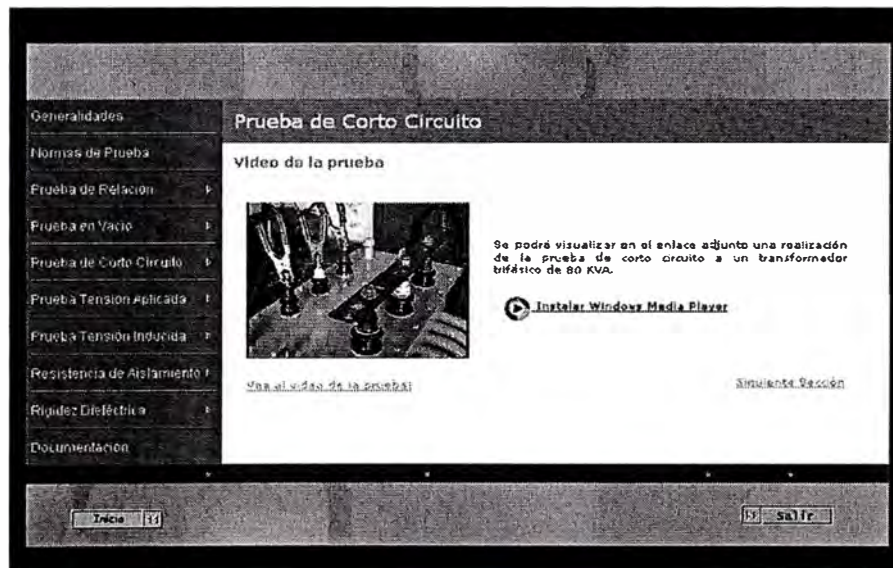
Pantalla 5: Pantalla típica con el sub menú para cada una de las pruebas, las opciones son objetivo, esquema e instrumentos de medición, procedimientos, criterios de aprobación y video de la prueba, si esta lo tuviera.



Pantalla 6: Pantalla que muestra fotos con instrumentos o instrumentos que se requieran para la realización de las pruebas.



Pantalla 7: Sobre la pantalla anterior se visualizará una ampliación de la foto, en este caso del instrumento de medición



Pantalla 8: Pantalla con opción de presentación de un video de la prueba. Se requiere por lo menos de un software visualizador de videos, de no tenerlo se puede instalar el software Windows Media Placer, para lo cual se muestra un enlace correspondiente.



Pantalla 9: Pantalla que muestra el video de la prueba, en este caso se muestra el correspondiente a la prueba de corto circuito.

Generalidades

Normas de Prueba

Prueba de Relación

Prueba en Vacío

Prueba de Corto Circuito

Prueba Tensión Aplicada

Prueba Tensión Inducida

Resistencia de Aislamiento

Rigidez Dieléctrica

Documentación

Documentación

Documentación General

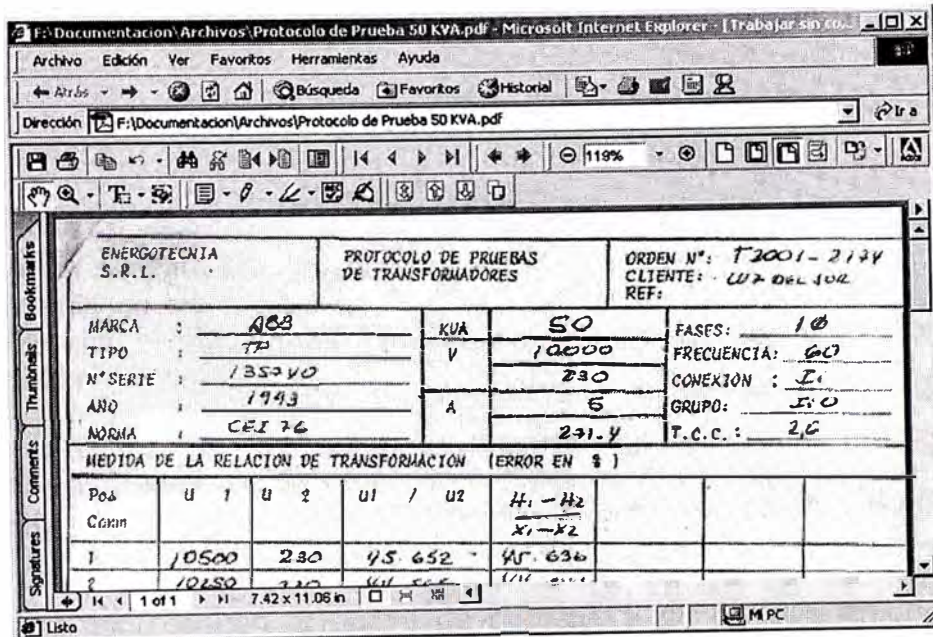
A continuación se tiene un grupo de documentos que permiten complementar la información de las diferentes secciones de este tutorial. Para acceder a ellos dar un clic sobre el icono adjunto al título del documento.

Protocolos de Prueba	Ver Archivos Adjuntos
Prueba para un Transformador 1 de 50 KVA	
Prueba para un Transformador 2 de 100 KVA	
Prueba para un Transformador 3 de 160 VA	
Prueba para un Transformador 4 de 400 KVA	

Para visualizar la documentación asociada al tutorial multimedia es necesario tener previamente instalado el Adobe Acrobat. [Instalar Adobe Acrobat 5.0](#)

Inicio 11 Salir

Pantalla 10: Pantalla que muestra la documentación que acompaña el tutorial, en este caso son los protocolos de prueba de 4 transformadores, monofásicos y trifásicos de diversas potencias, estos se presentan en un formato tipo pdf. Se necesita el software Acrobat Reader para poder visualizar dichos archivos, en caso no se tenga también se muestra una opción para descargar dicho programa y poder visualizar los documento



Pantalla 11: Visualización del archivo que muestra un protocolo de prueba , se muestra a manera de imagen

CONCLUSIONES

1. El tutorial constituye un medio o alternativa complementaria para el conocimiento de los procedimientos de pruebas de los transformadores de distribución eléctrica, para estudiantes, técnicos y profesionales en la especialidad.
2. Los procedimientos de pruebas de los transformadores se rigen por normas, pero estas solas no pueden manejar las pruebas, sino que se debe tener el personal debidamente capacitado así como todos los instrumentos con clase de precisión adecuados.
3. Del haber contado con el apoyo de cualquiera de las dos empresas líderes en el mercado nacional, hubiera permitido darle mayor nivel y presentación a la incorporación de videos de ellas elevando el nivel de calidad del tutorial. Mas aún, con una de ellas que ha implementado en el presente año una nueva sala de pruebas para transformadores con nuevos equipos de medición
4. Este informe y producto da una pauta de lo que se puede hacer dentro de nuestra propia facultad con algunos temas en específico, que por su naturaleza no son de fácil acceso a los estudiantes en su forma práctica, como podrían ser pruebas y ensayos a transformadores de potencia, instalación de grandes transformadores en centrales de transformación, instalación de generadores, tendido de líneas de transmisión, trabajos de mantenimiento de las mismas, etc. que por su naturaleza exigen un desplazamiento fuera del campus universitario.
5. Hoy en día el proceso de enseñanza/aprendizaje tiene que adaptarse a los cambios y facilidades tecnológicas, es labor de los profesionales con conocimientos de estas áreas quienes deben de proponer y desarrollar estas nuevas alternativas, Las universidades deben de cambiar sus prácticas y concepciones pedagógicas aprovechando e incorporando estas nuevas tecnologías.

APENDICE

A continuación se adjuntan las características de los instrumentos utilizados en las diferentes pruebas:

a. **Amperímetros:**

Marca: Yokogawa, (modelo JIS-C1102, type 2013), de hierro móvil para corriente alterna, clase de precisión 0.5, posición de trabajo horizontal, campo de frecuencia nominal: 45-65 Hz.

Escalas de corriente nominal: 0.5 – 1 – 2 –5 amperios. Para la mayor escala tiene un consumo de 145 mW y una inductividad entre 2 y .5 uH.

b. **Voltímetro:**

Marca: Yokogawa, (modelo JIS-C1102, type 2013), de hierro móvil para corriente alterna, clase de precisión 0.5, posición de trabajo horizontal
Escalas de tensión nominal: 300 – 750 Voltios. Para ambas escalas el consumo es 1 mA.

c. **Vatímetros:**

Marca Hartmann & Braun (H&B ELIMA), modelo Wattavi, de tipo electrodinámico, para corriente alterna, conexión monofásica o trifásica. Clase de precisión 1.5, posición de trabajo horizontal, tensión de prueba de 2 kV.

Escalas de corriente nominales: 1 – 5 –25 amperios.

Escalas de tensión nominales: 100 –200 – 500 voltios.

Escala de lecturas : 0 – 100 y 0 – 250

Factores de lectura para la potencia según las escalas de corriente y tensión posibles de usar:

		Monofásica		Trifásica	
		0-100	0 - 250	0 - 100	0 – 250
1 A	100 V	1	-	2	-
	200 V	2	-	4	-
	500 V	5	-	10	-
5 A	100 V	5	-	10	-
	200 V	10	-	20	-
	500 V	-	10	-	20
25 A	100 V	-	10	-	20
	200 V	-	20	100	-
	500 V	-	50	-	100

d. Megóhmetro:

Megóhmetro electrónico analógico, marca Megabras modelo MI-15KV, el cual puede aplicar tensiones de prueba de 1,000, 5,000, 10,000 y 15,000 Voltios.

El alcance de medición de 0 a 3.000,000 MΩ.

Corriente de cortocircuito de 320 microamperios, e índice de clase del instrumento 2 (referida a la longitud de escala según norma DIN 43780).

e. Equipo medidor de relación de Transformación:

Digital Transformer Ratiometer DTR Modelo 8500, marca AEMC instruments medidor de relación de transformación, permite así mismo medir simultáneamente polaridad y corriente de excitación

Rango de medidas de relación desde 0.8000: 1 hasta 1500: 1

Precisión +/- 0.1 % de lectura en el rango <1000: 1 y +/- 0.2 % de lectura en el rango >1000: 1

A continuación se adjuntan los siguientes protocolos de pruebas de transformadores:

- Protocolo de Prueba de Transformador de 50 kVA – monofásico
- Protocolo de Prueba de Transformador de 100 kVA – trifásico
- Protocolo de Prueba de Transformador de 160 kVA – trifásico
- Protocolo de Prueba de Transformador de 400 kVA – trifásico

Dichos protocolos pertenecen a la compañía Energotecnia SRL, quien nos ha autorizado su publicación en este informe.

MARCA : <u>ABB</u>	KVA	<u>50</u>	FASES: <u>1Ø</u>
TIPO : <u>TP</u>	V	<u>10000</u>	FRECUENCIA: <u>60</u>
N° SERIE : <u>135740</u>		<u>230</u>	CONEXION : <u>II</u>
AÑO : <u>1993</u>	A	<u>5</u>	GRUPO: <u>510</u>
NORMA : <u>CEI 76</u>		<u>271.4</u>	T.C.C. : <u>2,6</u>

MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION (ERROR EN %)

Pos	U 1	U 2	U1 / U2	H ₁ - H ₂ X ₁ - X ₂
1	10500	230	45.652	45.636
2	10250	230	44.565	44.544
3	10000	230	43.478	43.449
4	9750	230	42.391	42.410
5	9500	230	41.304	41.317

PRUEBAS EN VACIO A 60 Hz. ALIMENTACION POR BAJA TENSION

TENSION	IR	IS	IT	LECTURA DE WATIMETROS			PERDIDAS				
K= 1	K= 2.5	K= -	K= -	K _w = 2			K= 1x2.5x2				
Lect	V	Lect	A	Lect	A	Lect	A	W1	W2	E W	
230	230	0.5						32	-	32	160 W

PRUEBA EN CORTO CIRCUITO A 60 Hz. ALIMENTACION POR ALTA TENSION

Pos	INTENSIDAD		TENSION		LECTURA DE WATIMETROS			PERDIDA DE CORTOCIRCUITO		TENSION DE CORTOCIRCUITO	
	K= 10		K= 1		K _w = 2			K= 10x2			
Comm	Lect	A	Lect	V	W1	W2	E W	a 22°C	a 75 °C	a 22 °C	a 75 °C
1			270	270	32						
2			256	256	31						
3	0.5	5.0	246	246	30	-	30	600	723.74	2.46	2.59
4			234	234	29						
5			222	222	28						

TENSION APLICADA	TENSION INDUCIDA	AISLAMIENTO	
AT-BT y M : <u>28 x 0.25</u> KV/60s <u>BIEN</u>	V = <u>460 x 0.8</u> V	AT-MASA: <u>4,530</u> Mohm/	<u>5000</u> V
BT-AT y M: <u>2.5</u> KV/60s <u>BIEN</u>	F = 120 Hz	BT-MASA: <u>458</u> Mohm/	<u>2500</u> V
	T = 60s <u>BIEN</u>	AT-BT : <u>19500</u> Mohm/	<u>5000</u> V

OBSERVACIONES: RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE : 294 KV/CM.

MARCA	: ABB	KVA	: 100	FASES:	: 3
TIPO	: TOAKWB	V	: 10.000	FRECUENCIA:	: 60
N°SERIE	: L 22260		: 230	CONEXION	: Dyn
AÑO	: 1995	A	: 5.8	GRUPO:	: Dyn5
NORMA	: ITINTEC 370.002		: 251.0	T.C.C.:	: 4.2

MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION (ERROR EN %)

Pos Conn	U 1	U 2	U1 / U2	$\frac{U-VW}{W-U}$	$\frac{V-UW}{U-V}$	$\frac{W-UV}{V-W}$
1	10500	230	39.535	39.541	39.540	39.540
2	10250	230	38.593	38.609	38.606	38.607
3	10000	230	37.652	37.659	37.657	37.657
4	9750	230	36.711	36.725	36.722	36.722
5	9500	230	35.770	35.774	35.772	35.772

PRUEBAS EN VACIO A 60 Hz.

ALIMENTACION POR BAJA TENSION

TENSION	IR	IS	IT	LECTURA DE WATIMETROS			PERDIDAS				
K= 1	K= 10	K= 10	K= 10	KW= 2			K= 1x10x2				
Lect	V	Lect	A	Lect	A	Lect	A	W1	W2	E W	
230	230	0.62	6.2	0.67	6.7	0.76	7.6	46	-25	21	420W

PRUEBA EN CORTO CIRCUITO A 60 Hz.

ALIMENTACION POR ALTA TENSION

Pos	INTENSIDAD	TENSION	LECTURA DE WATIMETROS			PERDIDA DE CORTOCIRCUITO		TENSION DE CORTOCIRCUITO			
Conn	K= 10	K= 1	KW= 5			K= 10x1x5		a 21°C	a 75°C		
	Lect	A	Lect	V	W1	W2	E W	a 21°C	a 75°C		
1			430		43.5	-4					
2			412		42	-3					
3	0.58	5.8	394	394	41	-2	39	1950.	2361.33	3.94	4.15
4			373		39	-1.5					
5			359		38	-1.5					

TENSION APLICADA

TENSION INDUCIDA

AISLAMIENTO

AT-BT y M: 28×0.75 KV/60s BIEN	V= 460 V	AT-MASA: 899 Mohm/ 5000 V
BT-AT y M: 2.5 KV/60s BIEN	F= 120 Hz	BT-MASA: 893 Mohm/ 2,500 V
	T= 60s BIEN	AT-BT: 1260 Mohm/ 5,000 V

OBSERVACIONES: _____



MARCA :	RESELEC	KVA	160	FASES:	3
TIPO :	CONVENCIONAL	V	10000	FRECUENCIA:	60
N°SERIE :			230	CONEXION :	Dy
AÑO :	2000	A	9.2V	GRUPO:	Dyn5
NORMA :	ITINTEC 370002		401.6	T.C.C.:	4.1

MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION (ERROR EN %)

Pos	U 1	U 2	U1 / U2	U-VW	V-UW	W-UV
Conn				W-U	U-V	V-W
1	10500	230	39.535	39.542	39.540	39.541
2	10250	230	38.593	38.601	38.601	38.601
3	10000	230	37.652	37.661	37.661	37.660
4	9750	230	36.711	36.721	36.720	36.720
5	9500	230	35.770	35.782	35.779	35.780

PRUEBAS EN VACIO A 60 Hz.

ALIMENTACION POR BAJA TENSION

TENSION	IR	IS	IT	LECTURA DE WATIMETROS			PERDIDAS				
K= /	K= 25	K= 25	K= 25	KW= 2			K= 1/25 x 2				
Lect	V	Lect	A	Lect	A	Lect	A	W1	W2	E W	
230	230	0.33	8.25	0.33	8.25	0.45	11.25	28	-19	9	450W

PRUEBA EN CORTO CIRCUITO A 60 Hz.

ALIMENTACION POR ALTA TENSION

Pos	INTENSIDAD		TENSION		LECTURA DE WATIMETROS			PERDIDA DE CORTOCIRCUITO		TENSION DE CORTOCIRCUITO		
Conn	K= 25		K= /		KW= J			K=				
	Lect	A	Lect	V	W1	W2	E W	a 18° C	a 75 ° C	a 18° C	a 75 ° C	
1				439	23	-5						
2				417	22	-4.5						
3	0.3692	9.24		401	401	21	-4	17	2125	2603.75	4.01	4.12
4				385		20.5	-4					
5				362		20	-4					

TENSION APLICADA

TENSION INDUCIDA

AISLAMIENTO

AT-BT y M.:	34 KV/60s	BIEN	V= 450 V	AT-MASA: 1500 Mohm/ 5000 V
BT-AT y M.:	2.5 KV/60s	BIEN	F= 120 Hz	BT-MASA: 2000 Mohm/ 2500 V
			T= 60s BIEN	AT-BT : 3000 Mohm/ 5000 V

OBSERVACIONES: PRESENTE EN LA PRUEBA POR RESELEC : ING. CESAR ROSALES AVILA



[Handwritten signature]

LIMA, 06.09.2000

MEDIDO

CONTROLADO:

ENERGOTECNIA S.R.L.	PROTOCOLO DE PRUEBAS DE TRANSFORMADORES	ORDEN N°: CLIENTE: <u>TECSUR</u> REF:
----------------------------	--	--

MARCA : <u>MAGNETRON</u>	KVA	<u>400</u>	FASES: <u>3</u>
TIPO : <u>INTEMP.</u>	V	<u>10000</u>	FRECUENCIA: <u>60</u>
N°SERIE : <u>52880-98</u>		<u>230</u>	CONEXION : <u>Δyn</u>
AÑO : <u>98</u>	A	<u>23.09</u>	GRUPO: <u>04n5</u>
NORMA : <u>ANSE</u>		<u>100%.09</u>	T.C.C. :

MEDIDA DE LA RELACION DE TRANSFORMACION (ERROR EN %)

Pos	U 1	U 2	U1 / U2 x 0.866	U-VN w-u	V-UN u-v	W-UV v-w
1	10500	230	39.53	+0.03	-0.04	+0.03
2	10250	230	38.59	+0.03	-0.04	+0.03
3	10000	230	37.65	+0.02	-0.05	+0.02
4	9750	230	36.71	+0.02	-0.06	+0.02
5	9500	230	35.77	+0.01	-0.07	+0.01

PRUEBAS EN VACIO A 60 Hz. ALIMENTACION POR BAJA TENSION

TENSION	IR	IS	IT	LECTURA DE WATIMETROS Kw=5			PERDIDAS				
K= 1	K= 10	K= 10	K= 10				K= 1x10x5				
Lect	V	Lect	A	Lect	A	Lect	A	W1	W2	E (W)	
230	230	0.34	3.4	0.41	4.1	0.65	6.5	18	0	18	900

PRUEBA EN CORTO CIRCUITO A 60 Hz. ALIMENTACION POR ALTA TENSION

Pos	INTENSIDAD		TENSION		LECTURA DE WATIMETROS			PERDIDA DE CORTOCIRCUITO		TENSION DE CORTOCIRCUITO	
	K= 25		K= 1		Kw= 5			K= 25x1x5			
	Lect	A	Lect	V	W1	W2	E (W)	a 23°C	a 75 °C	a 23°C	a 75 °C
1											
2											
3	0.9236	23.09	401	401	48	-20	28	3500	4205.43	4.01	4.05
4											
5											

TENSION APLICADA	TENSION INDUCIDA	AISLAMIENTO
AT-BT y M : <u>34x0.75</u> KV/60s <u>BIEN</u>	V = <u>460</u> V	AT-MASA: <u>4000</u> Mohm/ <u>5000</u> V
BT-AT y M: <u>2.5</u> KV/60s <u>BIEN</u>	F = 120 Hz	BT-MASA: <u>3000</u> Mohm/ <u>2500</u> V
	T = 60s <u>BIEN</u>	AT-BT : <u>4000</u> Mohm/ <u>5000</u> V

OBSERVACIONES: _____

LIMA, 13-12-99 MEDIDO  CONTROLADO:

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BEDRIÑANA ASCARZA, Aquiles
Introducción a la Informática Educativa
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), 1997
- [2] CHAPMAN, Stephen
Máquinas Eléctricas, 3^{ra} Edición
Ed. Mc Graw Hill, 2000
- [3] DELCROSA
(<http://www.delcrosa.com/distribucion1.htm#7>), 2003
- [4] CORRALES MARTÍN, Juan
Teoría, Cálculo y Construcción de Transformadores
5ta Edición , Ed Labor , 1997
- [5] IEC-76 (international Electrotechnical Commission)
Power Transformers, 1967
- [6] KARCZ, Andrés
Fundamentos de Metrología Eléctrica
T. I Unidades, Patrones, Instrumentos
T. II. Parámetros Básicos
Ed. Técnico Marcombo, 1975, España
- [7] RICHARDSON, Donald, CAISSE, Arthur
Maquinas Eléctricas Rotativas y Transformadores
4^a Ed, Ed Pretince Hall, 1997
- [8] ROTH, Arnold
Técnicas de Alta Tensión
Ed. Labor , 1966
- [9] SIEMENS
(<http://www.siemensandina.com/trafos.htm>) , 2003
- [10] Suministros y Servicios Electromecánicos de C.V
(<http://www.syse.com.mx>), 2003
- [11] RAMOS CARRION, Jorge Carmelo
Control de calidad de un transformador de potencia de 7MVA, con
conmutación y regulación de tensión bajo carga.
Tesis, UNI, 1990