



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL
EJÉRCITO**

ESPE – LATACUNGA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL EQUIPO PARA MEDIR EL
FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO**

REALIZADO POR:

ADRIANA TAPIA

Latacunga-Ecuador

2005

AGRADECIMIENTO

*Debo primero agradecer a Dios por haberme puesto en este camino,
por bendecirme con una excelente familia.*

*Agradecer a todas las personas que de alguna u otra manera me brindaron
sus conocimientos, experiencias, ayuda y amistad, a mi familia, maestros,
compañeros y amigos que estuvieron junto a mí en el transcurso de toda mi
carrera porque esta tesis es la culminación de todo un periodo de lucha y
sacrificio.*

*Además a las personas que confiaron en mí y abrieron las puertas de la
empresa a la cual representan Ecuatran S.A.,*

*un agradecimiento especial a los Sres. Franklin Pico, Roque Arroyo y Renato
Almache por el apoyo y experiencia brindada para poder culminar con mi
sueño.*

DEDICATORIA

HAY EN LA VIDA UN GRAN AMOR PARA NACER,

HAY UN TIEMPO PARA CRECER,

HAY DECISIONES QUE TOMAR,

HAY OPORTUNIDADES QUE APROVECHAR,

HAY GRANDES OBSTACULOS QUE SOBREPASAR.

HAY ALEGRÍAS QUE REGALAR,

HAY METAS QUE SATISFACER,

Y HAY EN MI VIDA DOS PERSONAS QUE EN TODAS ESTAS CIRCUNSTANCIAS HAN ESTADO JUNTO A MI Y NUNCA ME HAN ABANDONADO,

ALENTÁNDOME SIEMPRE A SEGUIR ADELANTE Y NO DESFALLECER, POR TODA LA ARDUA LABOR QUE HAN HECHO, ESTE TRABAJO ES OFRECIDO A QUIENES CON ESMERO LUCHARON Y CONFIARON EN MÍ

MIS QUERIDOS PADRES

GRACIAS A MACARIO TAPIA Y ANITA YACELGA

INTRODUCCIÓN

Se ha observado que en la planta de producción de transformadores ECUATRAN S.A., la falla de aislamiento es normalmente imprevisible, considerada un riesgo peligroso para personas y equipos cercanos, sin mencionar la relación de costo de reparación, reemplazo y interrupción de servicios, que se evitaría con un equipo que mida dicha magnitud.

Es por eso que se plantea como trabajo de tesis la construcción de un equipo que cumpla con las exigencias que se requieren en la toma de medida del factor de potencia de aislamiento en los transformadores de distribución sumergidos en aceite, el cual será de gran ayuda para la obtención de dicha medida.

A continuación se detalla la composición del documento que sustenta la construcción del equipo prototipo M-FPA-11, éste se desarrolla en 4 capítulos en los cuales se describe lo siguiente:

El primer capítulo describe qué es un transformador, un breve análisis de las diferentes clases de transformadores, los materiales que constan en su aislamiento, tipos de pruebas que se realizan.

El segundo capítulo es el estudio de la incertidumbre de la medida, necesaria para verificar la precisión que posee el equipo, en esta sección se describe los pasos concretos para encontrar la incertidumbre de medida de un equipo de medida para cualquier magnitud.

El tercer capítulo describe el diseño y la construcción propia del equipo para medir el factor de potencia de aislamiento, M-FPA- 11, materiales utilizados, normativas de voltaje, programación realizada para la toma de medida, métodos de conexión para crear dicho equipo.

El cuarto y último capítulo describe las conclusiones a la que se llegó con la construcción de un modelo prototipo, y las recomendaciones para que este equipo siga trabajando confiablemente en el campo.

Finalmente se anexan los planos del diseño, características generales de la tarjeta de adquisición de datos, manual de operación desarrollado para su correcta utilización y un registro de calibración del equipo.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN A LOS TRANSFORMADORES

Para adentrarnos en la construcción y diseño del equipo para medir el factor de potencia de aislamiento en transformadores, vamos a desarrollar una breve síntesis de los temas más esenciales que se debe conocer para el desarrollo de este proyecto y llegar al objetivo que se desea alcanzar, por esto los transformadores son una parte esencial en nuestro estudio pues dicho equipo está destinado para proporcionar una prueba que ayuda a verificar el estado de su aislamiento.

EL TRANSFORMADOR

Descripción general

Un transformador es un dispositivo eléctrico estático que está formado de dos o más devanado y un núcleo, que trabajan bajo el principio de inductancia mutua entre dos o más bobinas o circuitos acoplados inductivamente.

En este dispositivo se puede diferenciar el bobinado primario por estar conectado a la fuente de corriente alterna, y el bobinado secundario por ser el circuito que se conecta a la carga, ver figura 1.1, dependiendo de su grado de acoplamiento magnético, se transfiere energía del primario al secundario, si los dos circuitos están débilmente acoplado, como es el caso del transformador con núcleo de aire, sólo se transfiere una pequeña cantidad de energía del primario al secundario.

Si el transformador posee un núcleo común de hierro, está fuertemente acoplado, en este caso toda la energía que recubre el primario del suministro se transfiere por acción al secundario.

Los transformadores que tienen acoplamiento débil se usan principalmente en circuitos de comunicación de alta frecuencia (radiofrecuencia) y electrónicos.

En cambio, todos los transformadores que se usan en potencia y en maquinaria son de acoplamiento fuerte con núcleo de hierro.

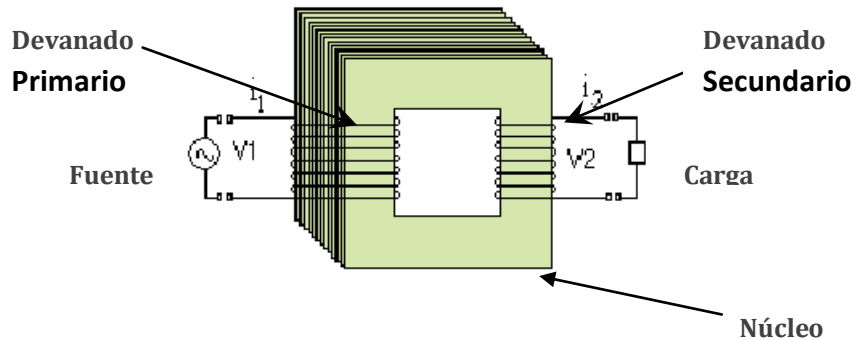


Fig. 1.1. El transformador

Tipos de transformadores ¹

Por el tipo de núcleo

A. Núcleo abierto.- La trayectoria magnética está dada a través del aire, que en este caso constituye su núcleo. Como la trayectoria del aire se opone al campo magnético, la interacción o encadenamiento está debilitada, es por esta razón que los transformadores de núcleo abierto son ineficientes y nunca se usan para la transmisión de potencia.

B. Núcleo cerrado.- Mejora la eficiencia del transformador ofreciendo más trayectoria de hierro y menos trayectoria de aire para el campo magnético, incrementando así el encadenamiento o acoplamiento magnético.

C. Núcleo acorazado.- Incrementa más el acoplamiento magnético y por consiguiente la eficiencia del transformador porque proporciona dos trayectorias magnéticas en paralelo para el campo magnético.

Por el tipo de enfriamiento

¹ IEEE Std C57.12.00 (2000) Standard General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.

Los transformadores sumergidos en aceite son identificados por un código de 4 letras, tomadas de la norma IEEE C57.12.00 Requerimientos Generales.

Letra 1: Medio de enfriamiento interno en contacto con las bobinas.

O: Aceite mineral o líquido aislante sintético con punto de combustión $\leq 300^\circ \text{C}$.

K: Líquido aislante con punto de combustión $> 300^\circ \text{C}$.

L: Líquido aislante con punto de combustión no limitado.

Letra 2: Mecanismo de circulación para el medio de enfriamiento interno.

N: Flujo de convección natural a través del equipo de enfriamiento y en bobinas.

F: Circulación forzada a través de equipos de enfriamiento, flujo por convección natural en bobinas.

D: Circulación forzada a través de equipos de enfriamiento, dirigido desde el equipo de enfriamiento hacia los bobinados.

Letra 3: Medio de enfriamiento externo

A: Aire.

W: Agua

Letra 4: Mecanismo de circulación para el medio de enfriamiento externo.

N: Convección natural.

F: Circulación forzada.

Por el número de fases

A. Monofásicos.- Transformadores que funcionan con una sola fase de voltaje AC.

B. Polifásicos.- Transformador que funciona con 2 o más fases de voltaje AC.

Por su localización

A. Interior.- Un transformador que por su construcción debe estar protegido de la intemperie.

B. Intemperie.- Un transformador de construcción resistente a la intemperie y con servicio adicional de protección para la misma.

C. Tipo poste.- Un transformador que es apropiado para montarlo en un poste o una estructura similar.

D. Tipo estación.- Un transformador designado para instalarse en una estación o subestación.

E. De la unidad de subestación.- Un transformador que esta conectado mecánica y eléctricamente a un diseño sincronizado con uno o más interruptores de engranaje, un motor de control o ambos.

F. Sumergible.- Un transformador construido para operar sumergido en agua con condiciones predeterminadas de presión y tiempo.

G. Subterráneo.- Un transformador de distribución tipo sumergible apropiado para instalar en una bóveda bajo tierra.

H. Bóveda.- Un transformador construido apropiadamente para ocasiones de operación sumergido en agua bajo condiciones especificadas de tiempo y presión extrema.

I. Malla.- Un transformador diseñado para usar en una bóveda para un sistema de alimentación variable, o secundario interconectado.

J. Baja Superficie.- Un transformador utilizado como parte de un sistema de distribución subterráneo.

K. Montaje en pedestal.- Un transformador de intemperie utilizado como parte de un sistema de distribución bajo tierra con compartimentos cerrados para los cables de alto y bajo voltaje y localizados por debajo de la superficie de la tierra.

Por su capacidad

A. De distribución.- Es un transformador que transfiere energía eléctrica desde un circuito de distribución primario a un circuito de distribución secundario o de servicio al consumidor. Usualmente van desde los 5 hasta 500 KVA.

B. De potencia.- Es un transformador que transfiere energía eléctrica entre cualquier parte del circuito entre el generador y el circuito primario de distribución. Usualmente mayores de 500 KVA.

Por su aplicación

A. Elevador.- Transformador en el cual el número de vueltas del secundario es mayor que el número de vueltas del primario. Además la transferencia de energía es desde la fuente del circuito de menor tensión hasta un circuito de mayor tensión.

B. Reductor.- Transformador en el cual el número de vueltas del secundario es menor que el número devueltas del primario. Además la transferencia de energía es desde la fuente del circuito de mayor tensión hasta un circuito de menor tensión.

C. Autotransformador.- Transformador de varios devanados conectados de tal forma que tiene un devanado común para ambos bobinados primario y secundario, con los cuales se conecta el transformador.

D. Corriente Constante.- Un transformador que mantiene constante una corriente aproximada a un circuito secundario.

E. Voltaje Constante.- Un transformador que mantiene un voltaje proporcional constante aproximado sobre el rango de cero hasta el voltaje de salida.

Por su tipo de preservación de aceite

- Con tanque conservador.
- Sin tanque conservador
- Con respiración libre o sellados con gas.

Por su conexión

A. Conexión Delta.- Aquella en la que los devanados de un transformador trifásico (o los devanados del mismo voltaje nominal de transformadores monofásicos que forman un banco trifásico) son conectados en serie para formar un circuito cerrado.

B. Conexión Estrella.- Aquella en la cual una extremidad de cada devanado de un transformador Polifásico (o de cada devanado del mismo voltaje nominal de los transformadores monofásicos que forman un banco trifásico), es conectado a un punto común (punto neutro) y la otra extremidad al terminal de la línea correspondiente.

C. Conexión Delta abierto.- Aquella en la que se conectan los 3 devanados de fase de un transformador trifásico o los devanados del mismo voltaje nominal en los transformadores monofásicos que forman un banco trifásico, sin cerrar el triángulo en uno de sus lados.

D. Conexión Zigzag.- Un transformador Polifásico con bobinados conectados en Y, cada uno de los cuales esta fabricados de partes en las cuales los voltajes desplazados de fase son inducidos.

SISTEMA DE AISLAMIENTO DEL TRANSFORMADOR.

Aislante

Se denomina aislante eléctrico a toda sustancia de tan baja conductividad eléctrica que el paso de la corriente a través de ella puede ser despreciada.

El aislante puede estar en el ambiente en las 3 formas de la materia:

- Sólido.
- Líquido.
- Gaseosos.

Los materiales aislantes se llaman dieléctricos y son aquellos que se oponen al paso de la corriente eléctrica. Un medio dieléctrico puede tener en estado estático un campo eléctrico aunque no conduzca corriente eléctrica.

El aislamiento en el transformador²

Un transformador por ser uno de los equipos eléctricos que requieren alta confiabilidad posee un sistema de aislamiento muy complejo, para lo cual se necesita del empleo de varios materiales en su diseño y la mayoría de las veces se combinan elementos sólidos con líquidos o gases dieléctricos. Estos materiales normalmente son:

² León Ojeda, Jaime; Nuevas Tendencias en el aislamiento de transformadores.

- Madera
- Papel kraft
- Papel Manila
- Papel crepé
- Cartón prensado
- Cinchos de papel
- Algodón
- Micarta
- Fibra de vidrio
- Barnices
- Fibra vulcanizada
- Porcelanas.
- Baquelitas.
- Plásticos.
- Aceites.

El aislamiento en un transformador se deriva en dos tipos:

- Los mayores, que se utilizan entre las bobinas y tierra o entre fases.
- Los menores, que se utilizan entre espiras.

El aislamiento separa entre sí a los devanados del transformador y a su vez los aísla de las partes conectadas a tierra.

Los factores que afectan la vida de los aislamientos son:

- Las altas temperaturas.
- La presencia de humedad.
- Los campos eléctricos intensos.
- Contaminación, sedimentos o lodos.
- Sobre tensiones transitorias.

Degradación de los aislamientos

La degradación del aislamiento se presenta con el tiempo debido a reacciones químicas propicias y aceleradas por los factores mencionados anteriormente, lo que acorta la vida útil del aislamiento.

Los transformadores se construyen con una cierta calidad y cantidad de aislamientos, lo que se conoce como BIL o Nivel Básico de Aislamiento (NBA). Por lo tanto el BIL indica la fortaleza dieléctrica del dispositivo.

Tanto para los aislantes sólidos como para el aceite, el proceso de degradación es afectado por causas similares, como son el calor, el oxígeno, la humedad y un catalizador efectivo presente en los esfuerzos eléctricos que actúa como acelerador.

Los esfuerzos mecánicos, los ácidos y el lodo son causas secundarias que afectan al envejecimiento de papeles y cartones.

Para el aceite cada incremento de temperatura en 10°C disminuye su vida a la mitad o duplica la velocidad de su oxidación. El efecto del oxígeno sobre el proceso de envejecimiento del aceite es determinante por causas de la oxidación.

El esfuerzo eléctrico del aceite incrementa su capacidad para absorber oxígeno, la cantidad de oxígeno disponible en el aceite aumentará la velocidad a la cual este se envejece.

La humedad es un parámetro importante en la oxidación del aceite. Esto se atribuye a un incremento de la actividad de los ácidos orgánicos en presencia de la humedad. La humedad también disminuye la resistencia dieléctrica del aceite, incrementa el deterioro metálico de la estructura del transformador y reduce la resistencia a la tensión de cartones y papeles aislantes.

Los esfuerzos mecánicos se producen debido a fluctuaciones de carga, condiciones de corto circuito y disturbios de energía. Esta familia de esfuerzos causa desgaste físico y rasgaduras que finalmente conducirá al rompimiento de las fibras individuales del papel.

Los ácidos, lodos y subproductos del proceso de degradación del aceite, también causan daños al papel y modifican su estructura, creando óxidos de celulosa que son muy quebradizos y carecen de resistencia mecánica

Fallas en transformadores

Los aislamientos constituyen la vida de un transformador, su evaluación y diagnóstico son una herramienta importante para prevenir fallas. A continuación se enuncian las principales causas de fallas en el aislamiento:

- Fabricante: Mal diseño, mano de obra defectuosa, detección de materiales inadecuados.
- Transportista: Mal embalaje golpes en el traslado.
- Usuario: Instalación errónea, errores de operación, sobrecargas, malas maniobras (sobre tensiones) mantenimiento impropio y/o insuficiente
- Externas: Descargas atmosféricas, siniestros.

Un transformador con su sistema de aislamiento correctamente mantenido, es capaz de soportar problemas muy severos, puesto que para ello está diseñado, sin embargo, un incorrecto mantenimiento preventivo dará como resultado un mal funcionamiento.

Es por tal razón que se enfoca que la existencia de un transformador es la vida de su aislamiento celulósico y que entre mejor conservado esté más vida tendrá la unidad.

PRUEBAS A TRANSFORMADORES

Las pruebas que realizan a transformadores son de tres tipos:

A. Pruebas de rutina.- Pruebas hechas por control de calidad en varios dispositivos, materiales o muestras representativas, para verificar que el producto se encuentra bajo las especificaciones de diseño.

B. Pruebas tipo.- Estas pruebas son realizadas para determinar el adecuado diseño de un tipo particular, estilo, modelo del equipo y demás componentes, así como para demostrar el cumplimiento de estándares apropiados para la industria.

C. Otras pruebas.- Pruebas identificadas en estándares de productos individuales las cuales pueden ser especificadas por el cliente en adición a las pruebas de rutina realizadas.

PRUEBAS	HASTA 500 KVA			DESDE 501 KVA		
	RUTINA	TIPO	OTRAS	RUTINA	TIPO	OTRAS
Medición de resistencia de bobinas		X		X		
Resistencia de aislamiento			X	X		
Relación de Transformación	X			X		
Polaridad y relación de fase	X			X		
Factor de potencia de aislamiento			X	X		X
Pérdidas del control de enfriamiento			X			X
Prueba de excitación monofásica			X			X
Pérdidas sin carga y corriente de excitación	X		X	X		X
Voltaje de impedancia y pérdidas con carga		X	X	X		
Voltaje de impedancia de la secuencia de fase cero						
Elevación de temperatura		X			X	X
<u>Pruebas dieléctricas</u>						
Baja frecuencia	X			X		
Baja frecuencia con dispositivos auxiliares			X	X		X

De impulso		X	X		X	X
Prueba de descarga parcial			X	X		X
Nivel de sonido audible		X	X		X	X
Capacidad de corto circuito		X				X
Análisis de gases disueltos en el aceite				X		X

Tabla. 1.1. Cuadro de pruebas para transformadores

En la tabla 1.1 se observa los diferentes tipos de pruebas que sugiere la norma ANSI/IEEE C57.12.00 Requerimientos Generales.

Ensayos de aislamiento en transformadores

Los ensayos de aislamiento en transformadores y en general en cualquier equipo eléctrico, se realizan para verificar que el aislamiento posea características óptimas ya sea en el proceso de fabricación, durante los períodos de mantenimiento, o una vez que éste ha entrado en servicio.

Los principales ensayos dieléctricos aplicables a transformadores son los siguientes:

- * Ensayos de impulso
- * Ensayos de alto potencial
- * Medición de la resistencia del aislamiento
- * Medición del factor de disipación y potencia en el aislamiento general y en bujes
- * Pruebas para verificar la calidad del aceite
- * Detección de gases disueltos en el aceite
- * Detección de descargas parciales en el aislamiento del transformador.

CAPITULO II

INTRODUCCIÓN A LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA³

La medida verdadera de una magnitud es algo muy importante en equipos que tienen que entregar valores de aceptación como por ejemplo en la fabricación, calibración, o por que no decirlo en equipos medicos donde corre en riesgo una vida, es por esta razón que se debe llegar a determinar la medida más cercana a la verdadera.

Con lo dicho anteriormente y teniendo en cuenta que el equipo de medida a construirse va ha servir para evaluar una prueba muy importante, donde la incertidumbre de la medida es necesaria para determinar si el objeto cumple o no el ensayo, se explica de una forma muy sucinta un posible método ha emplearse para obtener dicha incertidumbre de la medida.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA

Medir implica generalmente comparar la magnitud objeto de la medida con un patrón, el resultado de la medida se expresa con un número y una unidad, dependiendo esta última del patrón que se haya escogido.

Las medidas nunca permiten obtener el "verdadero valor" de la magnitud que se mide. Esto es debido a múltiples razones, las más evidentes son las imperfecciones inevitables de los aparatos y de nuestros sentidos.

Una estimación de la parte del resultado completo que entrega un intervalo de valores dentro del cual se encuentra el valor verdadero de cantidad medida (o mesurando) es la incertidumbre de una medida.

³ WSchmid y plazos: (mayo 2000) Guía para estimar la incertidumbre de la medición / CENAM

Para expresar la incertidumbre de la medición se necesitan 2 números: El intervalo o ancho del margen de incertidumbre y el nivel de confianza, el cual establece qué tan confiable es el valor verdadero dentro de ese margen. Por ejemplo si decimos que la longitud de cierta barra mide 20 cm., más o menos (\pm) 1 cm., con un 95% de confianza:

20 cm. \pm 1 cm., con un nivel de confianza del 95%

Esto significa que en 95 de cada 100 mediciones la longitud de la barra está comprendida entre 19 y 21 cm.

Cuando se exprese el resultado de una medida es necesario especificar tres elementos: número, unidad e incertidumbre. La ausencia de alguna de ellas elimina o limita la información que proporciona dicha medida.

FUENTES

Muchos factores influyen en una medición, estos pueden ser visibles o no, de los cuales enunciaremos los siguientes:

- El instrumento de medición; los instrumentos pueden tener errores, como una tendencia a dar resultados mayores o menores, cambios por envejecimiento, desgastes u otras derivadas, mala repetibilidad, ruido en los instrumentos eléctricos, y muchos otros problemas funcionales.
- El objeto a ser medido; el cual puede no ser estable.
- El proceso de medición; la medición en si misma puede ser difícil de llevar a cabo.
- Incertidumbres “importadas”; la calibración de los instrumentos tiene incertidumbre, las cuales contribuyen a la incertidumbre de la medición que se realizan con ellos.
- Habilidad del operador; dependen en alto grado de habilidad y juicio del operador.

- Muestreo adecuado; las mediciones realizadas deben ser adecuadamente representativas del proceso objeto de medición.
- Condiciones ambientales; la temperatura, la presión atmosférica, humedad ambiental y otras condiciones pueden afectar al instrumento de medida o al objeto que se mide.
- Definición incompleta del mesurando.

ASPECTOS IMPORTANTES

Es importante diferenciar ciertos aspectos que están involucrados en todo proceso de medición, que pueden llevar a confusión con la incertidumbre de la medida, como por ejemplo:

- Las equivocaciones que cometen los operadores no son incertidumbre de medición, son errores gruesos, por lo tanto no deben tomarse en cuenta para el cálculo de la incertidumbre.
- Las tolerancias no son incertidumbres. Son límites de aceptación que se han elegido para un producto o un proceso.
- Las especificaciones no son incertidumbres. Una especificación indica qué esperar de un producto. Las especificaciones pueden tener un alcance amplio, cualidades técnicas, etc.
- Exactitud o inexactitud, no son lo mismo que incertidumbre. La exactitud es un término cualitativo; es decir que determina que una medición es exacta o inexacta, la incertidumbre es cuantitativa.
- Los errores no son incertidumbres, aunque en el pasado se tomaban como equivalentes, en frases tales como “análisis de error”.

El error es un valor único. En realidad, el valor de un error conocido puede ser aplicado como una corrección al resultado, en cambio el valor de la incertidumbre no puede ser usado para corregir el resultado de una medida.

- El análisis estadístico no es lo mismo que el análisis de incertidumbre. La estadística puede utilizarse para establecer un sin número de conclusiones que no tienen que ser acerca de incertidumbres. El análisis de incertidumbre solamente utiliza una parte de la estadística.

DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA

En la figura 2.1 se observa el diagrama de flujo recomendado sobre los diferentes pasos a seguir para determinar el valor de la incertidumbre de medida.

Para determinar el cálculo de la incertidumbre se debe tener en cuenta en cada momento el tipo de medida, el equipo de medida, el método, la forma de realizar la medida, etc.

Aunque no existe unanimidad en cómo calcular la incertidumbre para casos concretos, está generalmente aceptado que la incertidumbre de una medida vendrá afectada por la incertidumbre de los diferentes factores que intervienen para realizar la medida.

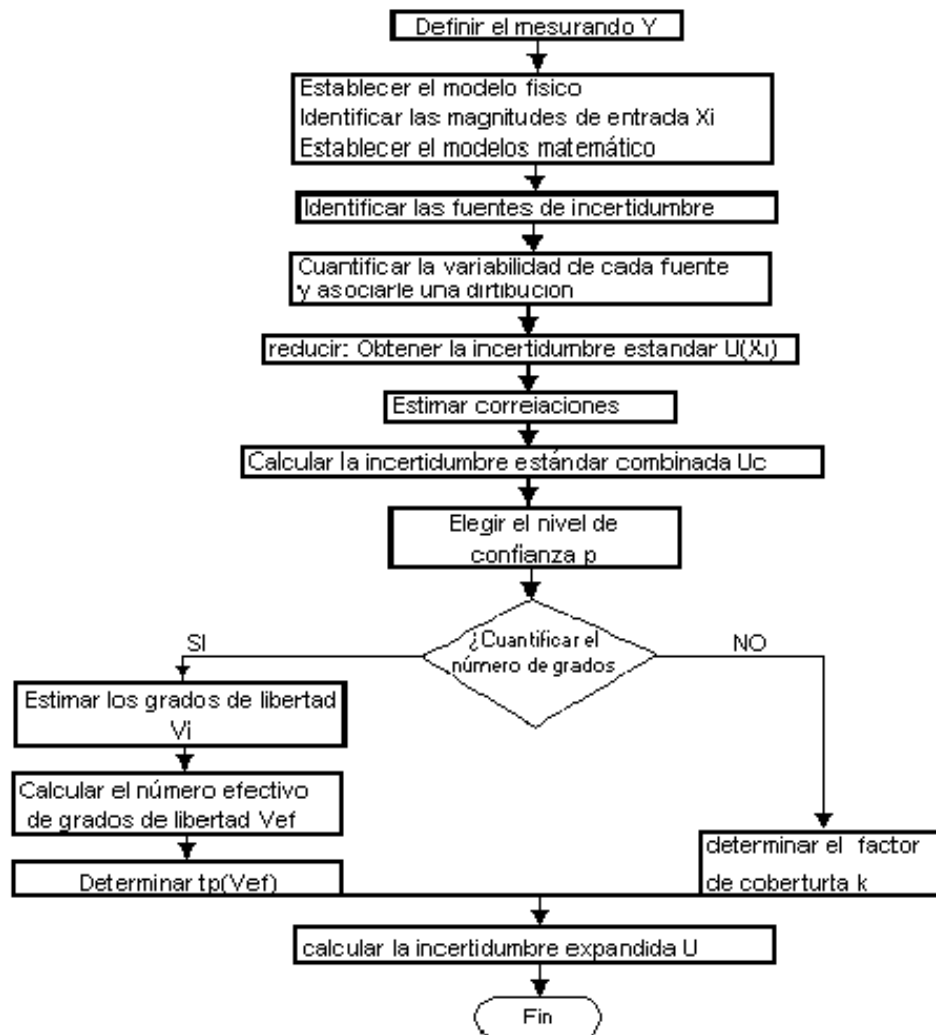


Fig. 2.1. Diagrama de flujo para la determinación de la incertidumbre.

Definición del mesurando

El valor de una dimensión o mesurando posee magnitudes de entrada que afecta la medida, el producto de una medición debe contener la mejor estimación del valor del mesurando y una estimación de la incertidumbre sobre dicho valor.

La incertidumbre se compone de diversas fuentes. Por ejemplo, en la medición de la longitud de una barra, la temperatura es una magnitud de entrada que afecta directamente al mensurando por expansión o contracción térmica del material.

Otra magnitud de entrada es la fuerza de contacto, presente cuando se usan instrumentos que requieren contacto mecánico como los tornillos micrométricos, calibradores vernier, etc.

Estas magnitudes pueden influir en el resultado de la medición y por lo tanto en la incertidumbre, algunos atributos no cuantificables es recomendable reducir en lo posible sus efectos, preferentemente haciendo uso de criterios de aceptación en las actividades que nos ayuden a reducir tales efectos. Por ejemplo, la limpieza de las masas es un aspecto crítico en la calibración de masas de alta exactitud, lo cual obliga a observar estrictamente criterios para limpiarlas apropiadamente.

El principio de medición es el fundamento científico usado para realizar una medición. El conocimiento del principio de medición permite dominar la medición, esto es, modificarla, diseñar otra, evaluar su conveniencia, etc., además es indispensable para estimar la incertidumbre de la medición.

El método de medición y el procedimiento de medición son descripciones de la manera de llevar a cabo la medición, la primera genérica, la segunda específica.

El principio, el método y el procedimiento de medición son parámetros determinantes en el valor de la incertidumbre de la medición.

Un escaso conocimiento de cualquiera de ellos muy probablemente conducirá a una estimación equivocada, o incompleta en el mejor de los casos.

La definición del mensurando usualmente sugiere, casi siempre de manera implícita, una estimación de la incertidumbre que se requiere. Es notable el alto riesgo que se corre cuando la definición del mensurando no es acorde con la estimación de la incertidumbre propuesta.

Modelo físico

Pretender realizar un análisis minucioso del proceso de medición nos llevaría mucho tiempo. Por lo tanto, es necesaria la simplificación del fenómeno o de la situación real recogiendo las características más relevantes para el propósito y mediante estas elaborar un modelo para la medición.

Un modelo físico de la medición consiste en el conjunto de suposiciones sobre el propio mensurando y las variables físicas o químicas relevantes para la medición. Estas suposiciones usualmente incluyen:

- a) Relaciones de fenómenos entre variables.
- b) Consideraciones sobre el fenómeno como conservación de cantidades, comportamiento temporal, comportamiento espacial, simetrías.
- c) Consideraciones sobre las propiedades de la sustancia como homogeneidad e isotropía.

Una medición física, por simple que sea, tiene asociado un modelo que sólo aproxima el proceso real.

Modelo matemático

El modelo físico se representa por un modelo descrito con lenguaje matemático. El modelo matemático supone aproximaciones originadas por la representación imperfecta o limitada de las relaciones entre las variables involucradas.

El modelo matemático permite materializar en forma numérica el resultado de la medición.

Debe constar en forma explícita todos los factores que se consideran de influencia

(temperatura, presión, etc.), sin embargo hay casos en donde un factor de influencia difícilmente puede ser considerado en forma explícita en el modelo matemático

Considerando a la medición como un proceso, se identifican magnitudes de entrada denotadas por el conjunto (x_i) , expresión en la cual el índice i toma valores entre 1 y el número de magnitudes de entrada N .

La relación entre las magnitudes de entrada y el mensurando “ Y ” como la magnitud de salida se representa como una función (observada en la ecuación 2.1) representada por una tabla de valores correspondientes, una gráfica o una ecuación.

$$Y = f(\{x_i\}) = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (\text{Ec. 2.1})$$

donde:

Y = resultado de la medición.

x_i = factor de influencia.

A continuación se citan ejemplos de modelos matemáticos:

Medición directa, un ejemplo se muestra en la ecuación 2.2.

$$R = Li + \Delta l + \Delta l_{res} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

donde:

R= Resultado de la medición.

Li= Lectura del instrumento.

ΔI = corrección sistemática del instrumento.

- Medición indirecta, es la determinación de una magnitud deseada a través de magnitudes conocidas, obtenidas previamente por una medición directa y aplicando su respectivo modelo matemático un ejemplo sobre medición indirecta se observa en la ecuación 2.3.

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

donde:

δ = densidad de un líquido

m= masa del líquido.

v= volumen del líquido.

Identificación de las fuentes de incertidumbre

Una vez determinados el mensurando, el principio, el método y el procedimiento de medición, se identifican las posibles fuentes de incertidumbre.

No es recomendable desechar ninguna de las fuentes de incertidumbre por poco significativa que parezca, sin una cuantificación previa de su contribución, comparada con las demás, apoyada en mediciones.

Es preferible la inclusión de un exceso de fuentes que ignorar algunas entre las cuales pudiera descartarse alguna importante.

No obstante, siempre estarán presentes efectos que la experiencia, conocimientos y actitud crítica permitirán calificar como irrelevantes después de las debidas consideraciones. Por ejemplo, en la calibración de termómetros de mercurio en vidrio aparece una pequeña contribución de la temperatura ambiente, pero se considera despreciable aquella contribución debida a la radiación electromagnética en el ambiente.

Cuantificación

Existen dos formas de evaluar la incertidumbre: estimaciones del tipo A y del tipo B, en la mayoría de los casos se necesitan evaluaciones de los dos tipos o métodos.

El método de evaluación tipo A se basa en un análisis estadístico de una serie de mediciones, mientras el método de evaluación tipo B comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre, estas pueden provenir de experiencias previas de otras mediciones, certificados de calibración, de las especificaciones de los fabricantes, de cálculos, de informaciones publicadas y del sentido común.

A. Evaluación tipo A.- Cuando una medida se repite en las mismas condiciones, puede observarse una dispersión o fluctuación, siempre que el procedimiento de medida disponga de la resolución suficiente.

Para una serie de medidas, efectuadas en condiciones de repetibilidad, compuesta de n medidas $\{x_i\}_{i=1}^n$ independientes, el valor estimado \bar{x} , del valor verdadero de la magnitud X , viene dado por la media aritmética de los valores individuales medidos x_i ($i=1, \dots, n$): observada en la ecuación 2.4.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

\bar{x} = valor estimado o media de n mediciones.

n = número de mediciones

x_i = mediciones individuales.

La dispersión de los resultados de la medición x_1, x_2, \dots, x_n para la magnitud de entrada x_i se expresa por su desviación estándar experimental, observada en la ecuación 2.5:

$$\sigma_{x_i} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

La incertidumbre estándar $u(x_i)$ de x_i se obtiene finalmente mediante el cálculo de la desviación estándar experimental de la media, observada en la ecuaciones 2.6:

$$u(x_i) = \sigma_{x_i} = \frac{\sigma_{x_j}}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

En cuanto al número ideal de las repeticiones n , estas dependen de las condiciones y exigencias de cada medición específica. Pero es necesario considerar que:

- Aumentar el número de repeticiones resulta en una reducción de la incertidumbre tipo A.
- Un número grande de repeticiones aumenta el tiempo de medición, que puede ser contraproducente, si las condiciones ambientales u otras magnitudes de entrada no se mantienen constantes en el tiempo de medición.
- No es recomendable realizar el número de mediciones n mayor de 10, pero se puede tomar cuando por ejemplo se caracterizan instrumentos, patrones o se hacen mediciones o calibraciones de alta exactitud.

B. Evaluación tipo B.- La incertidumbre tipo B es cuantificada usando datos externos u obtenidos por experiencia, descritas en el ítem correspondiente a la cuantificación.

Los métodos de tipo B se fundamentan en la forma de la distribución de probabilidad y/o en los límites de variación de las variables de entrada (X_i)

B1. Distribuciones de probabilidad.- La cuantificación de una fuente de incertidumbre incluye la asignación de un valor y la determinación de la distribución a la cual se refiere este valor. Las distribuciones que aparecen más frecuentemente son:

A. Distribución normal.- Los resultados de una medición repetida afectada por una o más magnitudes de influencia que varían aleatoria mente, generalmente siguen en buena aproximación una distribución normal. También la incertidumbre indicada en certificados de calibración se refiere generalmente a una distribución normal, observe la figura 2.2.

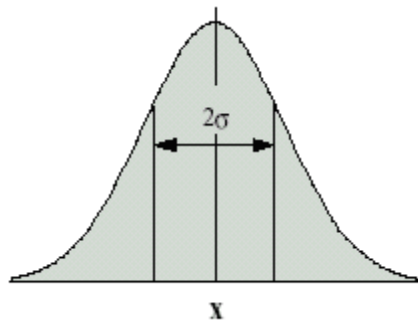


Fig. 2.2. Distribución normal

La distribución normal generalmente se usa cuando:

Un estimado es realizado por repetidas observaciones de un proceso de variación aleatoria (ecuación 2.7).

$$u(x) = s \quad (\text{Ec. 2.7})$$

- Una incertidumbre está dada en la forma de una desviación estándar “s” (ecuación 2.8), una desviación estándar relativa “ $\frac{s}{x}$ ”(ecuación 2.9), o un coeficiente de varianza CV% (ecuación 2.10), sin especificar la distribución.

$$u(x) = s \quad (\text{Ec. 2.8})$$

$$u(x) = x.(s/\bar{x}) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$$u(x) = \frac{CV\%}{100} .x \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Una incertidumbre es obtenida en la forma de un intervalo confidencial del 95 % (u otro) $x \pm c$ sin especificar la distribución (ecuación 2.11)

$$u(x) = (c/2) \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Para c al 95 % ; se dividirá para 3 con c al 99.7 %

B. Distribución rectangular.- En una distribución rectangular cada valor en un intervalo dado tiene la misma probabilidad o sea, la función de densidad de probabilidad es constante en este intervalo.

Ejemplos típicos son la resolución de un instrumento digital o la información técnica sobre tolerancias de un instrumento.

En general, cuando exclusivamente hay conocimiento de los límites superior e inferior del intervalo de variabilidad de la magnitud de entrada, lo más conservador es suponer una distribución rectangular, está se observa en la figura 2.3.

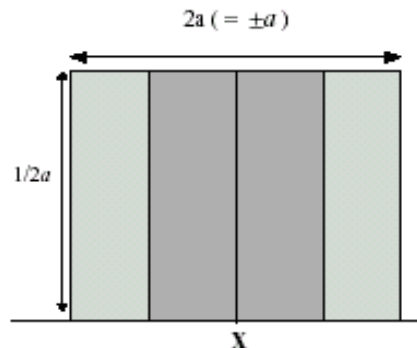


Fig. 2.3. Distribución rectangular

C. Distribución triangular.- Si además del conocimiento de los límites superiores e inferior hay evidencia de que la probabilidad es más alta para valores en el centro del intervalo y se reduce hacia los límites, puede ser más adecuado basar la estimación de la incertidumbre en una distribución triangular, esta se observa en la figura 2.4.

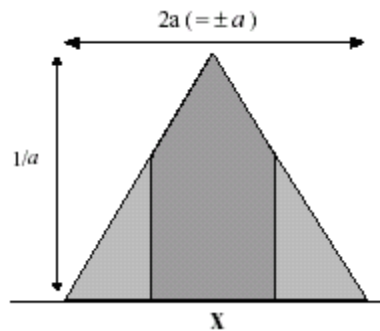


Fig. 2.4. Distribución triangular

Por ejemplo, en un baño termostático, que se utiliza para medir la densidad de un líquido, la temperatura puede tener una ligera deriva. Si se mide la temperatura antes y después de la medición de la densidad (resultando en T_1 y T_2), se puede suponer para el momento de la medición de la densidad una temperatura de $(T_1 + T_2)/2$ con una distribución triangular entre T_1 y T_2

D. Otras distribuciones.- Pueden encontrarse también distribuciones en forma de U, en la cual los extremos del intervalo presentan los valores con probabilidad máxima, típicamente cuando hay comportamientos oscilatorios subyacentes. También se encuentran distribuciones triangulares con el valor máximo en un extremo como en las asociadas a “errores de coseno”.

Reducción

Antes de comparar y combinar contribuciones de la incertidumbre que tienen distribuciones diferentes, es necesario representar los valores de las incertidumbres originales como incertidumbres estándar. Para ello se determina la desviación estándar de la distribución asignada a cada fuente.

A. Distribución normal.- La desviación estándar experimental de la media calculada a partir de los resultados de una medición repetida según la ecuación 2.7, ya representa la incertidumbre estándar.

Cuando se dispone de valores de una incertidumbre expandida U , como los presentados por ejemplo en certificados de calibración, se divide U entre el factor de cobertura k , obtenido ya sea directamente o a partir de un nivel de confianza dado (generalmente 2 para un nivel de confianza del 95 %), ecuación 2.12

$$u(p) = \frac{U}{k} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

B. Distribución rectangular.- Si la magnitud de entrada X_i tiene una distribución rectangular con el límite superior a_+ y el límite inferior a_- , el mejor estimado para el valor de X_i está dado por la ecuación 2.13

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}}; \text{cuando } b = 2a \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Una aplicación típica es la resolución de un instrumento digital. También la incertidumbre relacionada con el número finito de cifras significativas de datos tomados de la literatura puede ser tratada con esta distribución (siempre y cuando no haya indicios que la incertidumbre en realidad es mayor que la incertidumbre relacionada con la última cifra significativa). Si se aplica a la resolución o a datos tomados de la literatura, a corresponde al último dígito significativo o a la última cifra significativa respectivamente.

C. Distribución triangular.- Como en una distribución rectangular, para una magnitud de entrada x_i que tiene una distribución triangular con los límites a_+ y a_- , el mejor estimado para el valor de x_i está dado por la ecuación 2.14

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{6}} = \sqrt{\frac{b^2}{24}}; \text{cuando } b = 2a \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Combinación

El resultado de la combinación de las contribuciones de todas las fuentes es la incertidumbre estándar combinada $u_c(y)$, la cual contiene toda la información esencial sobre la incertidumbre del mensurando Y .

La contribución $u_i(y)$ de cada fuente a la incertidumbre combinada depende de la incertidumbre estándar $u(x_i)$ de la propia fuente y del impacto de la fuente sobre el mensurando. Es posible encontrar que una pequeña variación de alguna de las magnitudes de influencia tenga un impacto importante en el mensurando, y viceversa.

Se determina $u_i(y)$ por el producto de $u(x_i)$ y su coeficiente de sensibilidad c_i (o factor de sensibilidad) ecuación 2.15.

$$u_i(Y) = c_i \cdot u(x_i) \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Coeficiente de sensibilidad

El coeficiente de sensibilidad describe, qué tan sensible es el mensurando con respecto a variaciones de la magnitud de entrada correspondiente. Para su determinación existen dos métodos:

A. Determinación a partir de una relación funcional.- Si el modelo matemático para el mensurando $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ describe la influencia de la magnitud de entrada x_i suficientemente bien mediante una relación funcional, el coeficiente de sensibilidad c_i se calcula por la derivada parcial de f con respecto a x_i , ecuación 2.16

$$c_i = \left. \frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_i} \right|_{x_1=x_1, \dots, x_n=x_n} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

B. Otros métodos de determinación.- Si la influencia de la magnitud de entrada x_i en el mensurando Y no está representada por una relación funcional, se determina el coeficiente de sensibilidad c_i por una estimación del impacto de una variación de x_i en Y según ecuación 2.17

$$c_i = \frac{\Delta y}{\Delta x_i} \quad (\text{Ec. 2.17})$$

Esto es, manteniendo constantes las demás magnitudes de entrada, se determina el cambio de Y producido por un cambio en x_i por una medición o a partir de la información disponible.

Propagación de la incertidumbre para magnitudes de entrada no correlacionadas

En el caso de magnitudes de entrada no correlacionadas, la incertidumbre combinada $u_c(y)$ se calcula por la suma geométrica de las contribuciones particulares. La regla presentada en ecuación 2.18, es llamada *ley de propagación de incertidumbre*

$$u_c^2(y) = \sum_{I=1}^N u_i^2(y) \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Correlación

A menudo los resultados de mediciones de dos magnitudes de entrada están ligados, ya sea porque existe una tercera magnitud que influye sobre ambas, porque se usa el mismo instrumento para medir o el mismo patrón para calibrar, o por alguna otra razón.

Desde el punto de vista estadístico, dos variables son independientes cuando la probabilidad asociada a una de ellas no depende de la otra, esto es, si q y w son dos variables aleatorias independientes, la probabilidad conjunta se expresa como el producto de las probabilidades de las variables respectivas ecuación (2.19)

$$p(q, w) = p(q) \cdot p(w) \quad (\text{Ec. 2.19})$$

Frecuentemente, se encuentran magnitudes de entrada que no son independientes. La independencia lineal de dos variables puede estimarse estadísticamente con el coeficiente de correlación ecuación (2.20)

$$r(q, w) = \frac{u(q, w)}{u(q) \cdot u(w)} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

En el denominador aparecen las incertidumbres estándar de las variables aludidas y en el numerador la covarianza de las mismas.

Un valor de $r = 0$ indica independencia de q y w . Los valores de $r = +1$ o -1 indican una correlación total.

Incertidumbre expandida

La forma de expresar la incertidumbre como parte de los resultados de la medición depende de la conveniencia del usuario. A veces se comunica simplemente como la incertidumbre estándar combinada, otras ocasiones como un cierto número de veces tal incertidumbre, algunos casos requieren se exprese en términos de un nivel de confianza dado, etc. En cualquier caso, es indispensable comunicar sin ambigüedades la manera en que la incertidumbre está expresada.

Factor de cobertura y nivel de confianza

La incertidumbre estándar u_c representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad p de 68% aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores del mensurando siguen una distribución normal.

Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor k , llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida U ecuación (2.21)

$$U(y) = k.u_c(y) \quad (\text{Ec. 2.21})$$

La incertidumbre expandida U indica entonces un intervalo que representa una fracción p de los valores que puede probablemente tomar el mensurando. El valor de p es llamado el nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia.

En el medio industrial, a menudo se elige el nivel de confianza de manera tal que corresponda a un factor de cobertura como un número entero de desviaciones estándar en una distribución normal.

Por ejemplo, en una distribución normal, $k=1$ corresponde a $p=68,27\%$, $k=2$ a $p=95,45\%$, $k=3$ a $p=99,7\%$. En una distribución rectangular $p=57,7\%$ si $k=1$.

Expresión de la incertidumbre

La expresión de la incertidumbre expandida U incluye su indicación como un intervalo centrado en el mejor estimado y del mensurando, la afirmación de que p es del 95% (o el valor elegido) aproximadamente y el número efectivo de grados de libertad, cuando sea requerido.

Una manera de expresar el resultado de la medición es (ecuación 2.22)

$$Y = y \pm U \quad (\text{Ec. 2.22})$$

El número de cifras significativas en la expresión de la incertidumbre es generalmente uno, o dos cuando la exactitud es alta (si la primera cifra significativa es uno o dos, cabe la posibilidad de usar un dígito más para evitar la pérdida de información útil). Además debe asegurarse que el número de cifras significativas del valor del mensurando sea consistente con el de la incertidumbre.

CAPITULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO PARA MEDIR EL FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUMERGIDOS EN ACEITE

Para diseñar y construir el equipo motivo del trabajo se debe considerar las características propias de medición - adquisición de señales de corriente, voltaje de muy pequeña y grande amplitud respectivamente, además que lo se va a medir se encuentra sumergido en ruido electromagnético que afectará a dicha medición.

Por lo tanto, el sistema debe ser capaz de acondicionar señales, procesarlas para la obtención del parámetro mencionado anteriormente, evaluarlo y de esta manera proporcionar un criterio de aceptación del equipo bajo prueba.

GUÍA GENERAL

Para entender mejor la prueba del factor de potencia se desarrolla esta sección, en donde se aclara dicho termino, fórmulas, características, diagramas representativos, etc.

Se debe tener muy claro que el factor de potencia de aislamiento no es un parámetro igual al factor de potencia en un sistema de red AC convencional, pues el primero provee una indicación de la calidad del aislamiento y el otro nos proporciona una idea del tipo de carga que posee la red.

La prueba del factor de potencia de un aislante eléctrico o de un sistema de aislamiento permite medir LAS PERDIDAS DE POTENCIA DEL DIELECTRICO y no el valor del voltaje de ruptura del mismo, por lo tanto esta prueba no es considerada como destructiva.

El FPA es obtenida por la relación de la potencia de pérdidas del aislamiento en Watts (Potencia activa) por el producto del voltaje y corriente efectivo en Voltampers (Potencia aparente) y expresada en forma porcentual.

Para una mejor visualización, la figura 3.1 indica el circuito RC equivalente del aislamiento en un transformador. Generalmente las bobinas de los transformadores están separadas unas de otras y estas del potencial de tierra por algún tipo de aislamiento, como: madera, papel, cartón, algodón, micarta, fibra de vidrio, porcelanas, baquelitas, plásticos, aceites, etc., dichos elementos forman capacitancias efectivas en serie con resistencias que representan las pérdidas dieléctricas (disipadas).

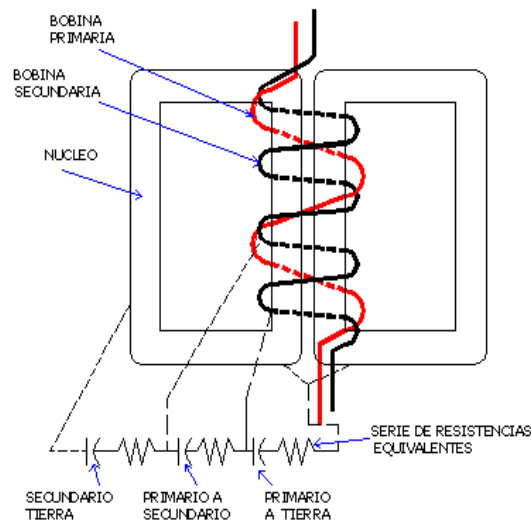


Fig. 3.1. Capacitancias equivalentes

Por lo tanto el circuito RC del aislamiento se simplifica como se observa en la figura 3.2. del cual se parte para realizar el estudio y los cálculos respectivos.

La prueba se realiza bajo condiciones controladas, aplicando un voltaje sinusoidal al dispositivo bajo prueba, en la figura 3.2 se puede observar que el flujo de corriente que pasa por el aislamiento se divide en 2 componentes, una resistiva y otra capacitiva.

El factor de potencia de aislamiento se puede obtener mediante la relación de la componente de corriente resistiva y la corriente total que fluye en el aislamiento completo, ecuación (3.1).

El factor de disipación es determinado a través de la relación de la corriente resistiva y la corriente capacitiva (ecuación 3.2.).

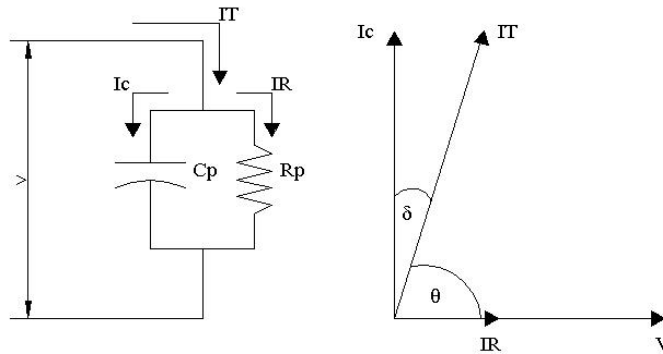


Fig. 3.2. Representación del aislamiento y su diagrama vectorial

$$FPA = \frac{I_R}{I_T} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$FD = \frac{I_R}{I_C} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

V = voltaje aplicado

Ic = corriente capacitiva.

IT = corriente total

FPA= Factor de potencia de aislamiento

IR = corriente resistiva

FD = Factor de disipación

Además, el FPA es igual a la potencia activa sobre la potencia aparente, desarrollando las fórmulas de las potencias y simplificando de estas V y I_T , tenemos que:

$$FPA = \frac{P.act.}{P.apar.} = \frac{V.I_T \cos \theta}{V.I_T} = \cos \theta \quad (\text{Ec. 3.3})$$

De donde se puede deducir que θ es el ángulo de desfase entre el voltaje aplicado y la corriente I_c que fluye por el aislamiento, en la figura 3.2 se verifica por relaciones trigonométricas el ángulo $\delta = 90-\theta$ de donde se pueden expresar las siguientes ecuaciones:

$$FPA = \cos\theta = \text{Sen}\delta \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$FD = \cot\theta = \text{Tan}\delta \quad (\text{Ec. 3.5})$$

En función de la resistencia, la reactancia e impedancia se tiene:

$$FPA = \frac{R}{Z} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$FD = \frac{R}{X_c} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

El FPA es expresado en porcentaje, por lo tanto el valor obtenido es multiplicado por 100.

En un dieléctrico ideal la componente de pérdidas disipadas I_r es = 0, en cambio la componente de tensión y de corriente I_c se desfasan exactamente 90° , teniendo un FPA del 0%. A medida que la eficiencia del dieléctrico baja, la componente de pérdidas disipadas I_r es mayor a 0, y el ángulo de desfase (θ) es menor a 90° , obteniendo un FPA mayor al 0%, en esos instantes la componente de corriente I_c empieza a desfasarse de la tensión en proporción directa.

El factor de potencia de aislamiento no depende del área o espesor del aislamiento, sino que varía con el aumento de contaminación por: humedad, agua, lodo, ionización, carbonización, aceite malo u otros factores externos como sobre calentamiento por sobrecargas, fugas, por lo que la prueba del FPA se usa para:

- Entregar la información acerca del deterioro del aislamiento del transformador.
- Determinar la degradación del aislamiento con cierta frecuencia en una unidad, permitiendo la implementación de acciones correctivas antes del colapso del dieléctrico.
- Medir la capacitancia entre los devanados.
- Probar la condición de aislamiento en terminales, líquido dieléctrico, pasatapas, cables, bobinas, bujes etc.

La prueba del FPA o FD, se la realiza en la fabricación y es muy primordial hacerla en campo para mantener un seguimiento del deterioro del aislamiento de la unidad.⁴

CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Para realizar la prueba del factor de potencia de aislamiento, según lo descrito en la norma IEEE C57.12.90 -1999 pruebas estándares para transformadores de distribución, potencia y reguladores sumergidos en líquido aislante, se puede utilizar un instrumento medidor puente especial, como el puente de schering o con el método voltampers - watt.

Para realizar el método tipo puente se debe poseer condensadores y resistencias variables, para de esta forma equilibrar el puente, lo cual limitaría la medida a la capacidad de dichos elementos.

El desarrollo tecnológico permite el empleo de un método de análisis virtual, basado en equipos que adquieren datos y mediante un lenguaje de programación estos son procesados, obteniendo resultados directos. Este último es el método que se aplicará para realizar la obtención de datos, teniendo como valores el voltaje y la corriente, aunque cabe recalcar que las medidas de corriente son muy bajas.

⁴ IEEE Std 62-1995 Guide for diagnostic field testing of electric power apparatus.

Para el diseño e implementación del equipo se divide el proyecto a este en dos partes específicas que son: la fuente de alto voltaje y el equipo de medida en sí.

Fuente de alto voltaje

Para diseñar la fuente se debe tener en cuenta los parámetros de carga como voltaje, corriente y potencia necesarios para transferir la energía, referidos estos a un voltaje, corriente y potencia de alimentación, a una frecuencia de trabajo.

El equipo del FPA, según normas internacionales debe realizarse bajo un voltaje AC, señal senoidal, frecuencia de 60 Hz, con un rango de voltaje de 100 a 12000 V AC. Por la disponibilidad de elementos se limitará el equipo a un voltaje de salida de 5000V AC, con una corriente máxima de 100 mA, teniendo además las características del transformador variable el cual posee un voltaje de entrada de 240 V 60 Hz y una salida de 0- 280 V, con una corriente de carga de 3.5 A; para suministrar un voltaje de 240 V se colocó un transformador elevador de relación 120/240 V.

El equipo opera con una fuente de energía de una fase con un valor de alimentación de 120V AC por ser un voltaje estándar que se encuentra fácilmente, con una capacidad de corriente de 10 A, el cual es llevado hasta el equipo por medio de un cable empotrable con toma para L1, neutro y tierra, adicional al diseño de la fuente de alimentación, se incorpora un sistema de seguridad para prevenir posibles cortocircuitos y sobrecorrientes:

Los circuitos de protección constan de fusible (protección térmica); estos dispositivos interrumpen un circuito eléctrico debido a que una sobrecorriente quema un conductor ubicado en el interior, por lo que deben ser reemplazados después de cada actuación para poder restablecer el circuito, el fusible que se utiliza tiene las siguientes características 250 VAC, 10 A.

También hay un interruptor termomagnético, este interruptor cuenta con un sistema magnético de respuesta rápida ante sobrecorrientes abruptas y una protección térmica basada en un bimetálico que desconecta ante sobrecorrientes de ocurrencia más lenta, el térmico utilizado para el control principal es de 250V AC, 50/60 Hz, Hold 10 A, trip 12.5 A.

El esquema diseñado se muestra según planos en el anexos A. Para comandar el alto voltaje y los modos de operación se empleó relés como las siguientes configuraciones: RY4S-U 110-120 V AC, Res. 5 A, 240 AC.

El circuito de sobrecorriente está diseñado según plano anexo B, el principio de operación es tener un voltaje que ingresa del circuito de la fuente igual a 10 V AC el cual será rectificado y pasará a un comparador para ser igualado con un voltaje de referencia, si la señal que entra de la fuente supera al de referencia, se activará un interruptor de estado sólido el cual activará el relé KF que a su vez enclavará y activará el relé KG que desactivará automáticamente el suministro de energía del equipo de prueba y encenderá una lámpara de activación, éste se restablecerá al pulsar el botón de reseteo que se encuentra en el panel frontal en la parte derecha.

Un transformador variable acoplado al transformador de potencia de 5000 V AC, sirve para variar de 0 a 5000 V AC, con una tensión de alimentación de 240V AC a una frecuencia de 60 Hz.

El equipo de poder consta de un panel frontal de fácil manejo donde se encuentra:

- Un interruptor para el control principal, el cual deja pasar el voltaje de alimentación de 120 V AC y activa una lámpara de visualización al encenderse.
- Pulsante de encendido y apagado del alto voltaje, el cual se activa siempre que se haya escogido un modo de operación y el transformador variable este en la mínima posición, pues internamente existe una protección que nos da la certeza de no permitir activar el alto voltaje si no se cumple este requerimiento, al encender el alto voltaje se activará el relé KA conjuntamente con la lámpara de visualización color rojo.
- Tres pulsantes de los diferentes modos de operación como son: GST (modo de operación con tierra) el cual activa los relés KC y KH; GST- G(modo de operación de tierra con protección) el cual activa los relés KD y KI; UST(modos de operación sin tierra) el cual activa los relés KC y KH, en la parte superior a estos se encuentran sus respectivas lámparas, como seguridad se dispone que los modos se enciendan uno a la vez y cuando este se active los demás se desactiven automáticamente, dichas conexiones se realizan internamente.
- Una perilla para variar el voltaje de 0 a 5000 V.

- Un pulsante de color rojo de reseteo sirve para activar el equipo después que ocurriera un sobrevoltaje, con su respectiva lámpara de visualización de activación.
- Una protección térmica que desactiva el circuito de potencia en caso de una sobrecorriente.
- Una perilla de sensibilidad que da la potestad de elegir cual va a ser el voltaje máximo de trabajo.

En su parte posterior posee 3 cables de prueba alto voltaje, bajo voltaje y tierra, los mismos que se pueden distinguir por el color de sus pinzas de medida, la pinza color rojo es de alto voltaje, la pinza de color negro de igual tamaño que la anterior bajo voltaje y la pinza de color negro de menor tamaño que las anteriores es tierra.

A un lado de estos cables se encuentran el cable de alimentación y una placa de características del equipo.

Todo esto se encuentra al interior de una caja metálica de 390 mm * 560 mm * 400 mm con agarraderas a los dos lados y un porta cables en su tapa posterior

Equipo de medida

Con el propósito de cumplir con el objetivo de una toma de datos efectiva se empleará la combinación, que nos facilita la instrumentación virtual, hardware, software y la tecnología de una computadora portátil.

Este moderno sistema de adquirir señales, procesarlas y registrarlas, da la oportunidad de adecuar un programa de acuerdo a las diferentes necesidades del usuario, teniendo en cuenta la señal a medir, el transductor a utilizar, el acondicionamiento que necesita la señal, el hardware de adquisición de datos más apto para la aplicación y el software a utilizar, ver fig. 3.3.



Fig. 3.3. Esquema de un acondicionamiento de señal

Los sistemas de adquisición de datos (DAQ) basados en PC y dispositivos insertables son usados en un amplio rango de aplicaciones en la actualidad, los dispositivos DAQ insertables son instrumentos de propósito general, están diseñados para medir señales de voltaje, teniendo que convertir cualquier señal física a una señal eléctrica de voltaje por medio de transductores que generan señales que deben ser acondicionadas englobando a este proceso funciones como amplificación, filtrado, aislamientos eléctrico y multiplexeo, etc.

Antes de elegir un conversor análogo – digital para realizar la adquisición de datos se debe tener en cuenta las características esenciales del elemento que se va a utilizar como :⁵

- Impedancias de entrada
- Rango de entrada
- Número de bits
- Resolución
- Tensión de fondo de escala
- Tiempo de conversión
- Error de conversión.

⁵ National Instruments (2003); Fundamentos de adquisición de datos.

- A. Impedancias de entrada.**- Cuando los niveles de voltaje que se va a medir son muy pequeños, la amplificación se usa para maximizar la efectividad del digitalizado.
- B. Rango de entrada.**- El rango es el intervalo (limitado en ambos sentidos) que el transductor o sistema de medida puede utilizar para realizar medidas. Es importante tener en cuenta que si se configura la tarjeta para poder obtener rangos de entrada máximos con ello también se perderá resolución en la lectura. Si se escoge un rango de entrada mínimo, se aumenta la resolución pero el nivel de la señal de entrada podría quedar fuera de rango y realizaríamos una medida errónea.
- C. Números de bits.**- Es el número de bit que tiene la palabra de salida del convertidor, y por lo tanto es el número de pasos que admite el convertidor, por ejemplo un convertidor de 12 bits sólo podrá tener una salida de $2^{12} = 4096$ valores posibles.
- D. Resolución.**- Es el mínimo valor que puede distinguir el convertidor en su entrada analógica, o la mínima variación, V_i en el voltaje de entrada que se necesita para cambiar en un bit la salida digital.
- E. Tensión de fondo de escala.**- Es aquella para la que la salida digital es máxima.
- F. Tiempo de conversión.**- Es el tiempo que tarda en realizar una medida el convertidor en concreto y dependerá de la tecnología de medida empleada.
- G. Error de conversión.**- Existe una serie de errores que se deben tener en cuenta dentro de los más importantes están:
- Error de offset
 - Error de cuantificación
 - Error de linealidad.

- Error de apertura.

Teniendo claras las recomendaciones anteriores, se debe adicionar a la computadora portátil, una DAQ en este caso de fabricación de la industria National Instruments, que debe reunir las siguientes características: señales de voltaje, con un rango de muestreo máximo de 500 Ks/s, que posea una resolución de 12 bits = 4096 valores posibles de medida, un rango de voltaje de ± 5 V, con una resolución dada en la ecuación 3.8

$$\text{Resolución} = \frac{10V}{100 * 2^{12}} = 1.5\mu V \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Siguiendo los criterios anteriores se escoge la tarjeta DAQCards-6062E multifunción I/O para PCMCIA, la más apta para esta aplicación. Las características detalladas de la DAQCards 6062E se encuentran en el anexo C.

Después de poseer la tarjeta de adquisición de datos, se emplean las siguientes etapas para lograr el objetivo propuesto.

Señales físicas

Las señales físicas como presión, temperatura, fuerza, movimiento, etc, pueden ser medidas gracias a los transductores que son elementos que convierten las magnitudes física en una señal normalmente de tensión o corriente.

Existen en el mercado modernos transductores que censan fenómenos como temperatura, luz, sonido, presión, fuerza, desplazamiento, caudal, pH, como:

Acondicionamiento de señal

Las señales a medir son voltaje y corriente, pero se encuentran dadas en valores de KV y mA respectivamente.

Esta etapa es la encargada de acoplar la impedancia, filtrar, amplificar o atenuar la señal proveniente del transductor o señales eléctricas altas o bajas para que estén dentro del rango de entrada de la DAQ.

Para la obtención de la señal de voltaje se emplea un TP's, el cual esta acoplado en la parte del primario del transformador a 240 V AC, y mediante la relación de transformación (240/3.5) proporciona un voltaje de 3.5 Vrms, el cual pasa por divisor de voltaje para obtener un rango de voltaje de 5 Vp y ser llevados a la tarjeta DAQ.

Además, se adiciona un circuito regulador el cual fijará el voltaje a 5.1V nivel adecuado para ser medida, con estos elementos se aísla al circuito de medida del circuito de potencia por medio del TP's y se protege a la tarjeta DAQCards 6062E de posibles daños contra sobrevoltaje.

La señal de corriente debe medirse en los 3 modos de prueba, por lo que se complica el acondicionamiento, para solventar esto se aprovecha el trabajo de un sensor de corriente basado en resistencias "shunt" que proporcionan una medición precisa y directa de la corriente, pero esto no ofrece ningún aislamiento galvánico.

Las resistencias shunt forman un divisor de tensión, el cual proporciona un voltaje de 3.5 Vrms, con 3 escalas de medida. Para seleccionar el valor de resistencia de precisión hay que tener en cuenta un valor muy bajo de resistencia para minimizar la disipación de potencia, un valor bajo de inductancia y una tolerancia razonablemente pequeña para mantener una precisión global en el circuito, una resistencia baja, disminuirá la disipación de potencia, también disminuirá el voltaje de salida a fondo de escala aplicado. Si la resistencia sensor es demasiada pequeña, el "offset" de entrada se puede hacer porcentualmente grande a fondo de escala.

Estas dos consideraciones contradictorias tienen, por lo tanto, que ser sopesadas unas contra las otras en la clasificación de la resistencia apropiada.

En conclusión, hay que lograr que la resistencia seleccionada sea de valor bajo para que no afecte a la precisión total del circuito .

Además por tener una corriente menor a los 100 mA, se presentan problemas por la inducción de ruidos, que para evitarlos se emplea una etapa de filtrado. Los filtros son necesarios para

remover cualquier componente de frecuencia no deseada en una señal, principalmente para prevenir aliasing y reducir la señal de ruido.

Convertor análogo/ digital

Un convertidor analógico - digital toma un voltaje de entrada analógico y después de cierto tiempo produce un código con salida digital que representa a la entrada analógica con una precisión y resolución determinada.

La DAQCards 6062E tiene 16 canales analógicos de voltaje y se puede seleccionar el rango y la referencia por software dependiendo del voltaje a ingresar. Teniendo un rango de voltaje de $\pm 5V$ bipolar con una ganancia de 1.

Para configurar los canales de entrada de la tarjeta existen 3 diferentes modos que son: no referenciada (NRSE), referenciada (RSE) y diferencial (DIFF), teniendo para los 2 primeros 16 canales disponibles y para el otro 8 canales, la descripción de los modos se puede ver en la tabla 3.1

Configuración	Descripción
NSRE	Un canal configurado en dicho modo, ingresa una señal en la entrada positiva del PGIA, la señal negativa ingresa a la entrada analógica SENSE (AISENSE).
RSE	Un canal configurado en dicho modo, ingresa una señal en la entrada positiva del PGIA, la señal negativa ingresa a la entrada analógica GND (AIGND). Internamente la entrada negativa del PGIA esta unida a la tierra del DAQ.
DIFF	Un canal configurado en dicho modo, ingresa una señal en la entrada positiva del PGIA, la señal negativa a la entrada negativa del PGIA.

Tabla 3.1 descripción de configuraciones de conexión

Para la aplicación en curso se emplea el modo flotante con la conexión diferencial, porque las entradas analógicas tienen una propia señal de referencia o camino de retorno de la señal.

Los canales 0 y 3 son conectados para voltaje y corriente respectivamente, en forma diferencial con la configuración para señales flotantes.

La DAQCards 6062E posee 8 canales digitales In/out de las cuales se emplean 2 para utilizarlos en el multirango de corriente, las señales digitales de E/S son DIO<0..7> y DGND. DIO<0..7> son señales que forman el puerto DIO y DGND es la señal de referencia a tierra para el puerto DIO.

El modo de funcionamiento de las señales digitales es el siguiente: del pin #14 sale una señal de +5 V que va al cátodo del led de un optotransistor, el ánodo sale a una resistencia de 220 Ω y cierra el circuito ingresando al canal # 52 o DIO 0, cuando el canal DIO 0 esta activado existe una diferencia de potencial con la señal +5 V, apagado el led del optotransistor en el momento en que no existe señal en el DIO 0, el led envía una señal al transistor el cual se cierra y deja pasar la corriente al relé DC y desactiva el contacto NC del relé D0. De la misma forma sucede con el canal #51, DIO 5 y la señal de + 5 V del pin # 8 y el relé D1.

Finalmente se tiene una interface con el usuario mediante el software de National Instruments Labview 7, en el cual se diseña un panel frontal que se visualiza mediante su lenguaje gráfico en la pantalla de la PC y se explica a continuación.

PROGRAMACIÓN

El lenguaje de programación empleado para esta aplicación es Labview 7 express, el programa para la medición del factor de potencia de aislamiento se estructura en el archivo FPA 2004. VI colocado en el panel del escritorio de la computadora portátil, el cual se abre dando un clic con el mouse en dicho icono abriendo los siguiente submenús:

Programa principal

Dentro del programa principal se encuentra la pantalla inicial diseñada para un fácil acceso a los demás submenús, entre los que se enuncian:

- Contraseña.
- Ingreso de información.

- Adquisición de datos.
- Presentación y análisis de transformadores.
- Presentación y análisis de bujes.
- Salir.

Se coloca en el panel frontal un arreglo de cluster con los submenús antes enunciados, otorgando a cada uno de ellos un valor de estados señalado de acuerdo a su posición en el cluster, por ejemplo la contraseña posee el orden 0, el ingreso de información el orden 1 y así sucesivamente, al dar un clic sobre el botón del submenú deseado se activará su valor de estado enviando este valor al selector de la estructura case (ver figura 3.4), donde se ejecuta el vi que se encuentra en dicho valor de ventana.

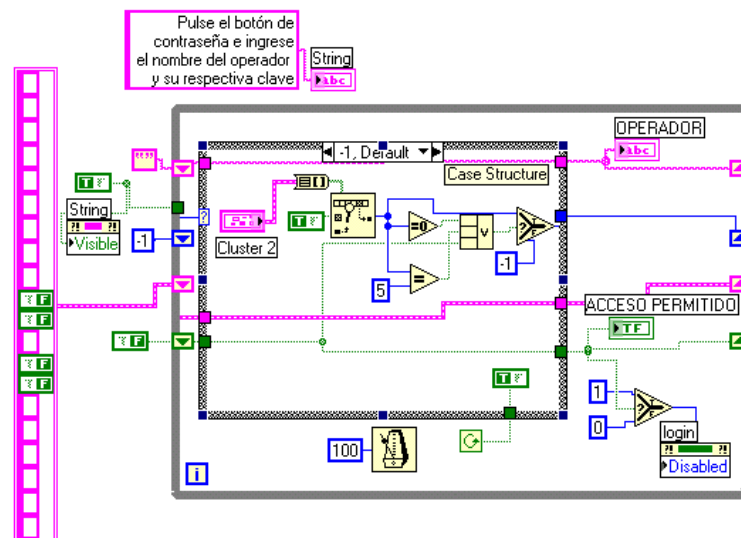


Fig. 3.4. Diagrama de bloque de la selección de valores de estado.

Contraseña

El programa principal posee una protección de acceso, si no ingresa el nombre del operador y su respectiva clave no podrá activar ningún submenú del programa, esta operación se puede

verificar si es aceptada, cuando la lámpara de chequeo esté encendida, caso contrario se deberá volver a tipiar la clave y el nombre.

En la figura 3.5. se puede ver el subvi del programa contraseña, que sirve como una base de datos pequeña, con los nombres y claves de las personas que están permitidas para ingresar al programa .



Fig. 3.5. Panel de la lista de personal autorizado

En el panel frontal se coloca una tabla con los nombres y claves de los empleados que tendrán acceso a utilizar este programa, un control string para escribir el nombre y otro para la clave serán los que se comparen con los nombres y claves de la tabla, si coincide con uno de los nombre y su clave respectiva enviará una señal booleana y encenderá el led de verificación, además el nombre correcto se escribirá en el indicador string de confirmación de nombre, permitiendo el acceso al siguiente submenu.

Ingreso de información

El VI ingreso de información guarda datos preliminares del transformador ha ser probado los que serán escritos por el operario, estos datos ingresan a un lazo While para poder verificar que las casillas están llenas, además se coloca la fecha automáticamente y se sale de este VI. Con el botón ACEPTAR; el botón CANCELAR anula la operación anterior, para casos en los no se posea toda la información necesaria.

Esta información quede almacenada y servirá de apoyo para el siguiente submenú, la presentación de este VI en el panel frontal se puede visualizar en la figura 3.6.

INFORMACIÓN PRELIMINAR FECHA: _____

CLIENTE _____

EQUIPO A PROBAR _____

MARCA _____ POTENCIA (KVA) _____

SERIE _____ PRIMARIO (KV) _____ Y D

AÑO _____ SECUNDARIO (KV) _____ Y D

CLASE DE ENF. _____ FASES _____

V. ACEITE (L) _____ PESO TOTAL (KG) _____

TEMP. AMBIENTE (°C) _____ HUMEDAD R. (%) _____ TEMP. ACEITE (°C) _____ TEMP. BOBINA (°C) _____

Los subtítulos subrayados, indican que estos datos son obligatorios

ACEPTAR CANCELAR

Fig. 3.6. Panel frontal de VI ingreso de información.

Adquisición de datos

Este VI está básicamente diseñado para adquirir datos, procesarlos, capturarlos y guardarlos, para esto en el panel frontal se puede ver la imagen de las formas de ondas, que indican los valores adquiridos, estos son de voltaje y corriente los cuales como se mencionó antes, se acondicionaron para ingresar en voltaje accesible a la tarjeta DAQCards 6062E .

Los 2 valores son leídos por el programa como voltaje, por software a los datos de corriente se los obtiene por ley de Ohm, el voltaje que ingresa al canal se divide para la resistencia de precisión por la cual está circulando la corriente que dependerá de la escala en la que se encuentre midiendo dicho canal. Antes de que las señales sean procesadas se tiene una etapa de filtrado.

NO

SI

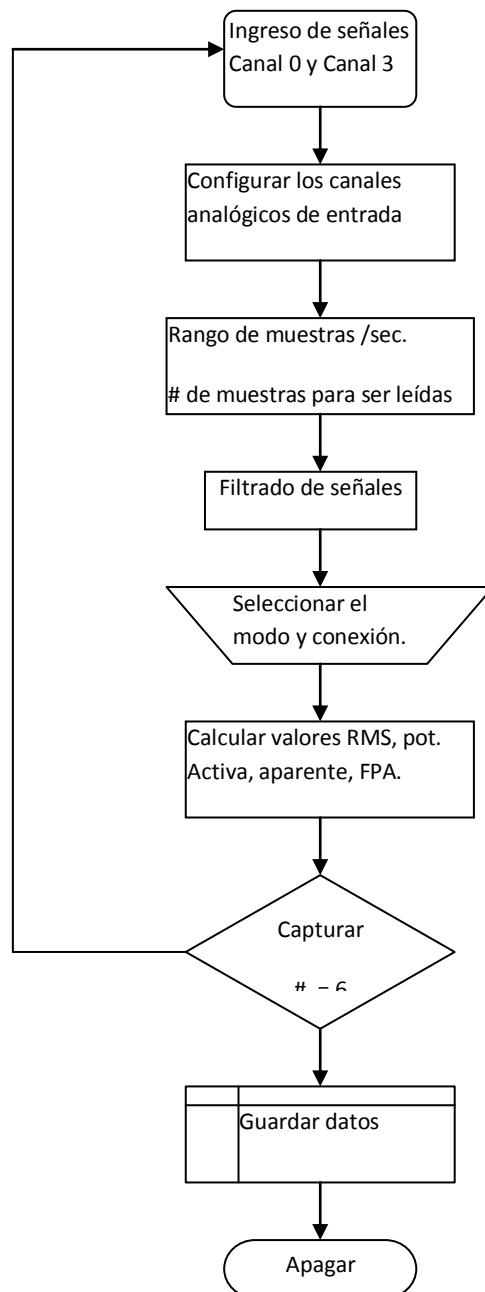


Fig. 3.7. Esquema de la programación para adquirir datos

El esquema que se siguió para la programación es el que se muestra en la figura 3.7, donde primero se ingresa las señales por los canales respectivos, luego se configura sus entradas, se coloca el número de muestras ha ser tomadas, la velocidad de muestreo, para después pasar las señales por una etapa de filtrado, se escoge los modos y conexiones de acuerdo a las conexiones físicas realizadas a la muestra, las señales luego de esto son procesadas para emitir valores de: potencia activa, aparente, factor de potencia, V Rms, I Rms.

De la etapa de información se toma los datos elementales y se muestra en el panel frontal del VI adquisición de datos para ser conjuntamente almacenados con los valores tomados y calculados.

Existen 3 modos de operación y 2 modos de conexiones de los terminales por lo que suman un total de 6 muestras, que son capturadas una a una en una tabla de datos para luego ser guardadas automáticamente según su: cliente, # de serie, potencia y clase de equipo en un archivo tipo texto que se encuentra ubicado en la dirección del directorio C:/datos FPA/información, culminando con este proceso.

Reporte de prueba a transformadores

Al presionar el botón el VI. reporte de prueba a transformadores se abre una ventana donde se selecciona el archivo para ser leído en ese momento, esta carpeta guarda y enlista todos los archivos hasta esa fecha grabados, automáticamente se cargan en las determinadas casillas y tabla de datos los valores almacenados antes.

Con los valores de voltaje, corriente y fpa se calcula la capacitancia utilizando la siguiente ecuación 3.9

$$C = \frac{\text{Sen}\theta * I}{V * W} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

El valor de temperatura del tanque del transformador ingresado, sirve para reflejar este a 20°C.

Además, como se poseen los valores de aceptación de la prueba, se realiza una comparación con los valores obtenidos para que se emita el resultado en el registro final, todo esto se realiza con operaciones booleanas y aritméticas que dan un resultado rápido de la calidad del aislamiento del transformador, el panel frontal de este subvi, se puede observar en la figura 3.8

El reporte posee el nombre de quien realizó la prueba, la fecha actual y un casillero para que el operario adicione algún comentario si así lo amerita.

REPORTE DE PRUEBA DEL FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES



INFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR			
CLIENTE	FASES	AÑO	CONDICIONES AMBIENTALES
EQUIPO A PROBAR	SERIE		TEMP. AMBIENTE (°C)
MARCA	CLASE DE ENF.	V. ACEITE (L)	HUMEDAD R. (%)
POTENCIA (KVA)		PESO TOTAL (KG)	TEMP. ACEITE (°C)
PRIMARIO (KV)	Y <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>	SECUNDARIO (KV)	Y <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> TEMP. BOBINA (°C)

RESULTADO DE PRUEBAS AL TRANSFORMADOR

N.	TERMIN.	MODOS	Voltaje (KV)	Corriente (mA)	Potencia (W)	FPA % (20°C)	Capacitancia (F)	Resultado	Capac. med
1									
2									
3									
4									
5									
6									
Calculo de pruebas									
Calculo de pruebas									

OBSERVACIONES

REALIZADO POR:

FECHA:

SALIR

Fig. 3.8. Panel frontal del reporte de prueba

La forma de operar y conectar el equipo para medir el FPA se encuentra detallado en el anexo D.

CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración del equipo se realizó teniendo un transformador patrón al cual se conectó en los 3 modos dados para la prueba y en la 2 conexiones requeridas midiendo los valores de voltaje y corriente con multímetros patrones calibrados y contrastando los mismos.

De los datos obtenidos se realiza un análisis de calibración el cual lleva a encontrar su error, incertidumbre, etc. ilustrados en el anexo E.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Un objetivo implícito para la construcción de este equipo fue dar a conocer que en el país tenemos las herramientas suficientes para diseñar e implementar aparatos eficientes y con calidad, logrando así fuentes de trabajo y aportando a la investigación.

Al finalizar con este trabajo y habiendo alcanzado los objetivos y metas prevista pueden emitirse las siguientes conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES

- La prueba del factor de potencia de aislamiento es una prueba fundamental para verificar el deterioro del aislamiento no solo en la fabricación de transformadores sino en toda su vida útil.
- La prueba del FPA no es una prueba destructiva, la cual se puede realizar con toda seguridad, pues la vida de la unidad ha ser probada no sufre daño algún.
- La falta de información en nuestro medio es una barrera difícil de sobrepasar, pero con la ayuda de la tecnología y principalmente del Internet se ha acortado esta gran brecha.
- Los modos de conexión realizados internamente simplifican el tiempo y errores de implementación que pudiera ocasionar el operario del equipo.
- El FPA varía con la capacitancia y pérdidas disipadas del circuito de carga .

- El diseño de un equipo de prueba depende no sólo de los valores a medir sino también de la seguridad que desee brindarse al operario y a los aparatos sujetos de comprobación
- Al medir corriente senoidal la forma de onda suele sufrir deformaciones por estar afectada por elementos reactivos y resistivos no propios de la carga, introduciendo diversas componentes armónicas que dificultan el tratamiento de la señal.
- Para medir corriente se poseen sensores lineales y no lineales utilizados de acuerdo a las necesidades, de los cuales se puede mencionar como lineales a: resistencias shunt, sensores de efecto hall, bobina de Rogowski. Y entre los no lineales los transformadores de corriente.
- Para la adquisición de señales muy pequeñas una adición insignificante de ruido puede alterar en gran magnitud el valor medido.
- Los circuitos electrónicos son muy sensibles a ruidos electrostáticos variando su comportamiento, por lo que hay que brindar la seguridad adecuadas al equipo.
- Algunos elementos de labview 5 que se activan con labview 7 pueden volver lento el proceso de adquisición de datos.
- Labview 7 posee la ventaja de los lazos por eventos, eligiendo el evento que se desea, el programa realizará una sola vez dicho evento evitando así esos lazos interminables que consumía tiempo al proceso.
- Los lazos de tierra formados en las conexiones puede alterarse la señal adquiridas por causa de ruido.
- Los efectos de la temperatura en el FPA es una consideración muy importante, observando que a temperaturas menores de 20 °C el valor medida se incrementa, por el contrario a temperatura mayor de 20°C el FPA es menor al valor medido. Para su análisis

se reflejan a 20 °C y dichos valores sirven para formalizar un seguimiento del deterioro del aislamiento.

RECOMENDACIONES

Durante el diseño y la implementación del equipo se han presentado varios contratiempos, los que han permitido obtener las bases para enunciar las siguientes recomendaciones:

- En el diseño de placas electrónicas la incorrecta manera de soldar puede generar sueldas frías que pueden llevar a un mal funcionamiento de los elementos electrónicos y fallas en el sistema.
- En las industrias existen tomas de voltaje de 1, 2, o 3 fases, pudiendo tomar erróneamente tomas de voltaje diferentes a 1 fase 120V AC lo cual puede provocar un daño grave en el equipo
- Es muy importante e sumamente indispensable aterrizar el terminal de tierra para preservar la seguridad del operario, de la computadora portátil y la DAQcards 6062E, esto evitará se sufran daños irreparables.
- Es recomendable apantallar los cables que transportan las señales a medir para evitar que se introduzcan ruidos.
- Se recomienda para realizar los modos de operación en el modo con guarda , colocar una doble protección de tierra en el equipo internamente, para evitar interferencias y por seguridad del equipo.

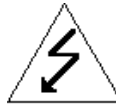
AVISOS DE SEGURIDAD

Antes de realizar cualquier prueba con el equipo M-FPA-11 lea atentamente el manual de operación.

Observen cuidadosamente los anuncios que poseen los siguiente símbolos:



Advertencia



Peligro alto voltaje

DESCRIPCIÓN GENERAL

El equipo para medir el factor de potencia de aislamiento M-FPA-11 es portátil, fácil de operar y dotado de modos de conexión que abarcan las secciones de un sistema de aislamiento complejo simplificado en un método interno de conexión dando mayor facilidad de conexión externa, utiliza un voltaje de alimentación de 120V A.C. a 60 Hz. Provee valores de voltaje de prueba hasta 5000 V A.C. y capacidad máxima de salida de 100 mA.

Integra 2 unidades: un modulo de potencia y sistema de medida.

Modulo de potencia

El módulo de potencia se encuentra dentro de una caja metálica, en su parte frontal tiene un panel de control manual, donde se activa el encendido principal, alto voltaje, control de modos de conexión y la variación de voltaje, además posee protección para detectar sobrevoltajes que puedan dañar al equipo o causar choques eléctricos.

En la parte superior del panel de control esta simplificada una instrucción de operación del equipo y gráficos aclaratorio de los modos de operación que se utilizan.

En su parte posterior se encuentran los cables de:

- Prueba a ser conectados AV., BV y tierra.

- Alimentación 120 V AC 60 Hz.
- El porta fusible de ingreso de la alimentación.

A un lado se encuentra el cable de transmisión de datos para realizar las medidas deseadas

SISTEMA DE MEDIDA

Es un procedimiento de medida dotado de la más alta tecnología basado en sistemas de adquisición de datos, procesado y presentado mediante el acondicionamiento del hardware y software que nos proporciona la National Instruments con sus modernos instrumentos y la programación gráfica de Labview incluyendo una computadora portátil para visualizar los resultados.

Este sistema de medida consta de:

- Un circuito de acondicionamiento de señal encargado de adaptar la señal de alto voltaje a rangos de entrada de ± 5 V que ingresa al bloque de conexión *SCB-68 de 68 pines*.
- Un bloque de conexiones SCB-68
- Un cable SCB-68 con 2 conectores tipo D en sus extremos de 68 pines cada uno para ser conectado del bloque de conexión a la tarjeta DAQ.
- Una tarjeta DAQ conversor análogo a digital para puerto PCMCIA tipo II, con una resolución de 12 bits, con 16 entradas analógicas no diferenciales, 8 diferenciales.
- Una computadora portátil Celeron (TM) con ranura para puerto PCMCIA.
- Un Programa orientado a objetos labview versión 7 express.

Esta integración nos otorga un sistema de medida con resultados automático listo para ser impresos.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El equipo M-FPA-11 esta diseñado para realizar la prueba del factor de potencia de aislamiento a transformadores de distribución y potencia, entre otros.

En la tabla 1.1 se detalla las especificaciones de alimentación, rangos de salida y medida del equipo M-FPA-11

ALIMENTACIÓN	
VOLTAJE	120 V AC
CORRIENTE	10 A BAJO CARGA
FRECUENCIA	60 Hz
CONEXIÓN	FASE – NEUTRO Y TIERRA
RANGOS DE SALIDA	
VOLTAJE	0- 5000 V AC
CORRIENTE	0 – 120 mA.
FRECUENCIA	60 Hz
RANGOS DE MEDIDA	
VOLTAJE	100-5000 V AC
CORRIENTE	40 uA- 100 Ma
COS 0	0-1
FRECUENCIA	60 Hz
POTENCIA ACTIVA	0-1000 W

Tabla. 1.1. - Especificaciones de entrada y salida del equipo

RANGO DE TEMPERATURA

- OPERACIÓN. 0° C a 60 °C
- ALMACENAMIENTO -20° a 80°C

RANGO DE HUMEDAD RELATIVA

- OPERACIÓN. 10% a 50%
- ALMACENAMIENTO 20% a 80%

FUSIBLES

- **10 A, 100 mA, 0.8 mA**

DIMENSIONES DEL MODULO DE POTENCIA		
ALTO: 39 cm	ANCHO: 56 cm	PROFUNDIDAD: 43.5 cm

Tabla. 1.2. - Dimensiones

SISTEMA DE MEDIDA

El sistema de medida consta de un sistema de acondicionamiento de señal integrado, un modulo de conexión de señales *SCB-68*, un cable de transferencia de datos *SHC68-68-EP D – Tipo A 68 NATIONAL INSTRUMENTS*, una tarjeta DAQcard-6062 E para puerto PCMCIA, una computadora portátil.

- *TARJETA DAQCard-6062E para PCMCIA.*⁴

Entradas análogas características

Números de canales 16 pseudo diferenciales

⁴ Manual de uso DAQCard –6062E

junio –2002

National Instruments

8 diferenciales seleccionable por software.

Resolución12 bits, 1 en 4,096

Rango de muestreo max. 500 kS/s

Voltaje de trabajo max.

(señal + modo común)..... cada entrada puede permanecer con ± 11 V

protección de sobrevoltajes

Prendido ± 25 V

Apagado ± 15 V

Protección de entradasAI <0..15>, AI SENSE

Tamaño de memoria..... 512 palabras (1 palabra = 8 bits)

Características de transferencia

Exactitud relativa ± 0.5 LSB tipo dithered,

± 1.5 LSB max sin dithered

sin linealidad diferencial (DNL)..... ± 0.75 LSB tipo

$-0.9, +1.5$ LSB max

Características de amplificación

Impedancia de entrada

Normal prendido100 G Ω en paralelo con 100 pF

Apagado820 Ω min.

Sobrecarga820 Ω min.

Calibración

Tiempo del precalentamiento recomendado.....30 minutos

Intervalo de calibración1 año

Referencia de calibración externa.....>6 y <9.999 V

Referencia de calibración sobre la tarjeta
 nivel5.000 V (± 2.5 mV)
 coeficiente de temperatura..... ± 5 ppm/ $^{\circ}$ C max

- *SCB-68 BLOQUE CONECTOR DE SEÑALES*

Entradas análogas características

Numero de canales 68-pin DAQ..... 8 diferenciales,
 16 Singulares

Requerimiento De Potencia

Potencia consumida (a +5 VDC, $\pm 5\%$)
 Típica 1 mA sin señal

Características Físicas

dimensiones de la caja.....19.5 x 15.2 x 4.5 cm
 (7.7 x 6.0 x 1.8 in.)
 conectores I/O.....uno 68-pin machos SCSI conector
 terminales de tornillo68
 cable
 #
 ≤ 26 AWG

- *CABLE SHC68-68-EP D –TIPO A 68 NATIONAL INSTRUMENTS.*

Terminales 2 con
 68 pines cada uno.
 Conectores tipo
 D.

- **COMPUTADORA PORTATIL COMPAQ PRESARIO**

Producto.Compaq PC
 Procesador Celeron (TM) a 566MHz

Memoria Compaq total. 160 Megabytes
Discos duros. 3.395 GB
Versión de Windows. 98

FUNDAMENTOS

El factor de potencia de un aislante eléctrico o de un sistema de aislamiento es la relación de la potencia de pérdidas en el aislamiento en wattios para el producto del voltaje efectivo y corriente en voltamperios.

El factor de pérdidas es una relación dimensional expresada en porcentaje lo cual da una indicación de las condiciones del aislamiento.

La prueba del FP de aislamiento se realiza con un voltaje senoidal, donde el flujo de corriente que pasa por el aislamiento (figura 1.1), distribuye 2 componentes, una corriente de fuga (perdidas disipadas) y la corriente de carga (I que atraviesa el aislamiento), el factor de potencia de disipación es la relación de corriente resistiva para la corriente capacitiva y el factor de potencia es la relación de la corriente resistiva para la corriente total que fluye en el aislante completo. Para la mayoría de las aplicaciones que involucran aislamiento de aparato, ambas cantidades son muy similares.

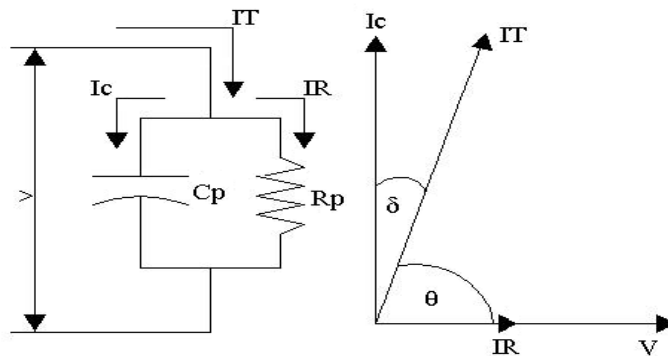


Diagrama de vector de la prueba de pérdidas dieléctricas

Donde:

V = voltaje aplicado

I_T = corriente total

I_R = corriente resistiva

I_C = corriente capacitiva

Todo aislamiento eléctrico en aparatos de potencia tiene una cantidad moderada de pérdidas dieléctricas, usualmente un aislamiento bueno tiene unas pérdidas muy bajas, unas pérdidas altas pueden indicar problemas en la estructura del aislamiento o envejecimiento y pueden acelerar el deterioro del aislamiento por el aumento del calentamiento, pero más comúnmente un aumento de pérdidas se evidencia de otros deterioros porque además afecta al espesor del dieléctrico. El FPA se incrementa directamente con la temperatura.

VOLTAJE A LOS CUALES SE REALIZA LA PRUEBA

La prueba de factor de potencia no es una prueba destructiva, su principal función es la medida de los diferentes parámetros eléctricos del aislamiento, como factor de potencia, pérdidas del dieléctrico, capacitancia, etc., aplicando voltajes de prueba que estén dentro de los rangos de operación normal del equipo bajo prueba y por medio de estos detectar cambios o anomalías en este, que pueden ser causadas por humedad, calor, ionización, rayos, distorsión física (bobinas de transformadores), u otros agentes destructivos que reducen la vida del dieléctrico.

El voltaje a ser aplicado para medir el FPA en transformadores sumergidos en aceite no debe exceder la mitad del voltaje de prueba a baja frecuencia para algunas partes de la bobina o menor a 10 KV.

En equipos con capacitancias mayores que los valores límites calculados para medir a 10 KV, deben ser probados a voltajes menores.

En equipo que se sospecha posibles daños se debe proceder con mucho cuidado pues un voltaje de prueba bajo podría ser suficiente, para causar averías en la unidad, estos casos pueden ser los siguientes:

- Equipo que se ha contaminado con humedad en tránsito de la fábrica, reparación o entre las subestaciones.

- Equipo que se ha contaminado con humedad después de estar por un periodo prolongado guardados a la intemperie.

Cuando se realiza esta prueba se debe empezar siempre incrementando el voltaje desde cero lentamente, en equipos sospechosos se debe realizar la prueba a voltaje menor que 2 KV, si las lecturas no poseen problemas se deberá incrementar hasta el rango de voltaje de prueba normal.

MODOS DE OPERACIÓN

Los modos de conexión abarcan un sistema de aislamiento complejo, el cual se ha realizado internamente para simplificar el trabajo de conexión exterior.

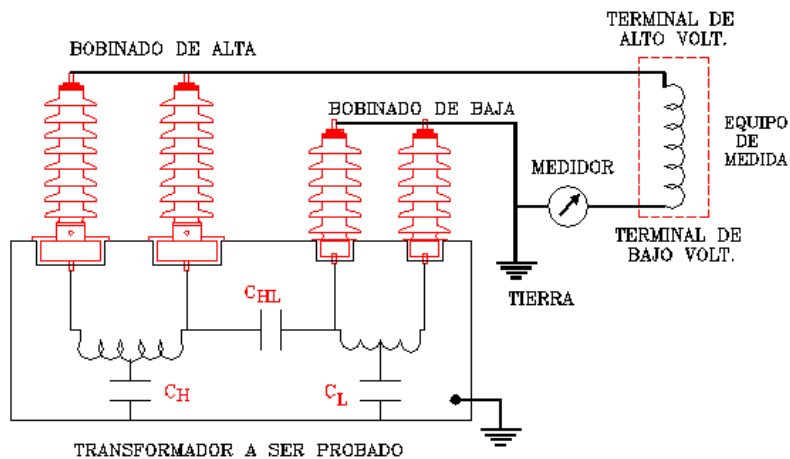
El equipo esta diseñado para proporcionar 3 modos de operación requeridos para realizar la prueba del factor de potencia que son descriptos a continuación:

GST (TIPO DE PRUEBA CON TIERRA)

Esta es la conexión de prueba más utilizada y abarca todo el aislamiento entre los terminales de alto voltaje y tierra, entre bobinas, tanque y núcleos.

Es decir permite probar de un terminal sin tierra para un terminal o terminales aterrizados.

En el modo GST es medida toda la corriente que fluye a tierra por el equipo de prueba, esta configuración se observa en la figura 1.2



Configuración GST

Donde:

- CH aislamiento de alto voltaje y tierra
- CHL aislamiento entre la parte de alto voltaje y bajo voltaje
- CL aislamiento de bajo voltaje a tierra

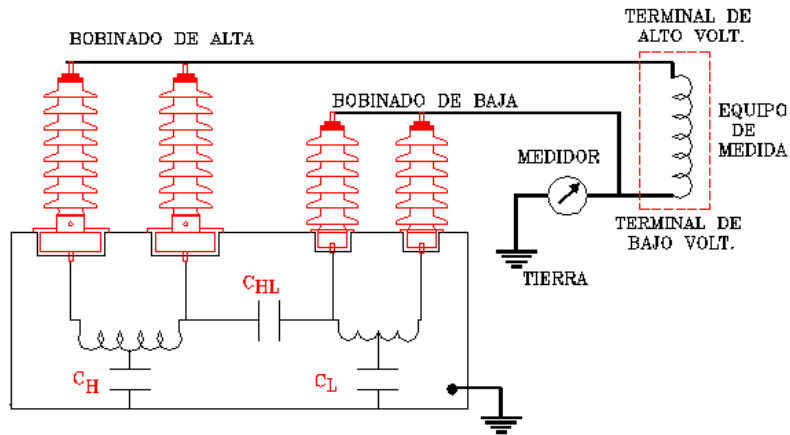
Se distingue en este modo los aislamientos (CH+CHL), cuando el cable de A.V. está en el bobinado de alta y el cable de B.V. está en el terminal de bajo voltaje. En cambio cuando el terminal de A.V. está en el bobinado de bajo y el cable de B.V. está en el bobinado de alta se distinguen los aislamientos (CL+CHL)

GST-G (MUESTRA ATERRIZADA CON PROTECCIÓN)

La configuración GST-G admite un circuito de medida sin necesidad de corriente de paso y habilita una sección pequeña de aislamiento para ser probada individualmente.

Este método se emplea para separar los valores totales entregados por la medición GST, este modo solo mide la corriente a tierra, esta configuración se observa en la figura 1.3

Este modo mide el aislamiento (CH), cuando el cable de A.V. está en el bobinado de alta y el cable de B.V. está en el terminal de bajo voltaje. Si por el contrario el cable de A.V. está en el bobinado de bajo y el cable de B.V. está en el terminal de alta el aislamiento medido es el CL.



Configuración GST-GUARD

UST (MUESTRA BAJO PRUEBA NO ATERRIZADA)

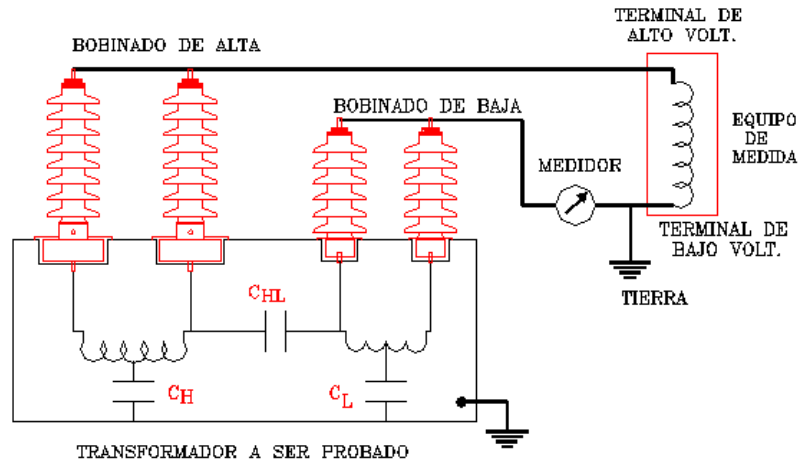
Este modo de prueba es usado para tomar medidas entre 2 terminales de la muestra que no se encuentren aterrizados o que puedan ser removidos de tierra.

Se utiliza para reducir el efecto de:

- Pérdidas asociadas a las capacitancias a tierra.
- Interferencia proveniente de aparatos cercanos.

En la configuración UST la corriente que fluye a tierra no es medida, se mide el flujo de corriente en el aislamiento entre el voltaje de salida y la medida de salida del instrumento, esta configuración se observa en el figura 1.4. Representado en un transformador de 2 bobinados.

Si se coloca el cable de A.V. en el bobinado de alto voltaje y el cable de B.V. en bobinado de bajo voltaje se obtiene la medida del aislamiento CHL, en la otra posición de los cables se tiene el valor del aislamiento de CHL.



Configuración UST

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA TEMPERATURA

Las condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa para el momento de la prueba son importantes, pues estos factores influye en gran forma en los valores a ser obtenidos.

El FP de aislamiento puede ser sensible a variaciones con temperatura, por esto se toma una referencia a 20 °C, una temperatura de prueba baja o alta puede significar medidas erróneas, las causas principales son la capacidad de humedad en el aislamiento, las características eléctricas de hielo y agua son completamente diferentes y es más difícil detectar la presencia de hielo que de agua, algunas veces esto es imposible.

La RH% y precipitaciones muy pequeñas de vapor de agua en la superficie del aislamiento externo puede incrementar la cantidad de I de fuga y presentarse un aumento de perdidas en el resultado de prueba, esto es especialmente en factores para equipos de voltaje bajo donde la distancia de bujes es corta.

El factor de corrección de temperatura para el FP de aislamiento depende de los materiales aislantes, su estructura, contenido de humedad, es decir de sus características eléctricas. Valores típicos del factor de corrección K se en listan en la tabla 1.4 sirve para un propósito práctico a utilizarlo en la ecuación 1.1.

$$F_{P20} = \frac{F_{Pt}}{K} \quad \text{Ec 1.1}$$

Donde:

F_{p20} = factor de potencia corregido

F_{Pt} = factor de potencia medido

T = temperatura de prueba

K = factor de corrección.

TEMPERATURA DE PRUEBA T °C	FACTOR DE CORRECCIÓN K
10	0.80
15	0.90
20	1.00
25	1.12
30	1.25
35	1.40
40	1.55
45	1.75
50	1.95
55	2.18
60	2.42
65	2.70
70	3.00

Tabla. 1.3. - Factor de corrección de temperatura para FP de aislamiento

PRELIMINARES DE LA PRUEBA

Tenga en cuenta las siguientes indicaciones:

El operario debe examinar el área de prueba para confirmar que esta es segura para proceder a realizar la medida.

El área de bornes de prueba y el panel de control del equipo debe mantenerse en estado limpio y seco.

Los bornes de pruebas no deben tocarse cuando se active el alto voltaje.

El instrumento no debe ser usado si cualquiera de sus partes se encuentra dañadas, para preservación del mismo y del usuario.

El tipo y la capacidad de los fusibles de repuestos deben tener las mismas características de los originales, (10 A, 100 mA).

Si se requiere abrir la tapa posterior del equipo verifique que esté desenergizado y desconectado, por peligro del alto voltaje que puede tener.

Siempre realice las conexiones al equipo a ser probado con el equipo M-FPA-11 desenergizado.

La carcasa del transformador debe ser aterrizada de manera apropiada, con su terminal a tierra.

Los terminales de cada bobinado del transformador, incluyendo neutro, deben puntearse. Lo anterior se realiza para eliminar los efectos de la inductancia de las bobinas en las mediciones. El conductor neutro del transformador no debe estar aterrizado.

Todas las bobinas sumergidas en un líquido aislante en transformadores sumergidos en aceite.

Todos los bushings en su lugar.

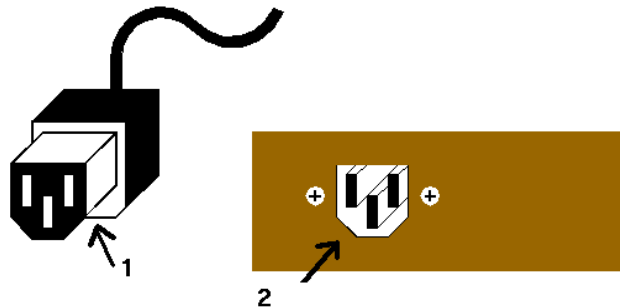
La temperatura de bobinas y el líquido aislante cerca de la temperatura de referencia a 20 ° C.

Si la unidad está equipada con cambiadores de taps en la carga (LTC), este debe ser calibrado a una posición distante del punto neutral.

Revise que el interruptor de encendido principal del equipo M-FPA-11 este apagado.

Confirme la polaridad de la alimentación del equipo y la conexión a tierra del equipo M-FPA-11.

Verifique que el cable de alimentación a 120 V AC este conectado, ver figura 1.5. el conector 1 enchufe al conector 2 verifique que las partes se acoplen correctamente.



Conector de alimentación a 120 V AC

Coloque la computadora portátil sobre el modulo de potencia. Y verifique que la tarjeta DAQCard – 6062E national instruments, se encuentre colocada en su respectiva ranura.

Verifique que la batería de la computadora este cargada, sino cárguela para utilizarla sin problemas.

A un lado del panel de control, esta el conector del cable *SHC68-68-EP* hale de este y conecte con la tarjeta DAQ que se encuentra en la ranura PCMCIA de la computadora portátil.

Antes de encender el equipo M-FPA-11 verifique la adecuada conexión de los conectores al equipo a ser probado, este poseen en su parte posterior 3 cables, el que posee la pinza color rojo es el alto voltaje (A.V), el cable con una pinza color negra del mismo tamaño del cable A.V. es el conector de bajo voltaje, sobre el fusible se encuentra el cable de tierra con una pinza pequeña color negra.

PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

Después que haber cumplido con las indicaciones anteriores proceda a:

1. Enchufar los cables de prueba al equipo del factor de potencia de aislamiento, bajo voltaje y tierra respectivamente.
2. Conecte los cables de prueba al equipo a ser medido. Como lo indica gráficos de cada modo, verifique que este conectado el cable de tierra.
3. Tome la medida de la temperatura en °C del tanque del equipo a ser medido.
4. Encienda la computadora portátil y coloque la flecha del mouse sobre el icono de labview M-FPA-11, presione rápidamente 2 veces el botón izquierdo del mouse, enseguida se activará el programa, siga en orden descendente el menú, ver figura 1.6.



Pantalla del menú principal

5. Cuando ingrese la contraseña y si esta es correcta se encenderá el acceso permitido y podrá activar el siguiente submenu, de lo contrario ingrese nuevamente su contraseña.
6. En el submenu ingreso de información llene todos los casilleros, los que están subrayados son datos muy importantes ver figura 1.7 terminado esto coloque la flecha del mouse sobre la botón ACEPTAR y saldrá del submenu.

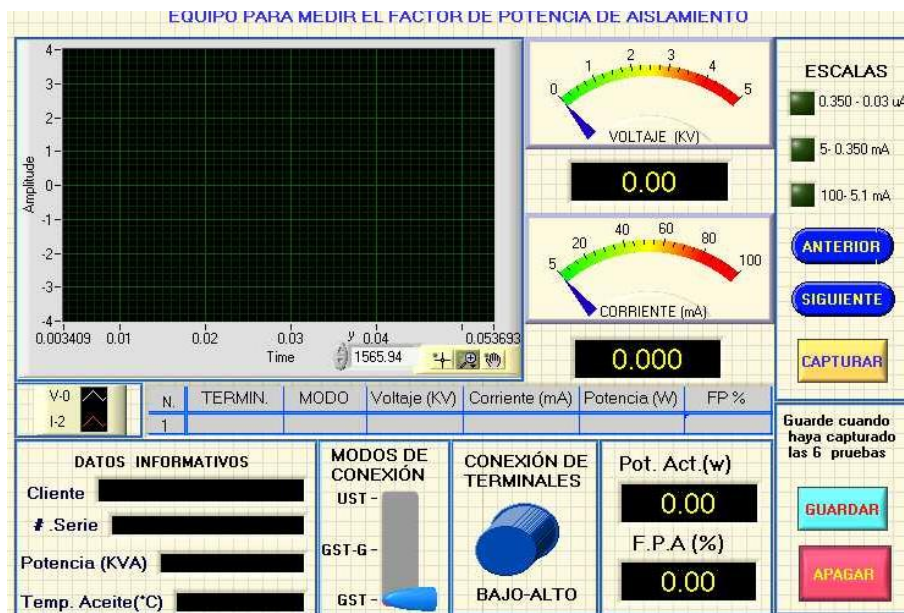
INFORMACIÓN PRELIMINAR		FECHA:
<u>CLIENTE</u>	<input type="text"/>	
<u>EQUIPO A PROBAR</u>	<input type="text"/>	
MARCA	<input type="text"/>	POTENCIA (KVA) <input type="text"/>
<u>SERIE</u>	<input type="text"/>	PRIMARIO (KV) <input type="text"/> Y <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>
AÑO	<input type="text"/>	SECUNDARIO (KV) <input type="text"/> Y <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>
CLASE DE ENF.	<input type="text"/>	FASES <input type="text"/>
V. ACEITE (L)	<input type="text"/>	PESO TOTAL (KG) <input type="text"/>
TEMP. AMBIENTE (°C)	HUMEDAD R. (%) <input type="text"/>	TEMP. ACEITE (°C) <input type="text"/>
		TEMP. BOBINA (°C) <input type="text"/>
<i>Los subtítulos subrayados, indican que estos datos son obligatorios</i>		
<input type="button" value="ACEPTAR"/> <input type="button" value="CANCELAR"/>		

pantalla del submenu ingreso de información

7. De un clip en el submenu adquisición de datos, este correrá automáticamente, coloque manualmente el tipo de conexión instalada y el modo a probar en ese momento
8. Encienda el equipo con el interruptor de control de energía, puede verificar que el equipo esta energizado, por medio del encendido de la lámpara que se encuentra en la parte inferior del interruptor. Si esta se encuentra prendida prosiga al siguiente paso, sino apague el interruptor y verifique las conexiones anteriores.
9. Verifique que la perilla de voltaje se encuentre en la posición de mínimo, caso contrario no podrá encender el alto voltaje.
10. Elija el modo de operación que colocó en el submenu ADQUISICIÓN DE DATOS (GST, GST-G, UST), por medio de los pulsantes que se encuentran en la parte inferior del lado izquierdo del panel, de lo contrario no podrá energizar el alto voltaje, de igual manera verifique la activación de los mismos con las lámparas que se encuentran en la parte superior de los mismos.
11. Ahora puede prender el alto voltaje, verifique el encendido con la lámpara de visualización del mismo.
12. Con la perilla de variación de voltaje eleve lentamente hasta el voltaje señalado en el anexo 1 dependiendo de las características del equipo a medir.
13. Si hubiera una sobre corriente, se activaran la protección, en este caso se deberá llevar la perilla de voltaje al mínimo y pulsar el mando de restablecer y proceder de igual desde el paso 8.
14. Verifique los valores en la pantalla del computador, de un clip izquierdo con el mouse en CAPTURAR, los datos llenaran los espacios de la tablas, de un clip en el botón

SIGUIENTE, y escoja el siguiente modo de conexión a medir, en la misma conexión de terminales, el programa seguirá activado ver figura 1.8.

15. Lleve la perilla de voltaje al mínimo, apague el alto voltaje, escoja el siguiente modo de conexión igual al que escogió en el computador, con los cables en el mismo lugar y proceda de la misma forma desde el numeral 11, cuando haya capturado los 3 modos (GST, GST-G, UST) en la misma conexión, apague el alto voltaje y cambie la conexión de las terminales de prueba, y realice todo de igual forma desde el paso 8.



pantalla del submenu adquirir datos

16. Cuando tenga las 6 medidas de prueba, de un clip en el botón GUARDAR, los valores se guardaran automáticamente con el nombre del cliente, serie, potencia, equipo a probar.
17. Baje el voltaje al mínimo, y apague el modulo con el interruptor principal.
18. De un clip izquierdo en el botón APAGAR, y saldrá de este submenu.

19. Si usted va a medir a más de 1 equipo, nuevamente comience realizando desde el numeral 6, no tiene que apagar el computador solo empezará del el submenu ingreso de información.
20. Cuando haya acabado de medir todos los transformadores, y saliendo del submenu adquisición de datos, ingrese al submenu de PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE TRANSFORMADORES si lo son, al activar el submenu le en listará todos los datos guardados con el nombre del cliente, serie, potencia y equipo a probar, escoja uno de las medidas guardadas, se desplegara en la pantalla los datos ya calculados y los respectivos resultados, si desea puede poner alguna observación, de lo contrario imprima dichos datos, dando un clip en la barra que se encuentra sobre el programa ingresando en el archivo FILE, allí encontrará el archivo PRINT de un clip y listo. Vuelva a realizar este trabajo las veces que sea necesario, ver figura 1.9

REPORTE DE PRUEBA DEL FACTOR DE POTENCIA DE AISLAMIENTO EN TRANSFORMADORES

INFORMACIÓN DEL TRANSFORMADOR

CLIENTE ECUATRAN	FASES 3	AÑO 1999	CONDICIONES AMBIENTALES
EQUIPO A PROBAR TRAPO	SERIE 1234512		TEMP. AMBIENTE (°C) 23
MARCA ecu	CLASE DE ENF. onan	V. ACEITE (L) 123	HUMEDAD R. (%) 27
POTENCIA (KVA) 124	PESO TOTAL (KG) 234		TEMP. ACEITE (°C) 25
PRIMARIO (KV) 1200	Y <input checked="" type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> SECUNDARIO (KV) 240	Y <input type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/>	TEMP. BOBINA (°C) 34

RESULTADO DE PRUEBAS AL TRANSFORMADOR

N.	TERMIN.	MODOS	Volteje (KV)	Corriente (mA)	Potencia (W)	FPA %	Capacitancia (pF)	Resultado
1	BT - AT	UST	2.062	0.234	0.48	0.893456	3.010055E-4	ACEPTABLE
2	BT - AT	UST	1.569	2.646	4.15	0.893456	4.473156E-3	ACEPTABLE
3	BT - AT	UST	2.145	0.244	0.52	0.893456	3.017239E-4	ACEPTABLE
4	BT - AT	UST	2.146	0.244	0.52	0.893456	3.015833E-4	ACEPTABLE
5	AT - BT	UST	2.138	0.243	0.52	0.893456	3.014711E-4	ACEPTABLE
6	AT - BT	GST-G	2.148	0.244	0.52	0.893456	3.013025E-4	ACEPTABLE

OBSERVACIONES

REALIZADO POR: ADRIANA

FECHA: Miércoles, 11 de Agosto de 2004

[SALIR](#)

Pantalla del submenu representación y análisis de transformadores

21. Terminada la impresión de resultado, apague la computadora, y el modulo, desconecte todos los cables, guárdelos.

EQUIPOS A SER PROBADOS

Normalmente la vejez de un material aislante puede ser causa del incremento de pérdidas dieléctricas, la contaminación del aislamiento por humedad o sustancias químicas pueden causar pérdidas si son más altas de lo normal.

Un programa para probar pérdidas dieléctricas provee varios beneficios importantes, las pruebas iniciales en un equipo nuevo son llevadas desde la fabricación, determinando la presencia de defectos de fabricación o peligro de carga y nos muestran valores para futuras comparaciones.

Las pruebas periódicas ejecutadas durante la vida de servicio del equipo puede indicar que el aislamiento esta envejeciendo normalmente o deteriorándose rápidamente.

El diagnostico sospechoso en prueba o el fallo del equipo puede descubrir la localización de un defecto o la causa de falla.

Los transformadores de distribución se encuentran en el rango de 5 a 500 KVA y los de potencia mayores a de 501 KVA.

Se considera los tipos de transformadores y demás equipos a probar que se explicará a continuación:

1. Transformadores de distribución sumergidos en aceite.
2. Auto transformador.
3. Bujes
4. Pasatapas.

Todos los transformadores a ser probados, deben cumplir con condiciones de seguridad como:

- En transformadores desenergise y aisle completamente del sistema de potencia.

- Asegure que el transformador este conectado con una apropiada tierra del sistema.
- Nunca realice pruebas eléctricas de cualquier tipo en una unidad cuando se encuentra bajo vacío.
- Si el transformador está provisto con un cambiador de carga, ponga este a diferente posición del punto neutro.
- Conecte un alambre de tierra de la prueba puesta a la tierra del transformador.

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA SUMERGIDOS EN ACEITE DE 2 BOBINAS.

En la figura 1.10 se puede ver la representación del aislamiento en un transformadores de 2 bobinas.

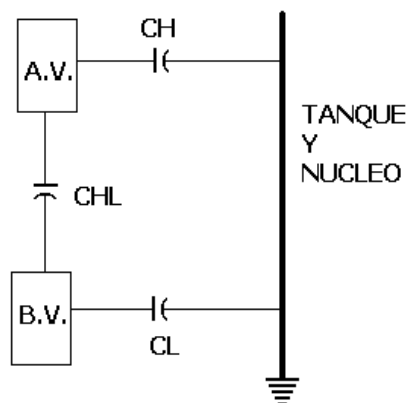


Diagrama representativo de un transformador de 2 bobinas

Donde:

CH = se refiere a todo el aislamiento entre el conductor de alto voltaje y las partes de tierra (incluyendo bujes, aislamiento de bobinas, partes de la estructura de aislamiento y aceite).

CL = Se refiere a todas las partes y materiales entre el conductor de bajo voltaje y la parte de tierra.

CHL = Se refiere a todo el aislamiento de bobinas, barreras y aceite entre el bobinado de alto y bajo voltaje.

Para obtener el FPA en un transformador de 2 bobinas se realizará la prueba en los modos GST, GST-G y UST conectando de la siguiente manera:

Primero cortocircuite los terminales de alto y bajo voltaje, ponga a tierra la carcasa del transformador. Realice la prueba en la conexión AT-BT, donde el cable de prueba de A.V. es conectado en el terminal de la bobina de alto voltaje y el cable de B.V. es conectado en el terminal de la bobina de bajo voltaje, la prueba se realiza con el equipo en los respectivos modo tanto en el panel frontal como en el programa, capture los datos, no necesita cambiar la posición de los cables, apague el alto voltaje y realizar la siguiente prueba en las mismas condiciones ahora pulsando el modo GST-G, de igual forma en el modo UST.

Para ejecutar la prueba en la conexión BT-AT, apague el equipo de potencia y cambie los cables de prueba, el conductor de prueba A.V. se conecta en el terminal de la bobina de bajo voltaje y el cable de B.V. en el terminal de la bobina de alto voltaje, realice esta prueba en los 3 modos, la desconexión de los modos se efectúa de misma forma que la anterior.

La prueba GST mide los valores de aislamiento CHL y CH, mientras que la prueba GST-G mide el valor de CH.

El FP de aislamiento para CHL es calculado utilizando el resultado de la substracción (GST menos GST.-G) en la conexión de AT-BT, una segunda comparación de datos para CHL es obtenida por la substracción de los valores de I y W registrados en la prueba GST y GST-G, en la conexión de BT-AT. Los valores de la prueba GST debe ser mayor en magnitud a la prueba GST-G en las respectivas conexiones. Si no se da esta variación en los datos, la conexión de prueba debe ser chequeada y repetirse dicha prueba.

Cuando se compare el resultado del calculo CHL (GST– GST-G, conexión AT-BT) versus (GST-GST-G, conexión BT-AT) la corriente calculada usualmente debe concordar estrechamente en valores absolutos y en porcentaje básico para este, esto puede ser tomado con una indicación que la conexión de prueba esta llevándose correctamente. Si el cálculo de la corriente CHL no esta en concordancia con la lectura medida de corriente las conexiones de prueba debe ser revisadas y repetida la prueba como se indico antes.

Una prueba de chequeo para verificar rápidamente y con una medida directa de CHL es utilizada en el modo UST, se debe tener en cuenta la estrecha concordancia entre el calculo de corriente CHL.

El método UST es utilizado cuando el calculo CHL sea diferente en las anteriores pruebas y se deba investigar.

Si el problema persiste realice la prueba GST y GST-G en las dos conexiones a un mismo voltaje.

Si el FPA es calculado en una manera normal para CH , CL, CHL, obteniendo los valores calculado correctamente y cumpliendo con los factores medio ambientales normales a una temperatura de 20°C registre los datos, si la temperatura vario de 20 °C realice los cálculos según la variación de temperatura.

AUTOTRANSFORMADORES

Para realizar la prueba en autotransformadores se debe considerar igual que un transformador de 2 bobinas con las siguientes diferencias y consideraciones:

- El bobinado de alto voltaje es una combinación de la bobina de A.V. y B.V. (H y X) cuando no se puede separar físicamente, se debe Cortocircuitar H1, H2, H3, X1, X2, X3 y H0, X0.

- Con respecto al procedimiento de prueba ver la fig. 1.11 el aislamiento terciario (CT) de un auto transformador es análoga a la bobina de B.V. (CL) de un transformador convencional de 2 bobinas.

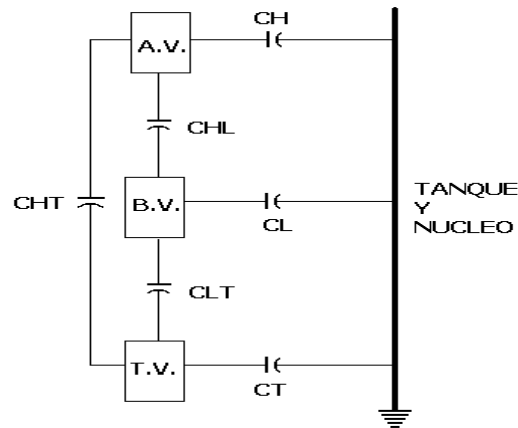


Diagrama representativo de un transformador

- Si solo un cable de la tercera bobina se saca por un buje, el transformador puede probarse como una unidad de 2 bobinas.
- Si un auto transformador no tiene una tercera bobina, o si dicho terminal no es accesible, entonces sólo se debe realizar una prueba global a tierra.

BUJES

La principal función de un buje es proveer al conductor energizado una entrada aislada a un tanque, aparato o camará. Un buje puede también servir como un soporte para otra parte energizada del aparato.

Los bujes pueden clasificarse generalmente por su diseño como sigue:

Tipos de bujes

I Tipo condensador

- A. Aislamiento de papel impregnado de aceite, con conductor entremezclado (condensador) aislamiento de papel impregnado de aceite en capas, enrollamiento continuo, intercalado con capas de láminas de papel.
- B. Papel aislante adherido de resina, con capas de conductor entremezclado.

II tipo no condensador

- A. Núcleo sólido, o alternado con capas aislantes solido y liquido.
- B. Masa sólida de material aislante homogéneo.
- C. Lleno de gas.

Para bujes exteriores el aislamiento primario esta contenido en un abrigo impermeable usualmente de porcelana. El espacio entre el aislamiento primario y el cobertizo de afuera es generalmente llenado con un aceite aislante o compuesto (también plástico o de espuma). Alguno de los tipos solidos homogéneos pueden usar aceite para llenar el espacio entre el conductor y la pared interna del impermeable.

Los bujes tambien pueden usar gas tal como SF₆ como un medio aislante entre el conductor central y la parte exterior del impermeable.

El buje sin la derivación de potencial o la derivación del FP, tienen un aparato de dos terminales que son generalmante probados globalmente, por el metodo GST. Si el buje es instalado en aparatos , semejantes a un circuito de sobre voltaje, la medida global GST; debe estar todo conectado y energizado , los componentes aislantes entre el conductor y tierra.

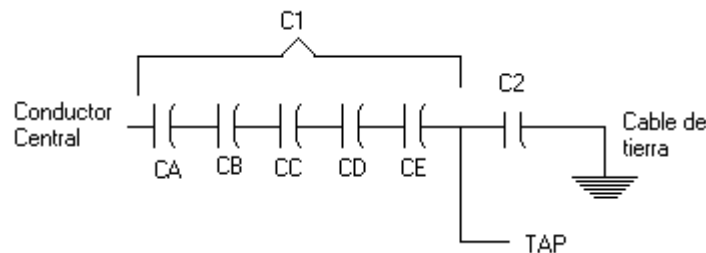
Un buje tipo condensador es esencialmente una serie de capacitores concentricos entre el conductor central y la protección de tierra o la montura de flameo.

Unas capas conductoras cerca del manguito de tierra pueden estar agujereadas y llevando afuera a un terminal de derivación para proveer un tercer terminal de muestra. El buje agujerado tiene esencialmente un divisor de voltaje, la derivación de potencial puede ser utilizado para abastecer un potencial al buje, dispositivo por relay y otro proposito.

En este diseño el potencial de derivación también actúa como un voltaje bajo en el terminal de prueba del FP para el principal aislamiento del buje C1.

Ensayos y procedimientos para la medición del factor de potencia de aislamiento en bujes.

Previo a la descripción de los métodos empleados en la medición del FP de aislamiento en bujes se definen los distintos tipos de capacidades ver figura. 1.12 que intervienen en las mediciones de aislamiento en estos elementos:



Diseño de un buje tipo condensador

1. - Capacidad principal (C_1). Es la capacidad entre el conductor de alta tensión y el tap de voltaje o tap de prueba del buje.
2. - Capacidad de tap (C_2). Corresponde a la capacidad existente entre el tap de voltaje y tierra.
3. - Capacidad asociada a bushings sin taps (C). Corresponde a la capacidad entre el conductor de alta tensión y tierra.

Entre los procedimientos de prueba propiamente tales se hacen la distinción para bujes con taps y sin taps.

Modos de prueba- bujes de repuesto.

De los 6 modos de conexión de la prueba, todos excepto los métodos de protección en frío y caliente son aplicables a bujes de repuestos.

La prueba de protección en frío y caliente son aplicados a conductores largos con capas de protección y bujes con carga aislada en transformadores. Un buje de repuesto para ser probado debe ser montado en un portacable de metal conectado a tierra con nada conectado a este terminal, así que el resultado es solamente indicativo de la condición del buje.

La prueba no debe realizarse con el buje montado en una base de madera o estar en el piso. Si el buje es probado en base de madera, el resultado de prueba (GST y UST) será afectado por la madera en la proximidad del terminal, incluso el piso de cemento puede afectar el resultado a menos que el conductor central del buje (terminal interno) este a muy pocos cm del piso.

Bujes altos especiales, tienen que ser probados con éxito mientras se apoyan sobre tierra, sin embargo debe cuidar el metodo usado para izar el buje. Estar seguro que el conductor central del buje no este en contacto con el material de izado.

Para bujes de repuesto con y sin derivación, se debe realizar pruebas en el modo GST, dicho buje debe estar montado en una base sin topar el piso, el cable de alto voltaje, debe conectarse en la parte superior del cable central y el otro a tierra.

Para bujes equipados con derivación, además de la medida GST global, el aislamiento C1 Debe ser chequeado por el metodo UST, conecte el terminal de A.V. en la parte superior del buje en el cable central de este, el cable de B.V. en el terminal de TAP y el otro a tierra. El FP y la capacitancia pueden ser comparados con el valor de placa del buje.

La prueba del factor de potencia una de las pruebas de campo conocidas más eficaz para el descubrimiento temprano de contaminación y deterioró del buje. Esta prueba también proporciona medida de corriente de prueba de ac que es directamente proporcional a la capacitancia del buje.

Modos de prueba- bujes montados en aparatos.

Para bujes montados se puede realizar en los 6 modos de prueba.

A. Prueba GST(conductor central o flameo).-

Esta prueba mide la calidad de aislamiento entre el flujo de corriente o el centro del conductor y el borde de la montura del buje. La aplicación de dicha prueba necesariamente se limita al buje fuera del aparato, como bujes de repuesto, o bujes que se ha aislados de los bobinados

conectados La prueba es realizada energizando al conductor del buje y conectando con tierra la montura de flameo

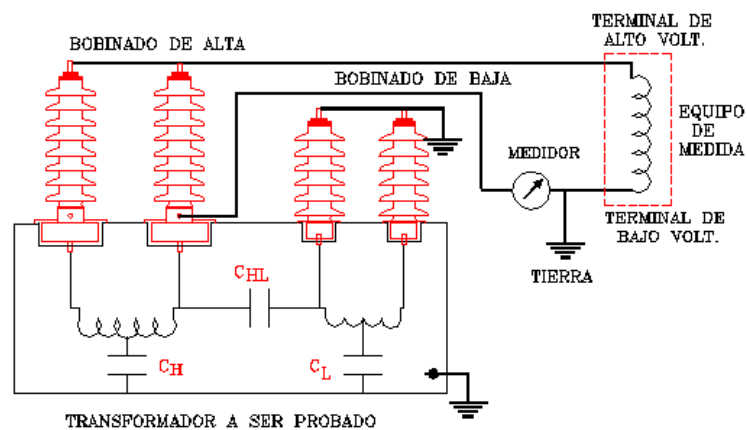
Las variaciones altas de temperatura tienen un efecto significativo en las lecturas del factor de potencia de aislamiento en ciertos tipos de bujes.

Para los propósitos comparativos, deben tomarse lecturas a la misma temperatura, o deben aplicarse correcciones antes de comparar lecturas tomadas a temperaturas diferentes.

Por lo tanto a no ser que el conductor del buje este completamente aislado, el metodo GST no es recomendado, se debe realizar una de las siguientes pruebas:

B. Prueba sin tierra UST (Conductor central con derivación C1).

La mayoría de modernos bujes tipo condensador de alto voltaje son equipados con derivación de potencial o de prueba de FP. Esto permite separar pruebas en el aislamiento principal sin necesidad de desconectar un buje de su aparato o conexión del cable, el modo de conexión se se ilustra en la figura 1.13 para un buje montado en un transformador.



Bujes montado en transformador (UST)

Verifique que la I que fluye en el aislamiento del otro buje energizado y la bobina retorna a la fuente de alto voltaje por la vía del circuito de protección a tierra y no esta incluida en la medida.

Cuando tomes las medidas UST en bujes en transformadores, todos los terminales de las bobinas para que el buje este conectado debe estar unida a la vez electricamente.

Esta prueba mide el aislamiento entre el flujo de corriente del centro del conductor y las capacitancias del interruptor.

Esta prueba puede aplicarse a cualquier buje que se encuentre conectado o no al aparato porque que no posea ningún contacto con tierra.

C. UST invertido (derivación a conductor central C1).

El UST invertido es aplicado a bujes con derivación de prueba de FP o capacitancia y permite medir el mismo aislamiento que el convencional UST. Sin embargo la medida, invertida es generalmente no recomendada excepto para investigar de otra forma, datos anormales del metodo UST estandar, puede ser que en algun instante la medida UST invertida no tenga correlación exacta con el metodo UST estandar, despues toma en cuenta posibles diferencias en la prueba de potencial por ejemplo esto puede ocurrir cuando esta relativamente baja la impedancia conectada entre la conexión UST y tierra.

Cuando se aplica el UST invertido a un buje de trafo, las bobinas deben ser cortocircuitadas como el metodo convencional UST.

D. Prueba de muestras sin tierra. (Buje con brida aislada).

Una medida completa del buje entre el centro del conductor y la brida se realiza con el metodo UST teniendo en cuenta que la brida pueda ser aislada de tierra por sobre los 50 Kohmios o más, la aplicación más comun de esta técnica es el caso de los bujes en transformadores que no son equipados con derivación de prueba y en el que las bobinas no pueden desconectarse convenientemente del conductor del buje.

Algunos bujes tiene también las llamadas bridas aislantes, que pueden ser sin tierra para remover simplemente enlaces cortos. Sin embargo, en el caso de 2 terminales de bujes conveccional. El tornillo de metal de la brida debe ser removida en orden para aislar la brida de tierra.

Antes de probar sin tierra el soporte de brida de un buje de 2 terminales convencionales en un transformador, debe tomarse precauciones de seguridad como las que se mencionadas en el numeral 6.2.

E. Prueba de collar caliente.-

Para bujes que no están equipados con taps de prueba se aplica el método del collar caliente, el cual consiste en instalar en el buje un collar conductor, el cual será energizado con la tensión de prueba. El conductor central del buje debe estar aterrizado, el equipo de prueba se opera en modo GST.

El ensayo registra directamente el factor de potencia, con los valores de corriente de fuga y potencias de pérdidas en watts.

Si las pérdidas de watt medidas entran en la categoría de inaceptable es necesario limpiar la superficie del buje.

En lo que respecta a los valores de corriente de fuga, si estos resultados son anormales en comparación a mediciones efectuadas en bujes similares, esto puede ser remediado aplicando grasa aislante sobre la superficie del buje previamente limpia y seca.

En general, para todo tipo de ensayo de medición del factor de potencia de aislamiento se debe tomar registros de las condiciones ambientales del entorno tales como temperatura y humedad relativa, luego corregirse los resultados obtenidos a temperatura ambiente (20 °C) y extrapolar las mediciones a tensiones de prueba estándar (2.5 kV, 10 kV) si fuera necesario.

PASATAPAS

Estas piezas son parte importante en un transformador de aceite, ya que son elementos de conexión que soportan, y por los que circulan la tensión eléctrica. Prácticamente todas las piezas fabricadas son de latón o cobre, existiendo algunos componentes de hierro y acero inoxidable. En todo transformador hay una parte de entrada y otra de salida.

Los transformadores varían de dimensiones según la tensión que vayan a recibir y la que vayan a convertir. Es por ello que el tamaño de los pasatapas también varía.

El propósito (encendiendo) del pararrayos es limitar el sobre voltajes que pueden ocurrir por los transformadores y otro aparato eléctrico debido al relámpago o cambio de tensión.

El extremo superior del pararrayo se conecta a la línea o terminal que tienen que ser protegido, mientras el extremo más bajo se conecta sólidamente con tierra.

El pararrayo está compuesto de un tubo de porcelana externo que contiene un arreglo ingenioso de discos apilados (o la válvula bloquea) eso está compuesto de un material de carburo de silicón. Este material tiene una resistencia que disminuye dramáticamente con el voltaje creciente.

El pararrayo es un dispositivos interruptor efectivo que sirven como un aislador bajo las condiciones normales y como un conductor bajo condiciones de sobrevoltaje, tras condiciones de sobrevoltaje se limpian los pararrayo debiendo volver a su condición aislante normal.

La medida de pérdida de potencia es un método eficaz de evaluar la integridad de un pararrayo y aislar riesgos de fracaso potenciales. Esta prueba revela condiciones que podrían efectuar las funciones proteccionista del pararrayo, como: la presencia de humedad, depósitos de sal, corrosión, porcelana resquebrajada, resistencias de la desviación abiertas, elementos pre - ionizando defectivos, y los huecos defectivos.

CONEXIONES DE PRUEBA

Se recomienda que las pruebas se hicieran en unidades del pararrayo individuales en lugar de en una pila de pararrayo de multi - unidad completa. Una sola unidad del pararrayo puede ser probada por la prueba sin tierra normal (UST).

Al probar en el campo, desconecte el autobús de alto - voltaje relacionado del pararrayo.

Conecte un alambre de tierra de la prueba puesta a la estructura de apoyo de acero de la pila del pararrayo, al conectar la primaría de voltaje alta, asegura que el cable se extiende lejos fuera del pararrayo y no descansa en la porcelana.

OBTENCIÓN DE DATOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El principio fundamental de la prueba es la detección de algunos cambios de las características del aislamiento, producidos por envejecimiento y contaminación del mismo, como resultado del tiempo y condiciones de operación del equipo.

Para la interpretación de resultados de prueba es necesario el conocimiento de valores básicos del FP de aislamiento en materiales aislantes. Como referencia, se presenta valores de factor de potencia y constantes de algunos materiales tabla 1.4

MATERIAL	% FP A 20°C	CONST. DIELECTRICA.
Aire	0.0	1.0
Aceite	0.1	2.1
Papel	0.5	2.0
Porcelana	2.0	7.0
Hule	4.0	3.6
Barniz Cambray	4.0 - 8.0	4.5
Agua	100.0	81.0

EQUIPO	% F.P. a 20° C
Boquillas tipo condensador en aceite	0.5
Boquillas en compound	2.0
Transformadores en aceite	1.0
Transformadores nuevos en aceite	0.5
Cables con aislamiento de papel	0.3
Cables con aislamiento de barniz cambray	4.0 - 5.0
Cables con aislamiento de hule	4.0 - 5.0

Tabla. 1.4. - Valores de FP y constantes dielectricas

En el caso de nuevos transformadores llenados con aceite y reactores, el FP de aislamiento debe ser menor a 0.5 % reflejado a 20 °C. Debe haber una justificación razonable del fabricante para valores más altos dado esto por el uso de materiales eléctricos, mecánicos, que específicamente poseen un factor de potencia alto, debiendo dichos materiales ser reemplazados por elementos de menor FP.

El caso de transformadores en servicio de potencia y distribución sumergidos en aceite, tipo seco, el FPA puede ser menor a 0.5 % entre el 0.5 % y 1 % pueden ser aceptables reflejados a 20 °C. Para realizar un análisis básico del estado del aislamiento se deberá comparar con mediciones anteriores.

Un FPA del 1% al 1.5 % es dudoso y del 1.5 al 2 % debe ser investigado minuciosamente.

A un transformador que está en servicio y posee un FPA mayor al 2 % es conveniente realizar pruebas adicionales para investigar las posibles causas, deberá probarse sus elementos por separado, tanto los bujes , liquido aislante, para verificar si esto contribuyen al alto FPA.

Los registros del FPA para pruebas globales de rutina en aparatos viejos proveen información considerada de las condiciones generales de la tierra y aislamiento útiles para detectar condiciones de operación indeseables y elementos que puedan provocar resultados no aceptable como humedad, carbonización, bujes defectuosos, contaminación de aceite por materiales disolventes, tierra inadecuada o núcleos sin tierra, etc.

FPA anormal (negativo, alto o bajo) es ocasionalmente registrado en aislamiento inter bobinado de transformadores de 2 bobinas. Esto puede ser el resultado de no poseer una buena tierra de tanque o usar un de protección electrostática entre las bobinas del transformador.

La capacitancia se debe comparar con datos de fabricación previos en unidades iguales. La capacitancia está en función de la geometría de las bobinas y no varía con la temperatura y la edad. Sin embargo, el cambio de capacitancia es una indicación del desplazamiento del bobinado por una fuerza que ha ocurrido como resultado de un medio de imperfección en el transformador.