

**TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y TENSIÓN PARA MEDIDA EN
13.2 Kv.**

Eder Usquiano Peláez
Deyson Javier Mosquera Urrego
Johan Stivens Palacio Ramírez

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
2014**

**TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y TENSIÓN PARA MEDIDA EN
13.2 Kv.**

Eder Usquiano Peláez
Deyson Javier Mosquera Urrego
Johan Stivens Palacio Ramírez

Proyecto de grado para optar al título de Ingenieros Electricistas

ASESOR

Jortin Vargas
Ingeniero Electricista

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA
2014**

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	11
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4. REFERENTES TEÓRICOS.....	14
4.1. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS. (Ras , 1994).....	14
4.2. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE. (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL , 2013).....	16
4.2.1. Transformador de medición.	18
4.2.2. Transformadores de protección.....	19
4.2.3. Transformadores mixtos. (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA , 2013) 19	
4.2.4. Transformadores combinados.....	19
4.2.5. Descripción de los transformadores de corriente.	19
4.3. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN	35

4.3.1. Generalidades.....	36
4.3.2. Descripción de los transformadores de tensión.....	40
4.3.3. Condiciones de Servicio.....	46
4.3.4. Clasificación de los transformadores de tensión.....	47
4.4. TRANSFORMADORES COMBINADOS DE CORRIENTE Y DE TENSIÓN.	50
4.5. NORMAS Y REGLAMENTOS	51
4.5.1. RETIE (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA , 2013).....	51
□ CONCEPTOS GENERALES DEL RETIE.....	52
□ CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN LA INSTALACIÓN DE TRANSFORMADORES SEGÚN RETIE.....	52
5. METODOLOGÍA.....	57
5.1. TIPO DE ESTUDIO.....	57
5.2. MÉTODO.....	57
5.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	57
5.3.1. Fuentes primarias.....	57
5.3.1. Fuentes secundarias.....	58
5.4. POBLACIÓN.....	58
6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO.	59

6.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A UTILIZAR	59
6.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	59
6.3. INSTALACIÓN Y VERIFICACIÓN	59
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS.....	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Equivalencias de funciones en los transformadores de elementos.....	15
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes del transformador (TECNOBLOG SAN MARTÍN , 2013).....	16
Figura 2. Transformadores de Corriente	17
Figura 3. Curvas de imantación.	21
Figura 4. Transformador de corriente CTA 145.	23
Figura 5. Transformador de corriente QDR 123 a 245 kV serie Balteau de Alsthom.....	24
Figura 6. Parámetros de los transformadores de corriente.	26
Figura 7. Precisiones normalizadas en transformadores de corriente.	30
Figura 8. Identificación de bornes	33
Figura 9. Corte esquemático de un Transformador de Tensión monofásico.	38
Figura 10. Descripción de los Transformadores de Tensión.....	40
Figura 11. Sección de un transformador de tensión bipolar aislado para tensiones de servicio de más de 1 kv.	48
Figura 12. Transformador combinado.....	51
Figura 13. Transformadores Instalados	60
Figura 14. Referencia del Transformador de Intensidad instalado.....	61
Figura 15. Referencia del Transformador de Tensión instalado	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Transformadores de medida media tensión interior.....	66
Anexo 2. Transformadores de intensidad	66
Anexo 3. Transformadores de tensión	66

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Impedancia de carga.....	27
Ecuación 2. Error de corriente	28
Ecuación 3. Corriente térmica.....	31
Ecuación 4. Corriente de límite dinámico.....	32
Ecuación 5. Error de tensión.....	43

INTRODUCCIÓN

Ofrecer una instalación industrial que genere mayor productividad y eficiencia en el uso de la energía, debe ser una prioridad en las diferentes Instituciones, ya que es la puerta de acceso principal para la continuidad y calidad en la prestación del servicio, todo ello sin dejar aparte la importancia en la reducción del riesgo, la cual permite salvaguardar la integridad tanto del personal como de los equipos o bienes materiales

La correcta instalación de una celda didáctica de medida, es para la Institución Universitaria Pascual Bravo, no sólo una oportunidad de evidenciar la priorización en el correcto uso de la energía, sino que provee para los estudiantes de la misma, una orientación profesional por competencias, permitiendo con esto identificar y conocer, antes de la práctica, los distintos conceptos que servirán de base, en el correcto desempeño de sus funciones ingenieriles.

En este trabajo se mostrará la importancia y uso de los transformadores como componente integral en la distribución de la red eléctrica, protección de sobrecarga y la medición de uso, permitiendo con ello pasar de lo básico a lo principal al finalizar la instalación completa de la celda de medida.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La demanda en el consumo de energía, exige ampliar y fortalecer las redes de distribución de media tensión, es por esta razón que las diversas fases de realización de nuevos proyectos, acopio de transformadores y equipos de media tensión, montaje, puesta en servicio y mantenimiento, requieren disponer de personal capacitado para ello, por lo anterior se hace necesario, el desarrollo de ambientes y escenarios de aprendizaje que faciliten la construcción y acceso al conocimiento y que a su vez permitan obtener las competencias técnicas adecuadas, que contribuyan al desarrollo tanto de la institución como del país, al entregar profesionales altamente calificados en las distintas competencias.

Contar con la instalación de recursos que permitan llegar ha dicho objetivo, servirá de base para que se acerquen a su desempeño en la práctica, principalmente en la instalación, manejo y funcionamiento de los transformadores de tensión y de corriente destinados a la medición, de uso interior, para tensiones de 13.2 Kv, y de este modo entender la idea global de una celda de medida, la cual permite tener un control del consumo de energía de la instalación.

2. JUSTIFICACIÓN

La capacidad de aprender, de aplicar conocimientos y de resolver problemas en la práctica, son competencias urgentes que el profesional de la actualidad debe tener como herramienta principal, para transformar, renovar, adecuar o mejorar, desde su desempeño profesional, cada uno de los retos de Ingeniería que puedan presentarse en el día a día.

Ampliar o complementar el conocimiento en el cálculo e implementación de los transformadores de corriente y tensión para medida 13.2 kv y su importancia en la instalación de una celda de medida, permitirá a los estudiantes mayor efectividad al momento de intervenir o mejorar medios ya existentes.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Suministro de una celda de medida a 13.2Kv, para el laboratorio de prácticas académicas de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Suministrar e instalar los transformadores de Corriente y de Tensión para una celda de medida a 13.2 Kv con fines didácticos.
- Consultar sobre los diferentes tipos y sistemas de transformadores de tensión destinados a la medición de tensiones a 13.2 Kv, para uso interior
- Definir tipo y sistema de transformadores de medida a utilizar en la celda de medida que permita la lectura adecuada de tensiones y eventos
- Instalar los elementos que componen dicho sistema de lecturas
- Verificar el funcionamiento óptimo de dicho sistema

4. REFERENTES TEÓRICOS

Durante el desarrollo de este proyecto será necesario plantear y desarrollar algunos conceptos teóricos como son:

4.1. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS. (Ras , 1994)

Los aparatos de medida y los relés de protección no pueden soportar, por lo general, ni elevadas tensiones ni elevadas corrientes, ya que de lo contrario se encarecería sobremanera su construcción. Por otra parte es conveniente evitar la presencia de elevadas tensiones en aquellos dispositivos que van a estar al alcance de las personas.

Son éstas las principales razones para la utilización de los transformadores de medida y protección, a través de los cuales se pueden llevar señales de tensión y corriente, de un valor proporcional muy inferior al valor nominal, a los dispositivos de medida y protección. Se consigue además una separación galvánica, (entre las magnitudes de alta y baja tensión), de los elementos pertenecientes a los cuadros de mando, medida y protección con las consiguientes ventajas en cuanto a seguridad de las personas y del equipamiento. Como las mediciones y el accionamiento de las protecciones se hallan referidas, en última instancia, a la apreciación de tensión y corriente, se dispone de dos tipos fundamentales de transformadores de medida y protección:

- *Transformadores de tensión.*
- *Transformadores de corriente.*

Normalmente estos transformadores se construyen con sus secundarios, para corrientes de 5 ó 1 A y tensiones de 100, 110, $100/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$ V. Los

transformadores de corriente se conectan en serie con la línea, mientras que los de tensión se conectan en paralelo, entre dos fases o entre fase y neutro. Esto en sí, representa un concepto de dualidad entre los transformadores de corriente y los de tensión, como puede observarse en la Tabla 1 y que a su vez sirve de ayuda para pasar de las funciones de uno a otro transformador.

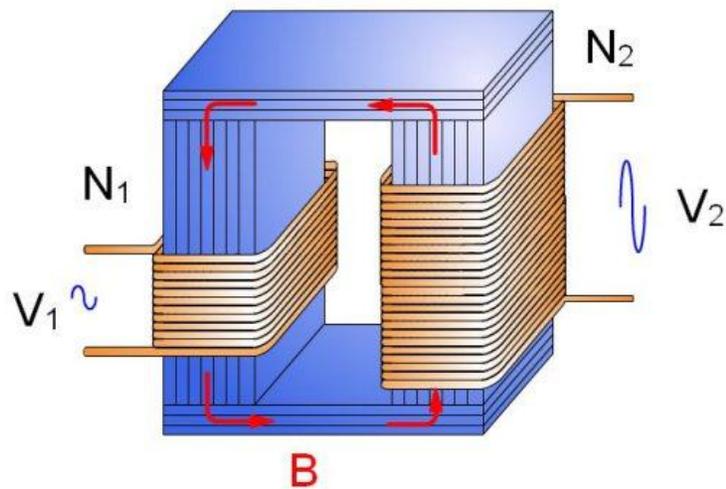
Tabla 1. Equivalencias de funciones en los transformadores de elementos

Concepto	Transformador	
	Tensión	Corriente
Norma IEC / IRAM	60186 / 2271	60185 / 2344 - 1
Tensión	Constante	Variable
Corriente	Variable	Constante
La carga se determina por:	Corriente	Tensión
Causa del error:	Caída de tensión en serie	Corriente derivada en paralelo
La carga secundaria aumenta cuando:	Z_2 disminuye	Z_2 aumenta
Conexión del transformador a la línea:	En paralelo	En serie
Conexión de los aparatos al secundario:	En paralelo	En serie

Fuente: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL. (2013). Módulo II: Transformadores de Corriente

El transformador está formado por un **núcleo** de material sensible al campo magnético, con un **bobinado primario** conectado a un generador y un **bobinado secundario** conectado al circuito de utilización, como aparece en la siguiente figura.

Figura 1. Partes del transformador (TECNOBLOG SAN MARTÍN , 2013)



Fuente: TECNOBLOG SAN MARTÍN, (2013) Los Transformadores.

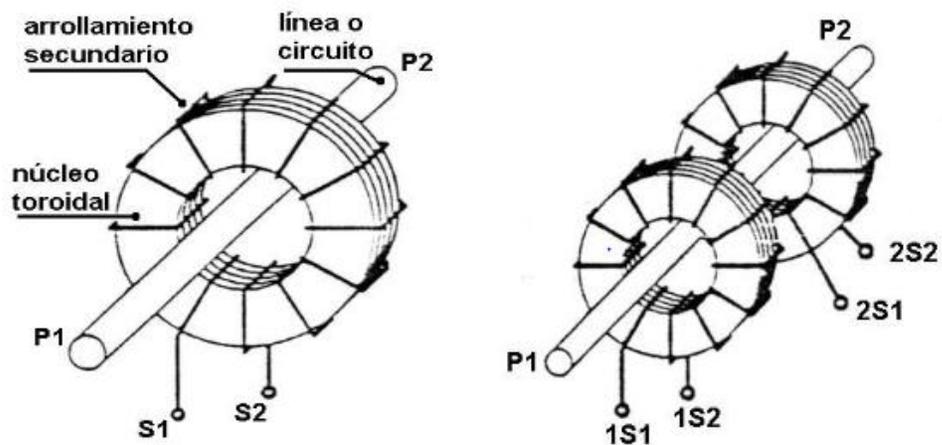
A continuación enunciamos las características principales de los transformadores de tensión y de corriente, ambos pueden utilizarse para protección, medición o para los dos casos simultáneamente, siempre y cuando las potencias y clases de protección sean adecuadas a la función que desarrollen.

4.2. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE. (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL , 2013)

Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión. El primario del transformador, que consta de muy pocas espiras, se conecta en serie con el circuito cuya intensidad se desea medir y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados. Las espiras del arrollamiento primario

suelen ser una o varias, las cuales se pueden a su vez dividir en dos partes iguales y conectarse en serie o paralelo para cambiar la relación, y atraviesan el núcleo magnético, cuya forma suele ser cerrada tipo toroidal o puede tener un cierto entrehierro, sobre el cual se arrollan las espiras del secundario de una forma uniforme, consiguiendo así reducir al mínimo el flujo de dispersión. Este arrollamiento es el que se encarga de alimentar los circuitos de intensidad de uno o varios aparatos de medida conectados en serie. Se puede dar también la existencia de varios arrollamientos secundarios en un mismo transformador, cada uno sobre su circuito magnético, uno para medida y otro para protección. De esta forma no existe influencia de un secundario sobre otro. Si el aparato tiene varios circuitos magnéticos, se comporta como si fueran varios transformadores diferentes. Un circuito se puede utilizar para mediciones que requieren mayor precisión, y los demás se pueden utilizar para protección. Por otro lado, conviene que las protecciones diferenciales de cables o transformadores de potencia y de distancia se conecten a transformadores de corriente independientes.

Figura 2. Transformadores de Corriente



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional. Módulo II: Transformadores de Instrumentos.

Los transformadores de corriente se pueden fabricar para servicio interior o exterior. Los de servicio interior son más económicos y se fabrican para tensiones de servicio de hasta 36 kV, y con aislamiento en resina sintética. Los de servicio exterior y para tensiones medias se fabrican con aislamiento de porcelana y aceite, o con aislamientos a base de resinas que soportan las condiciones climatológicas. Para altas tensiones se continúan utilizando aislamientos a base de papel y aceite dentro de un recipiente metálico, con aisladores para tapas de porcelana. Actualmente se utilizan resinas dentro de un aislador de porcelana, o gas SF₆ y cubierta de porcelana.

La tensión del aislamiento de un transformador de corriente debe ser, cuando menos, igual a la tensión más elevada del sistema al que va a estar conectado.

Para el caso de los transformadores utilizados en protecciones con relés digitales se requieren núcleos que provoquen menores saturaciones que en el caso de los relés de tipo electromagnético, ya que las velocidades de respuesta de las protecciones electrónicas son mayores. Los transformadores de corriente pueden ser de medición, de protección, mixtos o combinados.

4.2.1. Transformador de medición.

Los transformadores cuya función es medir, requieren reproducir fielmente la magnitud y el ángulo de fase de la corriente. Su precisión debe garantizarse desde una pequeña fracción de corriente nominal del orden del 10%, hasta un exceso de corriente del orden del 20%, sobre el valor nominal.

4.2.2. Transformadores de protección.

Los transformadores cuya función es proteger un circuito, requieren conservar su fidelidad hasta un valor de veinte veces la magnitud de la corriente nominal, cuando se trata de grandes redes con altas corrientes puede ser necesario requerir treinta veces la corriente nominal. En el caso de los relés de sobrecorriente, sólo importa la relación de transformación, pero en otro tipo de relés, como pueden ser los de impedancia, se requiere además de la relación de transformación, mantener el error del ángulo de fase dentro de valores predeterminados.

4.2.3. Transformadores mixtos. (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA , 2013)

En este caso, los transformadores se diseñan para una combinación de los dos casos anteriores, un circuito con el núcleo de alta precisión para los circuitos de medición y uno o dos circuitos más, con sus núcleos adecuados, para los circuitos de protección.

4.2.4. Transformadores combinados.

Son aparatos que bajo una misma cubierta albergan un transformador de corriente y otro de tensión. Se utilizan en estaciones de interconexión fundamentalmente para reducir espacios.

4.2.5. Descripción de los transformadores de corriente.

Los componentes básicos son:

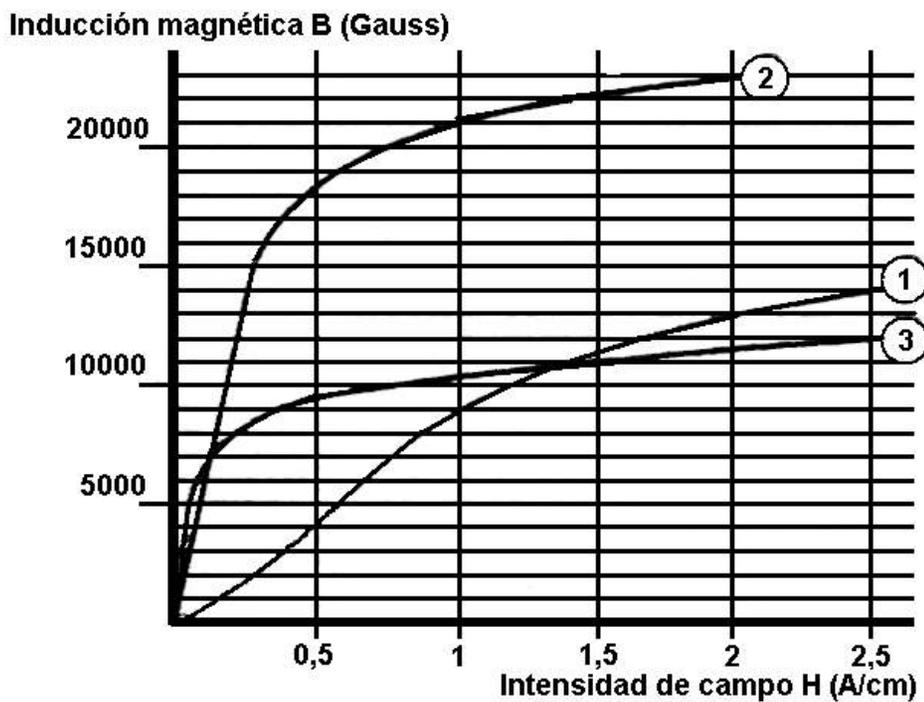
Aislamiento externo: el aislamiento externo consta de una envolvente cerámica con una línea de fuga lo suficientemente larga como para que ningún arco pueda contornear bajo condiciones de contaminación, como lluvia, niebla, polvo, etc.

Aislamiento interno: puede variar según sus características constructivas. Un caso es aquél en que las partes activas se moldean en resina de epoxy que las fija, las separa y las aísla, existiendo una cámara de aire entre el aislamiento externo de porcelana y el cuerpo de resina. Esta cámara se sella herméticamente con juntas de caucho nitrílico y se la rellena con aceite aislante o gas SF₆. Existe otro tipo constructivo, indicado para potencias de precisión elevadas y grandes intensidades de cortocircuito, en que el aislamiento interno suele ser cartón prespán impregnado en aceite para el conjunto de los núcleos, arrollamientos secundarios y la bajante de los conductores que unen los arrollamientos secundarios con sus cajas de bornes. Esta bajante lleva incorporada en el interior de su aislamiento una serie de pantallas metálicas de forma cilíndrica, estando todo ello envuelto por un tubo metálico en forma decreciente, de forma cónica. Este conjunto constituye un capacitor que permite un reparto uniforme de tensión a lo largo de toda la aislación interna. El aceite que se utiliza para impregnar el cartón es desgasificado y filtrado, y cuando se rellena el transformador se hace bajo condiciones de vacío. Los transformadores con aislamiento de cartón impregnado en aceite suelen disponer de un depósito de expansión (donde va a parar el aceite sobrantecuando éste se calienta) en su extremo superior. Conviene indicar que la parte superior del transformador, donde se halla el conjunto del núcleo y arrollamiento secundario, está moldeada en resina epoxy, formando una cabeza donde da cabida también al depósito de expansión de aceite. Este tipo constructivo de transformador se utiliza para tensiones desde 36 hasta 765 kV.

Núcleo: los transformadores de intensidad, tanto de medida como de protección, se construyen con núcleos de chapa magnética de gran permeabilidad. Cabe

diferenciar que cuando un núcleo va destinado para un transformador de medida se utiliza una chapa de rápida saturación, mientras que si va destinado para protección, la chapa a utilizar será de saturación débil o lenta. Veamos las siguientes curvas de imantación:

Figura 3. Curvas de imantación.



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional. Módulo II: Transformadores de Instrumentos.

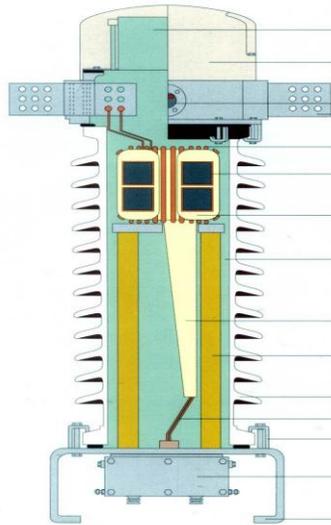
- Chapa con alto porcentaje de silicio.
- Chapa de aleación ferromagnética a base de níquel (30% al 70%) de gran permeabilidad magnética y débil poder de saturación.
- Ídem anterior pero con gran poder de saturación.

Las chapas de las curvas 2 y 3 se llaman comercialmente Mu – Metal o Permalloy. Con esta distinción de núcleos se garantiza, cuando se utiliza una chapa de gran permeabilidad y de rápida saturación en los transformadores para medida, una buena precisión para corrientes primarias no superiores al 120 % de la corriente primaria nominal, mientras que las sobre intensidades y cortocircuitos no se transfieren al secundario gracias a la rápida saturación de la chapa. Por otra parte, cuando se elige una chapa de gran permeabilidad y saturación débil para transformadores de protección, se garantiza el mantenimiento de la relación de transformación para valores de intensidad primaria varias veces superior a la nominal, con lo que en el secundario se pueden obtener valores proporcionales a las corrientes de sobrecarga y cortocircuito aptos para poder accionar los dispositivos de protección.

Con estos razonamientos en la elección del tipo de chapa para los núcleos se puede comprender que se instalen núcleos separados cuando se desea tener en un mismo transformador un devanado secundario para medida y otro para protección.

Arrollamiento primario: es de pletina de cobre electrolítico puro, en barra pasante o formando varias espiras distribuidas por igual alrededor del núcleo. Existe la posibilidad de construir el arrollamiento partido con acceso a los extremos de cada parte para que a base de realizar conexiones en serie o paralelo de las partes del arrollamiento, se puedan obtener diferentes relaciones de transformación.

Figura 4. Transformador de corriente CTA 145.



Fuente: Ras (1994) Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección

Arrollamiento secundario: es de hilo de cobre electrolítico puro, esmaltado, uniformemente distribuido alrededor del núcleo. Existe la posibilidad de cambio de relación de transformación por toma secundaria. Es el arrollamiento que alimenta los circuitos de intensidad de los instrumentos de medida, contadores, y relés.

Bornes terminales primarios: pueden ser de latón, bronce o aluminio, están ampliamentedimensionados y son de forma cilíndrica, planos o con tornillos.

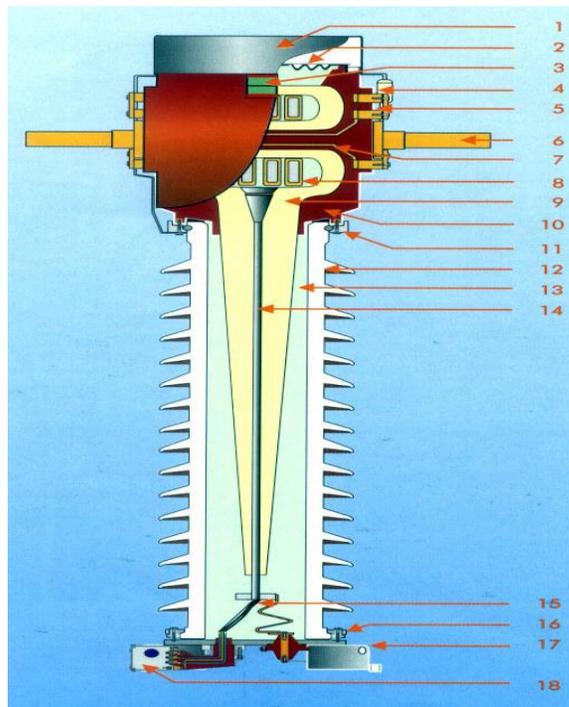
Bornes terminales secundarios: son de latón y se hallan alojados en una caja de bornes de baja tensión, consta de las siguientes partes principales:

Descripción de las partes

1. Diafragma.
2. Domo metálico.
3. Indicador de nivel de aceite.

4. Bornes terminales primarios.
5. Arrollamiento primario.
6. Arrollamiento secundario.
7. Aislamiento de papel aceite.
8. Aceite aislante.
9. Bushing interno.
10. Soportes aislantes.
11. Aislador de porcelana.
12. Conexiones secundarias.
13. Grampas sujeción aislador.
14. Caja de terminales secundarios.
15. Base metálica de fijación.

Figura 5. Transformador de corriente QDR 123 a 245 kV serie Balteau de Alsthom.

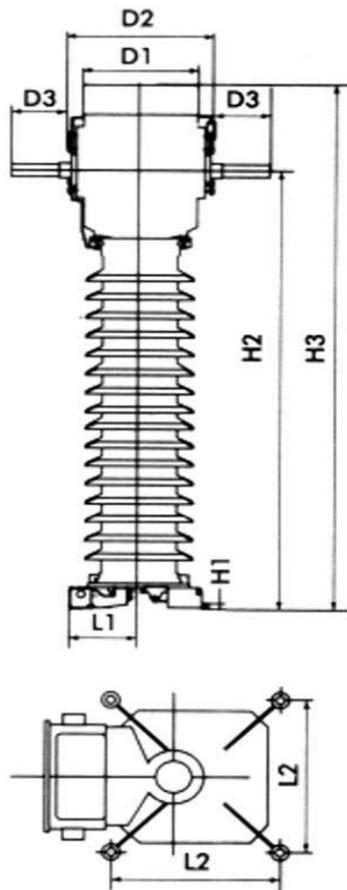


Fuente: Ras (1994) Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección

Descripción de las partes:

1. Caperuza de aluminio o domo.
2. Diafragma de goma corrugada.
3. Indicador de nivel de aceite.
4. Descargador.
5. Bornes para cambio relación.
6. Bornes terminales primarios.
7. Bobinado primario.
8. Bobinados secundarios.
9. Aislación de papel aceite.
10. Cabezal de resina sintética.
11. Grampas superiores de fijación.
12. Aislador de porcelana.
13. Aceite aislante.
14. Blindaje de baja tensión.
15. Conexiones secundarias.
16. Grampas inferiores de fijación.
17. Base metálica de fijación al pedestal.
18. Caja de terminales secundarios.

Figura 6. Parámetros de los transformadores de corriente.



Fuente: Ras (1994) Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección

Corrientes. Las corrientes primaria y secundaria de un transformador de corriente deben estar normalizadas de acuerdo con cualquiera de las normas nacionales (IRAM) o internacionales en uso (IEC, ANSI)

Corriente primaria. Para esta magnitud se selecciona el valor normalizado inmediato superior de la corriente calculada para la instalación.

Para estaciones de potencia, los valores normalizados son: 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1.200, 1.500, 2.000 y 4.000 amperes.

Corriente secundaria. Valores normalizados de 5 A ó 1 A, dependiendo su elección de las características del proyecto.

Carga secundaria o prestación. Es el valor de la impedancia en Ohms, reflejada en el secundario de los transformadores de corriente, y que está constituida por la suma de las impedancias del conjunto de todos los medidores, relés, cables y conexiones conectados en serie con el secundario y que corresponde a la llamada potencia de precisión a la corriente nominal secundaria. Es decir, una potencia de precisión de 30 VA para una corriente nominal secundaria de 5 amperes, representa una impedancia de carga de:

Ecuación 1. Impedancia de carga

$$30/5^2 = 1,20 \Omega$$

La carga se puede expresar también, por los volt - amperes totales y su factor de potencia, obtenidos a un valor especificado de corriente y frecuencia. El valor del factor de potencia normalizado es de 0,9 para los circuitos de medición y de 0,5 para los de protección. Todos los aparatos, ya sean de medición o de protección, traen en el catálogo respectivo la carga de acuerdo con su potencia de precisión.

Límite térmico. Un transformador debe poder soportar en forma permanente, hasta un 20% sobre el valor nominal de corriente, sin exceder el nivel de temperatura especificado. Para este límite las normas permiten una densidad de corriente de 2 A /mm², en forma continua.

Límite de cortocircuito. Es la corriente de cortocircuito máxima que soporta un transformador durante un tiempo que varía entre 1 y 5 segundos. Esta corriente puede llegar a significar una fuerza del orden de varias toneladas. Para este límite las normas permiten una densidad de corriente de 143 A / mm² durante un segundo de duración del cortocircuito.

Tensión secundaria nominal. Es la tensión que se levanta en los terminales secundarios del transformador al alimentar éste una carga de veinte veces la corriente secundaria nominal.

Por ejemplo, si se tiene un transformador con carga nominal de 1,20 ohms, la tensión secundaria generada será de: 1,20 ohms x 5 amperes x 20 veces = 120 volts.

Relación de transformación real. Es el cociente entre la corriente primaria real y la corriente secundaria real.

Relación de transformación nominal. Es el cociente entre la corriente primaria nominal y la corriente secundaria nominal.

Error de corriente. Error que el transformador introduce en la medida de una corriente y que proviene del hecho de que la relación de transformación real no es igual a la relación de transformación nominal. Dicho error viene expresado por la fórmula:

Ecuación 2. Error de corriente

$$\% = (k_n \cdot I_S - I_p \cdot 100) / I_p$$

Dónde:

k_{nes} es la relación de transformación nominal.

I_P es la corriente primaria real.

I_S es la corriente secundaria real correspondiente a la corriente

I_P en las condiciones de la medida.

Error de fase (válido sólo para intensidades senoidales). Es la diferencia de fase entre los vectores de las intensidades primaria y secundaria, con el sentido de los vector es elegido de forma que este ángulo sea nulo para un transformador perfecto. El error de fase se considera positivo cuando el vector de la intensidad secundaria está en avance sobre el vector de la intensidad primaria. Se expresa habitualmente en minutos o en centiradianes.

Potencia nominal o de precisión. Es la potencia aparente secundaria que a veces se expresa en volt-amperes (VA) y a veces en ohms, bajo una corriente nominal determinada y que se indica en la placa de características del aparato. Para escoger la potencia nominal de un transformador, se suman las potencias de las bobinas de todos los aparatos conectados en serie con el devanado secundario, más las pérdidas por efecto joule que se producen en los cables de alimentación, y se selecciona el valor nominal inmediato superior. Los valores normales de la potencia de precisión son: 2,5 - 5 - 10 – 15 - 30 y hasta 60VA.

-

Para los secundarios de 5 amperes, la experiencia indica que no se deben utilizar conductores con secciones no inferiores a los 4 mm². Este conductor sobredimensionado, reduce la carga y además proporciona alta resistencia mecánica, que disminuye la posibilidad de una ruptura accidental del circuito, con el desarrollo consiguiente de sobretensiones peligrosas.

Frecuencia nominal. Valor de la frecuencia en la que serán basadas todas las especificaciones y que será de 60 Hz.

Clase de precisión para medición. La clase de precisión se designa por el error máximo admisible, en por ciento, que el transformador puede introducir en la medición, operando consu corriente nominal primaria y la frecuencia nominal.

Figura 7. Precisiones normalizadas en transformadores de corriente.

Clase.	Utilización.
0.1	Aparatos para mediciones y calibraciones de laboratorio.
0.2 a 0.3	Mediciones de laboratorio y alimentaciones para los kilowatímetros hora de alimentadores de potencia.
0.5 a 0.6	Alimentación para de kilowatímetros hora de facturación en circuitos de distribución e industriales.
1.2	Alimentación a las bobinas de corriente de los aparatos de medición en general, indicadores o registradores y a los relés de las protecciones diferencial, de impedancia y de distancia.
3 a 5	Alimentación a las bobinas de los relés de sobrecorriente.

Las normas ANSI definen la clase de precisión de acuerdo con los siguientes valores: 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 1.2, 3 y 5, cada clase de precisión especificada debe asociarse con una o varias cargas nominales de precisión, por ejemplo: 0.5 de precisión con una carga de 50 VA. Según el uso que se dé al transformador, se recomiendan las siguientes precisiones, considerando que a precisiones más bajas corresponden precios del transformador más altos, para una misma tensión y relación de transformación. Los transformadores para medición están diseñados para que el núcleo se sature para valores relativamente bajos de sobrecorriente, protegiendo de esta forma los instrumentos conectados al secundario del transformador.

Clase de precisión para protección. Los transformadores con núcleos para protección, se diseñan para que la corriente secundaria sea proporcional a la primaria, para corrientes con valores de hasta 30 veces el valor de la corriente nominal.

Resistencia de los transformadores de corriente a los cortocircuitos.

Esta resistencia está determinada por las corrientes de límites térmico y dinámico definidas como:

Corriente de límite térmico. Es el mayor valor eficaz de la corriente primaria que el transformador puede soportar por efecto joule, durante un segundo, sin sufrir deterioro y con el circuito secundario en cortocircuito. Se expresa en kiloamperios eficaces o en múltiplos de la corriente nominal primaria. La elevación de temperatura admisible en el aparato es de 150°C para aislamiento de clase A. Dicha elevación se obtiene con una densidad de corriente de 143 A / mm² aplicada durante un segundo. La corriente térmica se calcula a partir de:

Ecuación 3. Corriente térmica.

$$I_{th} = \frac{MVA}{\sqrt{3} K_v}$$

Dónde:

I_{TH} = Valor efectivo de la corriente de límite térmico.

MVA = Potencia de cortocircuito en MVA.

kV = Tensión nominal del sistema en kV.

La corriente térmica en 1 segundo es **$I_{TH} = 80 I_n$** (kAef)

Corriente de límite dinámico. Es el valor de pico de la primera amplitud de corriente que un transformador puede soportar por efecto mecánico sin sufrir deterioro, con su circuito secundario en cortocircuito. Se expresa en kilo amperes de pico, de acuerdo con la expresión

Ecuación 4. Corriente de límite dinámico

$$I_{din} = 1,82 I_{TH} = 2,54 I_{TH} = 200 I_n$$

Dónde:

I_{din}= Valor de pico de la corriente dinámica.

Placa de características. Los transformadores de intensidad deben llevar una placa de características, indeleble, en la que deben figurar, las siguientes indicaciones según norma **IEC 60185**.

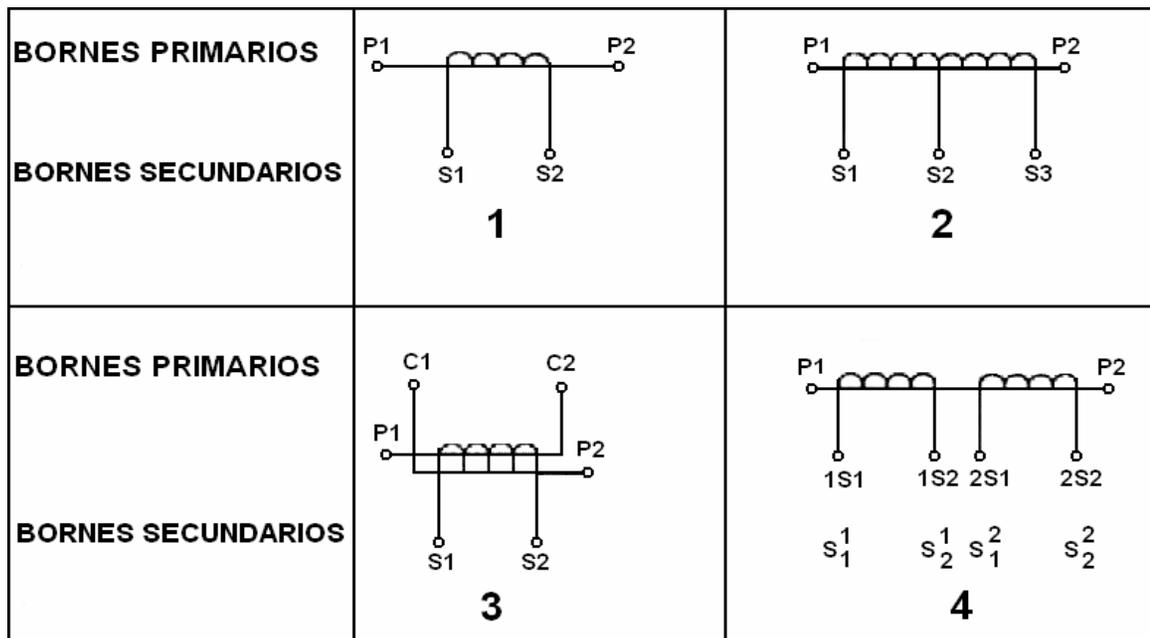
- *Nombre del constructor o cualquier otra marca que permita su fácil identificación.*
- *Número de serie y designación del tipo.*
- *Corrientes nominales primaria y secundaria en amperes (400/5 A).*
- *Frecuencia nominal en Hz.*
- *Potencia de precisión y clase de precisión correspondiente a cada núcleo.*
- *Tensión más elevada de la red (145 kV).*
- *Nivel de aislamiento nominal (275/650 kV).*

Identificación de bornes.

Los bornes de los arrollamientos primario y secundario deben poder ser identificados con fiabilidad. Para ello, en la norma **IEC 60185** se indica el criterio a seguir para su nomenclatura, siendo aquellos bornes que empiecen con **P** y **C** los del arrollamiento primario, y los que empiecen con **S** los del arrollamiento secundario. En la figura que se observa a continuación se visualizan los diferentes casos.

1. - Transformador de simple relación.
2. - Transformador con toma intermedia en el secundario.
3. - Transformador con dos secciones en el arrollamiento primario para su conexión en serie o paralelo.
4. - Transformador con dos arrollamientos secundarios y núcleos independientes

Figura 8. Identificación de bornes



Todos los terminales identificados con **P1**, **S1** y **C1** deben tener la misma polaridad en el mismo instante.

Los bornes terminales deben marcarse o identificarse clara e indeleblemente sobre su superficie o en su inmediata vecindad.

La identificación consiste de letras seguidas, o precedidas donde fuera necesario, por números. Las letras deben ser siempre mayúsculas.

Condiciones de Servicio.

Los transformadores son apropiados para su empleo bajo las siguientes condiciones de servicio, según **IEC 60185**

Temperatura ambiente.

Temperatura máxima **40 ° C**

Valor máximo de la media en 24 horas **35 ° C**

Temperatura mínima.

Transformadores para interiores – **5 ° C**

Transformadores para intemperie – **25 ° C**

Humedad relativa del aire.

Transformadores para interiores hasta **70 %**

Transformadores para intemperie hasta **100 %**

Requerimientos de aislación.

El nivel de aislación nominal del bobinado primario de un transformador de corriente está en relación con la máxima tensión permanente admisible de servicio del sistema (U_m).

Para bobinados comprendidos entre 3,6 kV o superiores, pero menores de 300 kV, el nivel de aislación nominal es determinado por las tensiones nominales resistidas a frecuencia industrial e impulso de rayo y deben ser elegidas según la

4.3. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN

Un transformador de tensión es un dispositivo destinado a la alimentación de aparatos de medición y /o protección con tensiones proporcionales a las de la red en el punto en el cual está conectado. El primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección que se requiere energizar. Cada transformador de tensión tendrá, por lo tanto, terminales primarios que se conectarán a un par de fases o a una fase y tierra, y terminales secundarios a los cuales se conectarán aquellos aparatos.

En estos aparatos la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada.

Desarrollan dos funciones: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión. En esta definición tan amplia quedan involucrados los transformadores de tensión que consisten en dos arrollamientos realizados sobre un núcleo magnético y los transformadores de tensión que contienen un divisor capacitivo. A los primeros los llamaremos en adelante "Transformadores de Tensión Inductivos" y a los segundos "Transformadores de Tensión Capacitivos".

Es de hacer notar que estas denominaciones no son de uso universal, pero consideramos que son las que mejor se adaptan a la Norma IRAM 2271, que incluye a los dispositivos con divisor capacitivo.

Estos transformadores se fabrican para servicio interior o exterior, y al igual que los de corriente, se fabrican con aislamientos de resinas sintéticas (epoxy) para tensiones bajas o medias de hasta 33 kV, mientras que para altas tensiones se utilizan aislamientos de papel, aceite, porcelana o con gas SF₆.

4.3.1. Generalidades.

Un Transformador de Tensión Inductivo (Transformador de tensión) consiste en un arrollamiento primario y un arrollamiento secundario dispuestos sobre un núcleo magnético común. Como dijimos los terminales del arrollamiento primario se conectan a un par de fases de la red, o a una fase y a tierra o neutro. Los terminales del arrollamiento secundario se conectan a los aparatos de medición y / o protección que constituyen la carga.

En realidad la idea expuesta corresponde a un transformador de tensión monofásico, que es el modelo más usado en todas las tensiones y casi indefectiblemente para tensiones superiores a 33 kV. La tensión primaria de un transformador de tensión es elegida de acuerdo a la tensión de la red a la cual está destinado. Si se trata de medir la tensión entre fases, la tensión nominal primaria estará en correspondencia con la tensión compuesta, pero si se trata de medir tensión entre fase y tierra la tensión nominal primaria será 1 / 3 veces la tensión compuesta.

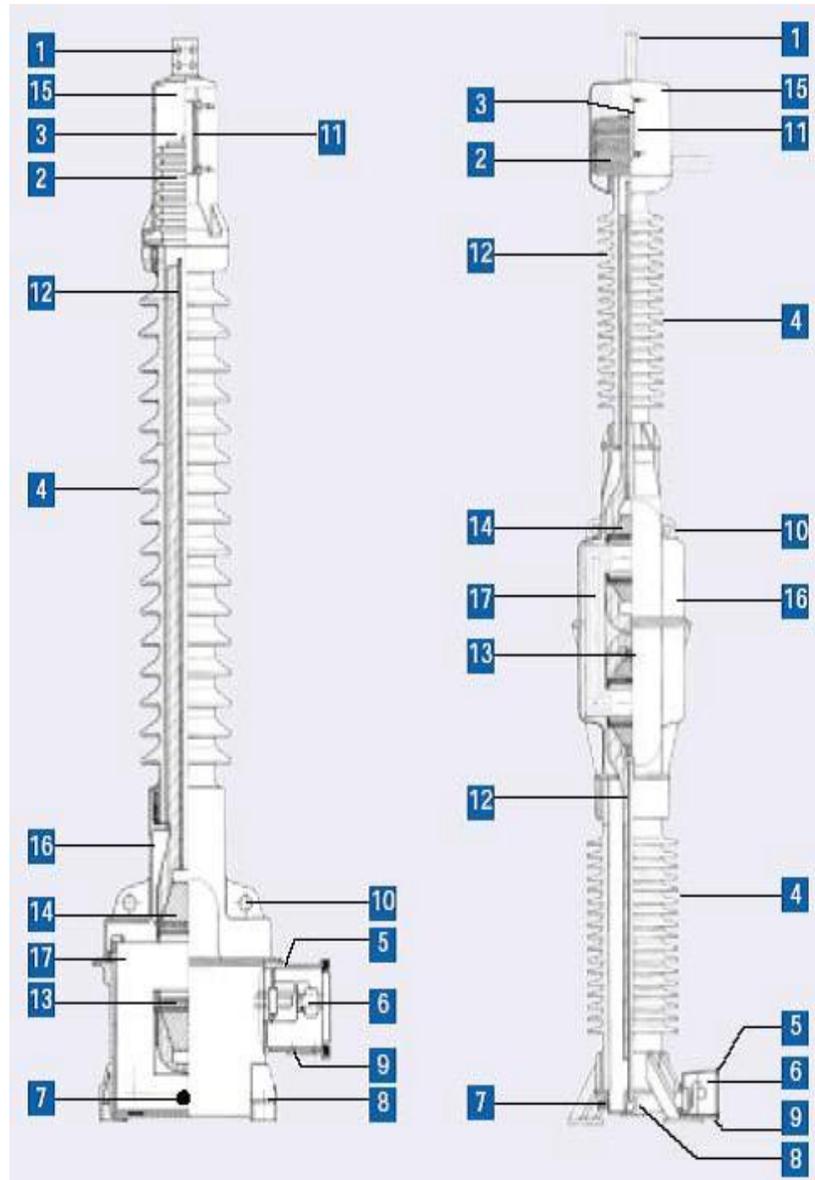
La tensión nominal secundaria de un transformador de tensión depende del país en el que se utilice, por ejemplo 100 V, 110 V, o en 200 V y 220 V para la

aplicación en circuitos secundarios extensos, para transformadores usados entre fases.

Para transformadores usados entre fase y tierra, las tensiones secundarias nominales son aquellas divididas por 1,73. El tamaño de los transformadores de tensión está fundamentalmente determinado por la tensión del sistema y la aislación del arrollamiento primario a menudo excede en volumen al arrollamiento mismo. Un transformador de tensión debe estar aislado para soportar sobretensiones, incluyendo tensiones de impulso. Si se debe lograr eso con un diseño compacto, la tensión debe estar distribuida uniformemente a través del arrollamiento, lo cual requiere una distribución uniforme de la capacidad del arrollamiento o la aplicación de apantallado electrostático. Un transformador de tensión convencional tiene, en la mayoría de los casos, un solo arrollamiento primario, cuya aislación presenta grandes problemas para tensiones superiores a 132 kV. Esos problemas son solucionados con los transformadores de tensión en cascada repartiendo la tensión primaria en varias etapas separadas.

En la figura se muestra un corte esquemático de un transformador de tensión monofásico para redes de 132 kV, de la marca **Trench**.

Figura 9. Corte esquemático de un Transformador de Tensión monofásico.



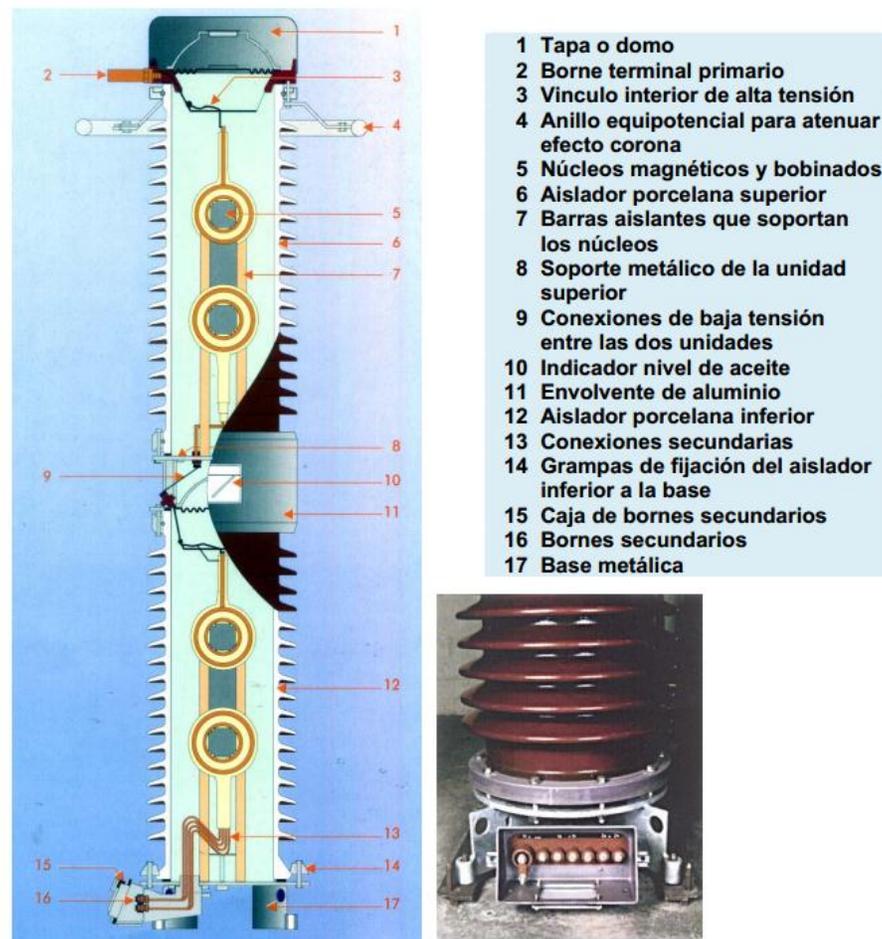
Fuente: Ras (1994) Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección

Descripción de partes:

1. Borne terminal primario

2. Fuelle metálico de expansión
3. Tapón orificio llenado aceite
4. Aislador de porcelana
5. Caja de bornes secundarios
6. Bornes secundarios
7. Válvula drenaje aceite
8. Terminal de tierra
9. Placa de salida cables
10. Ojales para izaje
11. Indicador nivel de aceite
12. Bushing interior
13. Bobinados secundarios
14. Bobinado primario
15. Domo de aluminio
16. Tanque metálico de Al
17. Núcleo magnético

Figura 10. Descripción de los Transformadores de Tensión



Fuente: Ras (1994) Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección

4.3.2. Descripción de los transformadores de tensión.

Los transformadores de tensión no difieren en mucho de los transformadores de potencia en cuando a elementos constructivos básicos se refiere. Los componentes básicos son los siguientes:

Aislamiento externo: El aislamiento externo consta de una envolvente cerámica con una línea de fuga lo suficientemente larga para que ningún arco pueda contornear bajo condiciones de contaminación, como lluvia, niebla, polvo, etc.

Aislamiento interno: El aislamiento interno suele ser cartón prespán en seco o impregnado en aceite. El aceite que se utiliza es desgasificado y filtrado, y cuando se rellena el transformador se hace bajo vacío. Los transformadores con aislamiento de cartón impregnado en aceite suelen disponer de un depósito de expansión en su extremo superior.

Núcleo: Los transformadores de tensión, tanto de medida como de protección, se construyen con núcleos de chapa magnética de gran permeabilidad y de rápida saturación que mantienen constante la relación de transformación y la precisión cuando la tensión en el arrollamiento primario se mantiene por debajo de 1,2 veces la tensión nominal. La razón del uso de estos núcleos se basa en que en un sistema eléctrico la tensión no presenta grandes variaciones (caso contrario a la corriente) y no se hace necesaria la utilización de núcleos de gran permeabilidad y saturación débil o lenta, los cuales mantienen la relación de transformación para valores muy superiores a la tensión nominal del primario, además. El uso de núcleos de saturación débil ocasionaría que ante la presencia de sobretensiones en el arrollamiento primario, éstas se transferirían al secundario con el consecuente daño al equipo conectado al mismo.

Arrollamientos: Son de hilo de cobre electrolítico puro, esmaltado de clase H. Se bobinan en capas de ejecución anti resonante para la distribución uniforme de las sobretensiones transitorias. Las capas de papel intermedias se disponen de modo que las tensiones entre espiras no sobrepasen valores controlados.

Bornes terminales primarios: Son de latón o bronce, y de forma cilíndrica.

Bornes terminales secundarios: Son de latón y se hallan alojados en una caja de bornes de baja tensión estanca.

Parámetros y definiciones de los transformadores de tensión.

Transformador de tensión no puesto a tierra: Es el transformador monofásico cuyo arrollamiento primario no se halla conectado entre fase y tierra, sino entre dos fases. Se emplea en tensiones hasta 36 kV.

Transformador de tensión puesto a tierra: Es el transformador monofásico cuyo arrollamiento primario se halla conectado entre fase y tierra.

Arrollamiento primario: Es el arrollamiento al cual se aplica la tensión a transformar.

Arrollamiento secundario: Es el arrollamiento que alimenta los circuitos de tensión de los instrumentos de medida, contadores y relés.

Circuito secundario: Circuito exterior alimentado por el arrollamiento secundario de un transformador de tensión.

Tensión primaria nominal: Es el valor de la tensión que figura en la designación del transformador, de acuerdo con la cual se determinan sus condiciones de funcionamiento.

Tensión secundaria nominal: Valor de la tensión secundaria que figura en la designación del transformador, de acuerdo con la cual se determinan sus condiciones de funcionamiento. La tensión secundaria nominal para los transformadores monofásicos utilizados en redes monofásicas o montadas entre

fases de redes trifásicas, es de 110 V. Para los transformadores monofásicos destinados a ser montados entre fase y tierra en las redes trifásicas, en los cuales la tensión primaria nominal es la tensión nominal de la red dividida por 3, la tensión secundaria nominal es 110 / 3 V con el fin de conservar el valor de relación de transformación nominal.

Relación de transformación real: Es el cociente entre la tensión primaria real y la tensión secundaria real.

Relación de transformación nominal: Es el cociente entre la tensión primaria nominal y la tensión secundaria nominal.

Error de tensión: Error que el transformador introduce en la medida de una tensión y que proviene del hecho de que la relación de transformación real no es igual a la relación de transformación nominal. Dicho error viene expresado por la fórmula:

Ecuación 5. Error de tensión

$$\% = ((k_n \cdot U_s - U_p) / U_p) 100$$

Dónde:

k_n es la relación de transformación nominal

U_p Es la tensión primaria real

U_s es la tensión secundaria real correspondiente a la tensión

U_p en las condiciones de la medida.

Error de fase (válido sólo para tensiones senoidales): Es la diferencia de fase entre los vectores de las tensiones primaria y secundaria, con el sentido de los vectores elegido de forma que este ángulo sea nulo para un transformador perfecto. El error de fase se considera positivo cuando el vector de la tensión secundaria está en avance sobre el vector de la tensión primaria. Se expresa habitualmente en minutos, o en centiradianes.

Clase de precisión: Designación aplicada a un transformador de tensión cuyos errores permanecen dentro de los límites especificados para las condiciones de empleo especificadas. Con ella se designa el error máximo admisible que el TT puede introducir en la medición de potencia operando con su U_n primaria y la frecuencia nominal.

Carga: Admitancia del circuito secundario, expresada en Siemens, con indicación del factor de potencia. No obstante, la carga se expresa normalmente por la potencia aparente, en VA. Absorbida con un factor de potencia especificado y bajo la tensión secundaria nominal.

Carga de precisión: Valor de la carga en la que están basadas las condiciones de precisión.

Potencia de precisión: Valor de la potencia aparente en VA, con un factor de potencia especificado, que el transformador suministra al circuito secundario a la tensión secundaria nominal cuando está conectado a su carga de precisión. Los valores normales de la potencia de precisión para un factor de potencia de 0,8 son: **10** - 15 - **25** - 30 - **50** -75 -**100** - 150 - **200** -300 - 400 - **500** VA. Los valores preferentes son los que están en *cursiva*.

Frecuencia nominal: Valor de la frecuencia en la que serán basadas todas las especificaciones y que será de 60 Hz.

Placa de características. Los transformadores de tensión deben llevar una placa de características, indeleble, en la que deben figurar, las siguientes indicaciones según norma IEC 60186.

- *Nombre del constructor o cualquier otra marca que permita su fácil indicación.*
- *Número de serie y designación del tipo.*
- *Tensiones nominales primaria y secundaria en voltios.*
- *Frecuencia nominal en Hz.*
- *Potencia de precisión y clase de precisión correspondiente.*
- *Tensión más elevada de la red.*
- *Nivel de aislamiento nominal.*

Identificación de bornes.

Los bornes de los arrollamientos primario y secundario deben poder ser identificados con fiabilidad. Para ello, en la norma IEC 60185, sección 8 se indica el criterio a seguir para su nomenclatura, siendo aquellos bornes que empiecen con las letras mayúsculas **A, B, C** y **N** los de los arrollamientos primarios, y con idénticas letras, pero minúsculas **a, b, c,** y **n** los de Los arrollamientos secundarios. Las letras A, B y C definen bornes terminales totalmente aislados y la letra N el borne terminal a ser conectado a tierra, siendo su aislación menor que la de los otros terminales. Las letras **da** y **dn** identifican terminales de bobinados destinados a suministrar una tensión residual. Todos los terminales identificados con **A, B, C,** y **a, b,** y **c** deben tener la misma polaridad en el mismo instante. Las identificaciones son aplicables a transformadores monofásicos y también a

conjuntos de ellos montados como una unidad y conectados como un transformador de tensión trifásico o a un transformador de tensión trifásico que tenga un núcleo magnético común para las tres fases.

4.3.3. Condiciones de Servicio.

Los transformadores son apropiados para su empleo bajo las siguientes condiciones de servicio, según IEC 60186.

Temperatura ambiente.

Temperatura máxima 40 ° C

Valor máximo de la media en 24 horas 30 ° C

Temperatura mínima.

Transformadores para interiores – 5 ° C

Transformadores para intemperie – 25 ° C

Humedad relativa del aire.

Transformadores para interiores hasta 70 %

Transformadores para intemperie hasta 100 %

Altitud.

Hasta 1.000 m sobre el nivel de mar.

Condiciones atmosféricas.

Atmósferas que no están altamente contaminadas.

Sistemas de puesta a tierra.

Neutro aislado.

Neutro a tierra a través de una bobina de extinción.

Neutro efectivamente puesto a tierra.

a) Neutro efectivamente puesto a tierra.

b) Neutro a tierra a través de una resistencia o reactancia de valor bastante bajo.

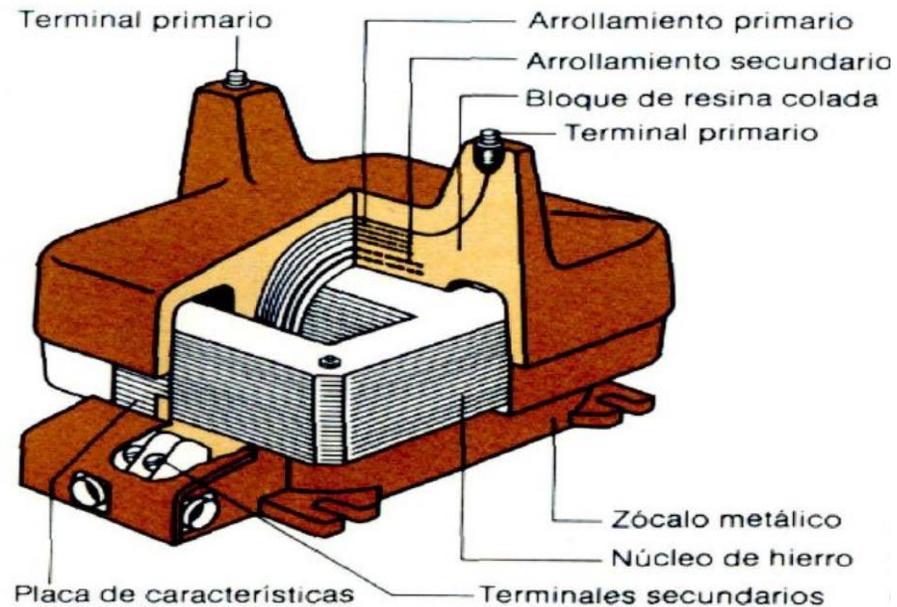
Los fabricantes deben ser informados si las condiciones, incluso aquellas bajo las cuales los transformadores serán transportados, difieren de las especificadas arriba.

4.3.4. Clasificación de los transformadores de tensión.

La clasificación principal de los transformadores de tensión se basa en el destino o utilización del transformador distinguiéndose los siguientes tipos:

Transformadores de tensión para medida: Son los concebidos para alimentar equipos de medida. Una de sus características fundamentales es que deben ser exactos en las condiciones normales de servicio. El mide por su ***clase*** o ***precisión***, la cual nos indica en tanto por ciento el máximo grado de exactitud de un transformador de medida que se comete en la medida. La norma IEC especifica que la clase o precisión debe mantenerse cuando la tensión que se aplica en el arrollamiento primario se encuentre comprendida en un rango que va del 80 al 120 % de la tensión primaria nominal, así mismo también debe mantenerse dicha precisión cuando la carga conectada al secundario del transformador esté comprendida entre el 25 y el 100 % de la carga nominal y con un factor de potencia de 0,8 inductivo. Las clases de precisión normales para los TT monofásicos para medidas son: **0,1 - 0,2 - 0,5 - 1,0 - 3,0**

Figura 11. Sección de un transformador de tensión bipolar aislado para tensiones de servicio de más de 1 kv.



Fuente: Transformadores de Medida, Sección de un transformador de tensión bipolar.

Transformadores de tensión para protección: Son aquellos destinados a alimentar relés de protección. Si un transformador va a estar destinado para medida y protección, se construye normalmente con dos arrollamientos secundarios, uno para medida y otro para protección, compartiendo el mismo núcleo magnético, excepto que se desee una separación galvánica. Por esta razón, en la norma IEC, se exige que los transformadores de protección cumplan con la clase de precisión de los transformadores de medida.

Clasificación de Ensayos.

Los ensayos especificados en la norma IEC son clasificados como ensayos de tipo, ensayos de rutina y ensayos especiales.

- **Ensayos de tipo.**
 - Calentamiento.
 - Tensión de impulso de rayo.
 - Tensión de impulso de maniobra.
 - Tensión aplicada a frecuencia industrial bajo lluvia para los transformadores
 - de intemperie.
 - Determinación de errores.
 - Capacidad resistida al cortocircuito.

- **Ensayos de rutina.**
 - Verificación de la identificación de los bornes terminales.
 - Tensión aplicada a frecuencia industrial sobre los bobinados secundarios.
 - Tensión aplicada a frecuencia industrial entre secciones del bobinado secundario.
 - Tensión aplicada a frecuencia industrial sobre el bobinado primario.
 - Medida de descargas parciales.
 - Determinación de errores.

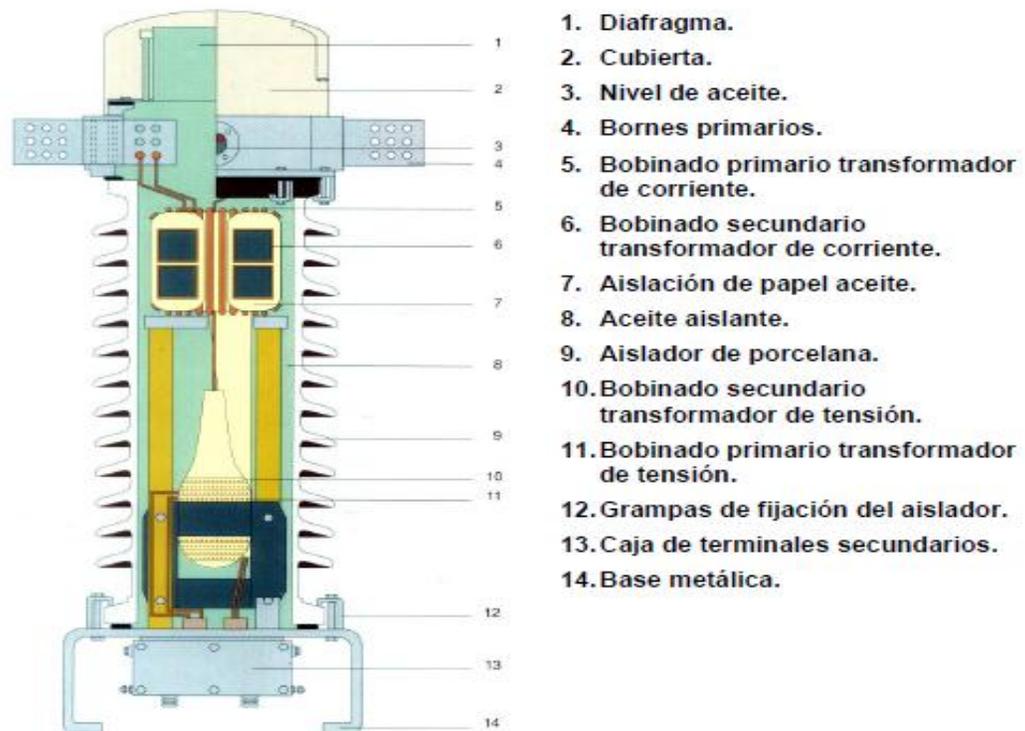
4.4. TRANSFORMADORES COMBINADOS DE CORRIENTE Y DE TENSIÓN.

Los transformadores combinados de medida son unidades para servicio exterior que contienen en su interior un transformador de intensidad y un transformador de tensión inductivo. En la figura se puede apreciar el corte transversal de un transformador de medida combinado de la firma Alstom

Su aplicación es, por lo tanto, la misma que la de los aparatos de que consta; separar del circuito de alta tensión los instrumentos de medida, contadores, relés, etc y reducir las corrientes y tensiones a valores manejables y proporcionales a las primarias originales. El transformador de corriente consta de uno o varios núcleos con sus arrollamientos secundarios dentro de una caja metálica que hace de pantalla de baja tensión y sobre la que se coloca el aislamiento de papel - aceite, pantalla de alta tensión y arrollamiento primario (pasante o bobinado). El conjunto está en la parte superior y los conductores secundarios descienden dentro de un borne/a condensadora aislada con papel - aceite y formada por pantallas distribuidoras del campo. Las partes activas del transformador de corriente están encerradas en una cabeza de aluminio.

El transformador de tensión va colocado en la parte inferior. Los arrollamientos son de diseño antirresonante lo que proporciona a los aparato un correcto comportamiento tanto a frecuencia industrial como ante fenómenos transitorios de alta frecuencia. El conjunto está herméticamente sellado con un compensador metálico que absorbe las variaciones de volumen de aceite

Figura 12. Transformador combinado



Fuente: Ras (1994) Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección

4.5. NORMAS Y REGLAMENTOS

4.5.1. RETIE (MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA , 2013)

RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), expedido por el Ministerio de Minas y Energía, entró a regir en Colombia el 1 de mayo de 2005 con el objetivo de establecer las medidas que garanticen la seguridad de las personas, la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.

- **CAMPO DE APLICACIÓN** (CODENSA , 2010)
- Toda instalación eléctrica nueva.
- Toda ampliación de una instalación eléctrica.
- Toda remodelación de una instalación eléctrica que se realice en los procesos de generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica.

Cuando un transformador aislado en aceite requiera instalación en bóveda (conforme a la sección 450 de la norma NTC2050), esta debe construirse con materiales que ofrezcan una resistencia al fuego de mínimo tres horas.

- **CONCEPTOS GENERALES DEL RETIE**

- La protección de la vida y la salud humana
- La protección de la vida vegetal y animal
- La preservación del medio ambiente
- Propicia el uso racional y eficiente de la energía

Los requisitos y prescripción serán de obligatorio cumplimiento en todas las instalaciones nuevas, remodelaciones, ampliaciones, públicas o privadas.

- **CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA EN LA INSTALACIÓN DE TRANSFORMADORES SEGÚN RETIE.**

Para los efectos del presente Reglamento Técnico, los transformadores eléctricos de capacidad mayor o igual a 3 kVA, nuevos, reparados o reconstruidos, para uso en las instalaciones objeto del presente reglamento, deben cumplir con los siguientes requisitos:

Requisitos de Instalación:

Cuando el transformador no sea de tipo sumergible y se aloje en cámaras subterráneas sujetas a inundación, la cámara debe ser debidamente impermeabilizada para evitar humedad y en lo posible debe separarse de la cámara de maniobras. Cuando la cámara subterránea no sea impermeable se deberá instalar transformador y caja de maniobras tipo sumergible.

Los transformadores refrigerados en aceite no deben ser instalados en niveles o pisos que estén por encima o contiguos a sitios de habitación, oficinas y en general lugares destinados a ocupación permanente de personas, que puedan ser objeto de incendio o daño por el derrame del aceite refrigerante.

Cuando un transformador aislado en aceite requiera instalación en bóveda (conforme a la sección 450 de la norma NTC 2050), esta debe construirse con materiales que ofrezcan una resistencia al fuego de mínimo tres horas. Para transformadores secos con potencia superior a 112,5 kVA que requieran bóveda, la resistencia al fuego de esta debe ser mínimo de una hora. Las puertas cortafuegos, deberán ser certificadas por un organismo de certificación de producto acreditado por la SIC.

Los transformadores y barrajes del secundario, cuando se usen en instalaciones de uso final, deben instalarse de acuerdo con lo establecido en la Sección 450 de la NTC 2050.

Todo transformador con tensión nominal superior a 600 V debe protegerse por lo menos en el primario con protecciones de sobre corriente, cuando se use fusibles estos deben ser certificados y seleccionados de acuerdo con una adecuada coordinación de protecciones.

El nivel de ruido de los transformadores, no debe superar los valores establecidos en las disposiciones ambientales sobre la materia, de acuerdo con la exposición a las personas.

Requisitos de producto:

- a. Los transformadores deben tener un dispositivo de puesta a tierra para conectar sólidamente el tanque, el gabinete, el neutro y el núcleo, acorde con los requerimientos de normas técnicas aplicadas y las características que requiera la operación del transformador.
- b. Todos los transformadores sumergidos en líquido refrigerante que tengan cambiador o conmutador de derivación de operación exterior sin tensión, deben tener un aviso: “maniébrese sin tensión” según criterio adoptado de la NTC 1490.
- b. Todos los transformadores sumergidos en líquido refrigerante deben tener un dispositivo de alivio de sobrepresión automático fácilmente reemplazable, el cual debe operar a una presión inferior a la máxima soportada por el tanque según criterio adoptado de las NTC 1490, NTC 1656, NTC 3607, NTC 3997 y NTC 4907.
- c. Los transformadores de distribución, deben poseer un dispositivo para levantarlos o izarlos, el cual debe ser diseñado para proveer un factor de seguridad mínimo de cinco, para transformadores secos el factor de seguridad puede reducirse a tres. El esfuerzo de trabajo es el máximo desarrollado en los dispositivos del levantamiento por la carga estática del transformador completamente ensamblado, según criterio tomado de la NTC 3609.
- d. Los dispositivos de soporte para colgar en poste, deben ser diseñados para proveer un factor de seguridad de cinco, cuando el transformador es soportado en un plano vertical únicamente desde el dispositivo superior, según criterio adoptado de la NTC 3609.

- e. El fabricante debe entregar al usuario las indicaciones y recomendaciones mínimas de montaje y mantenimiento del transformador.
- f. Rotulado. Todo transformador debe estar provisto de una placa de características que contenga la información de la siguiente lista en forma indeleble, debe ser fabricada en material resistente a la corrosión y fijada en un lugar visible; según criterio adoptado de la NTC 618.

- Marca o razón social del fabricante.
- Número de serie dado por el fabricante.
- Año de fabricación.
- Clase de transformador.
- Número de fases.
- Diagrama fasorial.
- Frecuencia nominal.
- Potencias nominales, de acuerdo al tipo de refrigeración
- Tensiones nominales, número de derivaciones.
- Corrientes nominales.
- Impedancia de cortocircuito
- Peso total en kilogramos
- Grupo de conexión
- Diagrama de conexiones.

Información adicional: La siguiente información deberá ser suministrada al usuario en catálogo para transformadores de potencia mayor o igual a 5 kVA.

- Pérdidas del transformador a condiciones nominales, este valor debe ser certificado.
- Corriente de cortocircuito simétrica.
- Duración del cortocircuito simétrico máximo permisible.

- Métodos de refrigeración.
- Clase de aislamiento.
- Líquido aislante.
- Volumen del líquido aislante.
- Nivel básico de aislamiento de cada devanado, BIL.

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE ESTUDIO

Se considera un tipo de estudio analítico experimental, ya que evalúa las distintas variables de causa y efecto en la instalación de un transformador que sirva de base didáctica en la complementación de los laboratorios dictados por la Institución, se considera experimental, ya que estudia las razones de prevalencia en dicha instalación y se tienen en cuenta cada uno de los ítems solicitados en el REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS RETIE. Además permite evaluar las condiciones actuales de los equipos, sus elementos y las posibles soluciones que se puedan dar con los resultados obtenidos.

5.2. MÉTODO

Se trabajó a través del método inductivo, basado en el estudio de necesidades, todo ello centrado a la etapa de montaje y acoplamiento de las diferentes etapas en la instalación de una celda de medida, partiendo de la observación de cada fenómeno particular, además de recurrir al chequeo, verificación y corrección del acoplamiento y conexiones de los equipos, los cuales para generar mayor dinamismo tendrán una secuencia lógica para el montaje total del sistema y para su óptimo funcionamiento.

5.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

5.3.1. Fuentes primarias

Recopilación de información a través de normatividad vigente, libros de eléctrica, análisis de riesgos, estudios y experiencias en la instalación de transformadores y con ello llegar a un ajuste completo y acertado que permita cumplir con las necesidades presentadas en la Institución.

5.3.1. Fuentes secundarias

Asesoramiento de parte de las diferentes estancias administrativas y docentes de la Institución Universitaria Pascual Bravo, quienes desde su experiencia y conocimiento nos dieron las pautas generales en materia técnica y de espacio para la instalación del transformador, quien es parte fundamental de la instalación general de la celda de medida.

5.4. POBLACIÓN

Este proyecto va dirigido a todo el personal docente y estudiantil, que pueda beneficiarse de la adquisición e instalación de elementos que generen una mayor interacción en tiempo real con las herramientas que harán parte de su entorno común en el desarrollo de las actividades ingenieriles y/o técnicas.

6. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO.

El proyecto consiste en la descripción e instalación de los distintos elementos que componen una celda de medida, efectuado en el Bloque 3, Salón 309, de la Facultad de Ingeniería, de la Institución Universitaria Pascual Bravo, basados en el estudio de necesidades académicas y el reglamento vigente en Instalaciones eléctricas.

6.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A UTILIZAR

Las características de los transformadores utilizados para la instalación de la celda de medida y la ficha técnica en la que se especifican todas las características, se pueden evidenciar en los Anexos 1, 2 y 3, del presente documento.

6.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Ver Anexo 1, 2 y 3

6.3. INSTALACIÓN Y VERIFICACIÓN

Dado que la instalación de la celda de medida será de mayor importancia didáctica y teniendo en cuenta que la Institución no cuenta con las condiciones del nivel de tensión de 13.2 kv, al realizar la instalación se realizó una inspección detallada de las conexiones sin la realización de pruebas energizadas.

Los transformadores se instalaron mecánicamente en una estructura que está en la parte inferior de la celda.

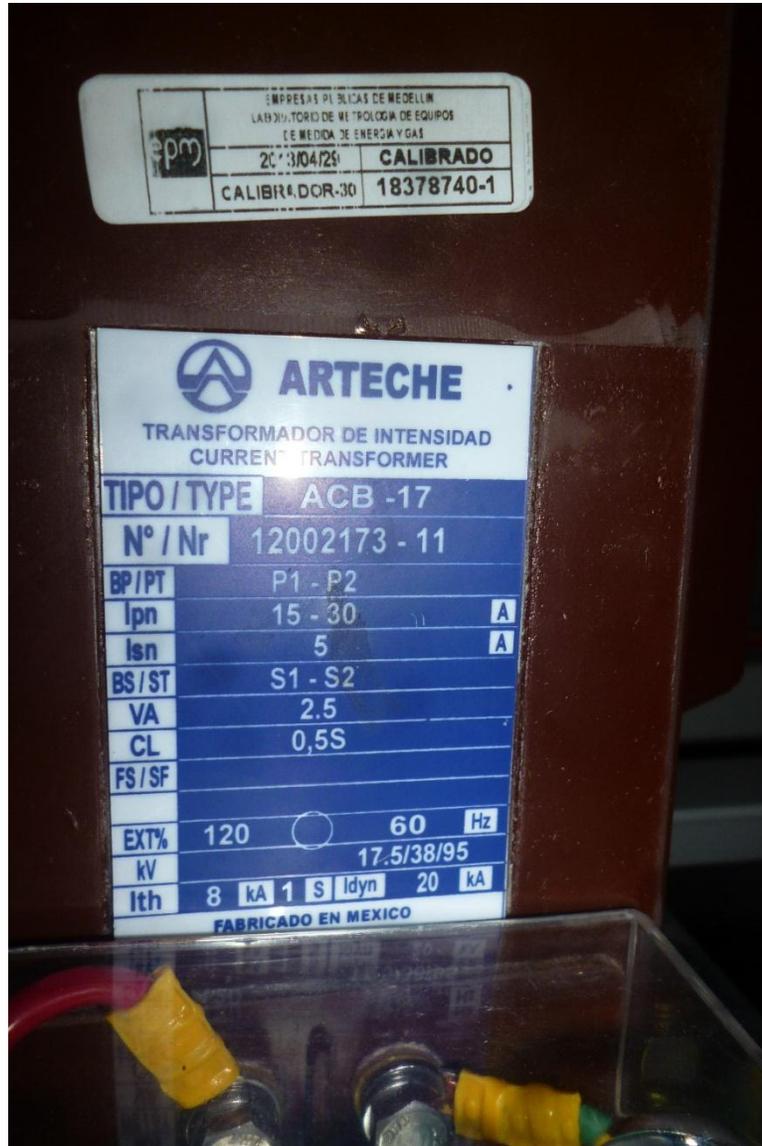
Los transformadores de corriente utilizados son 20/10/5.

Figura 13. Transformadores Instalados



Fuente: Fotografía tomada por los autores del proyecto

Figura 14. Referencia del Transformador de Intensidad instalado



Fuente: Fotografía tomada por los autores del proyecto

Figura 15. Referencia del Transformador de Tensión instalado



Fuente: Fotografía tomada por los autores del proyecto

CONCLUSIONES

- Un transformador induce la electricidad que se aplica desde la bobina de alambre primaria en la secundaria. El número de vueltas de alambre en cada bobina determina la potencia o la corriente que induce.
- Un transformador con el doble de vueltas en la bobina secundaria como en la primaria con el doble de voltaje pero con la mitad de la corriente. Si se lo torna en sentido inverso, consume la mitad del voltaje y duplica la corriente.
- Es un modulo práctico, didáctico y demostrativo que se puede utilizar en la industria.
- Es un modulo compacto que trae beneficios a los estudiantes de tecnología e ingeniería eléctrica que aporta al conocimiento de todos.
- Los transformadores de corriente cuentan con usos más limitados. Los transformadores de corriente o de sentido de corriente sólo disminuyen la corriente para usar aparatos de medición y medida, con poco interés en la energía o los cambios de voltaje.

RECOMENDACIONES

- Inicialmente se recomienda realizar un uso adecuado y responsable del módulo.
- Verificar que todos los componentes del módulo estén en buen estado para el funcionamiento.
- Verificar que la alimentación del módulo y las líneas de tierra de cada equipo, estén instaladas adecuadamente.
- Realizar constantemente inspecciones visuales antes, durante, y después del uso del módulo.
- Dejar el módulo en condiciones iniciales.
- El módulo no se debe ubicar en lugares húmedos, no poner sobre el alimentos ni piezas metálicas.
- Si en un futuro se requiere realizar modificaciones al módulo instalado se debe tomar como referencia la parte inicial de la instalación tal y como está.

BIBLIOGRAFÍA

CODENSA . (2010). CODENSA . Obtenido de El RETIE y sus implicaciones :

http://www.codensa.com.co/construccionyenergia/documentos/1320_MA_2_EI_RETIE_y_sus_Implicaciones.pdf

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA . (2013). Ministerio de Minas y Energía .

Obtenido de Eficiencia energética en transformadores eléctricos :
<http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/transformadores.pdf>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA . (2013). MINISTERIO DE MINAS Y

ENERGÍA . Obtenido de Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
RETIE :

Ras , E. (1994). Transformadores de potencia, de medida y de protección.

España: Marcombo.

TECNOBLOG SAN MARTÍN . (2013). TECNOBLOG SAN MARTÍN. Obtenido de

Los transformadores :

<http://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/category/tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/unidad-4-energia-tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/4-3-el-transformador/>

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL . (2013). UNIVERSIDAD

TECNOLÓGICA NACIONAL . Obtenido de Módulo II: Transformadores de
instrumentos: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/tydee/moduloii.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Transformadores de medida media tensión interior

Anexo 2. Transformadores de intensidad

Anexo 3. Transformadores de tensión