

6.4. Transformadores de Instrumentos.

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 que se puede generalizar en la siguiente tabla y que nos ayuda para pasar de las funciones de un tipo de transformador al otro:

Equivalencias de funciones en los transformadores de instrumentos.

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

A continuación se ven, por separado, las características principales de cada uno de los dos tipos de transformadores arriba mencionados. Ambos pueden utilizarse para protección, para medición, o bien, para los dos casos simultáneamente siempre y cuando las potencias y clases de precisión sean adecuadas a la función que desarrollen.

6.4.1. Transformadores de corriente.

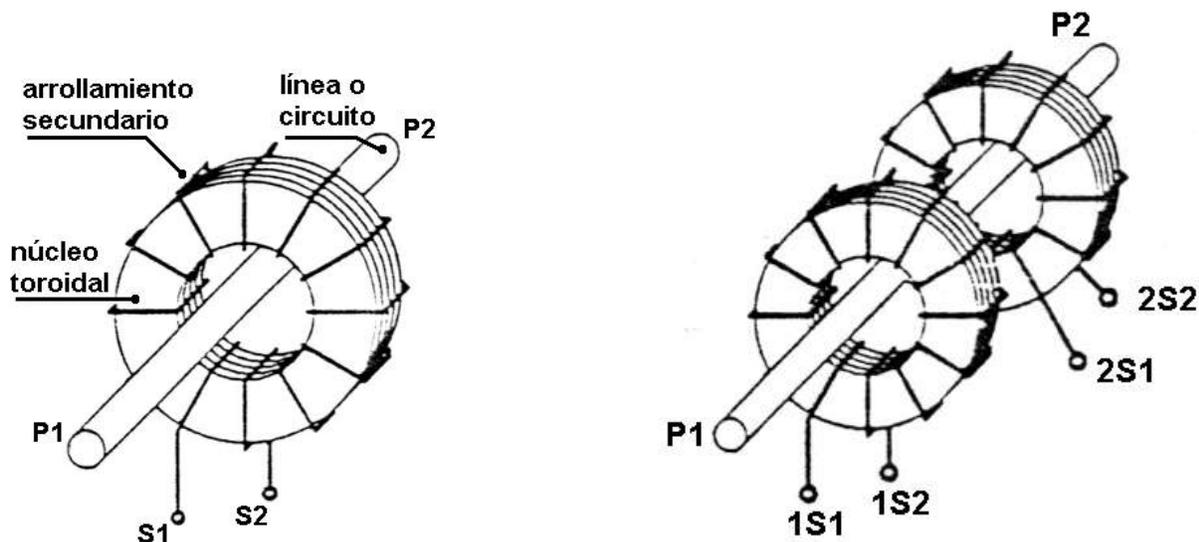
Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a 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.



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 pasatapas 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.

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.

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.

Transformadores mixtos. 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.

Transformadores combinados. Son aparatos que bajo una misma cubierta albergan un transformador de corriente y otro de tensión.

Se utilizan en estaciones de intemperie fundamentalmente para reducir espacios.

Descripción de los transformadores de corriente.

Los componentes básicos son:

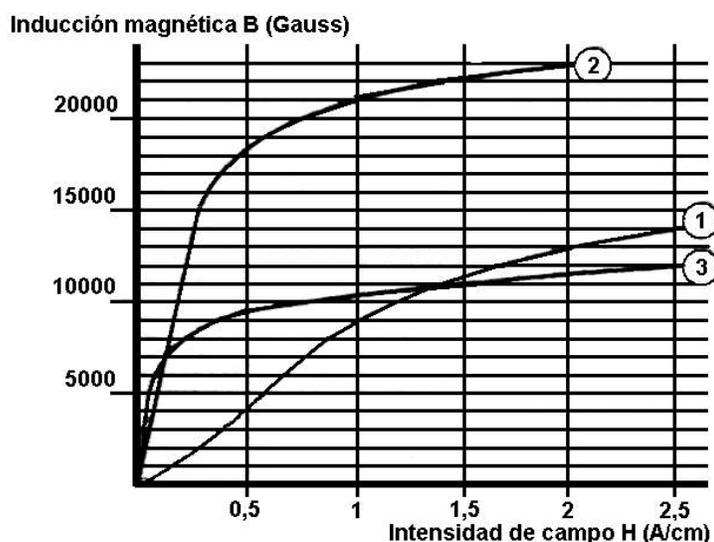
Aislamiento externo: el aislamiento externo consta de una envolvente cerámica con una línea de fuga lo suficientemente larga como para que ningún arco pueda contornear bajo condiciones de contaminación, como lluvia, niebla, polvo, etc.

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 sobrante cuando 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:



- 1.- Chapa con alto porcentaje de silicio.
- 2.- Chapa de aleación ferromagnética a base de níquel (30% al 70%) de gran permeabilidad magnética y débil poder de saturación.
- 3.- 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 sobreintensidades 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.

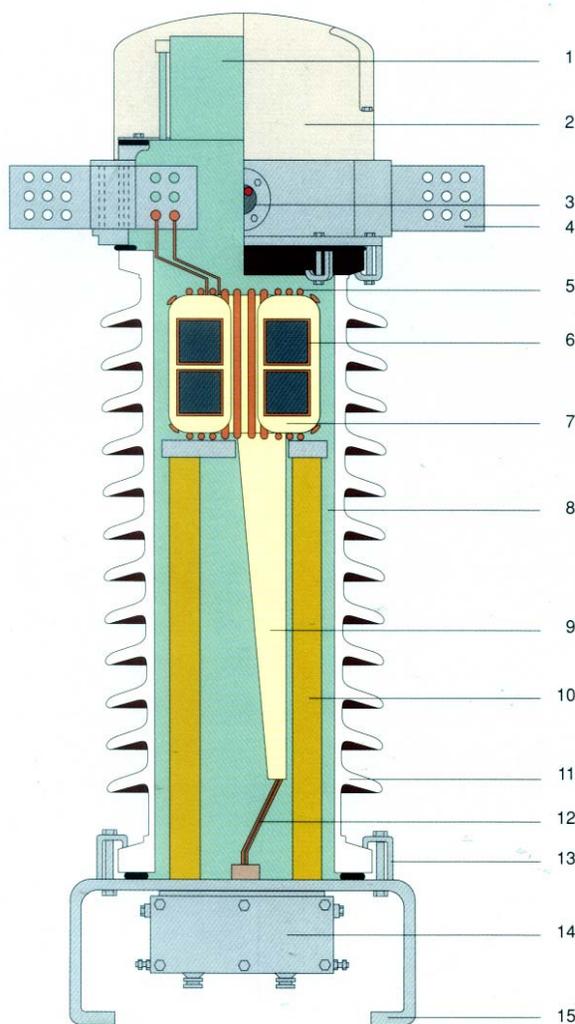
Arrollamiento primario: es de pletina de cobre electrolítico puro, en barra pasante o formando varias espiras distribuidas por igual alrededor del núcleo. Existe la posibilidad de construir el arrollamiento partido con acceso a los extremos de cada parte para que a base de realizar conexiones en serie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

obtener diferentes relaciones de transformación.

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 tomas secundarias. 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 ampliamente dimensionados y son de forma cilíndrica, planos o con tornillos.

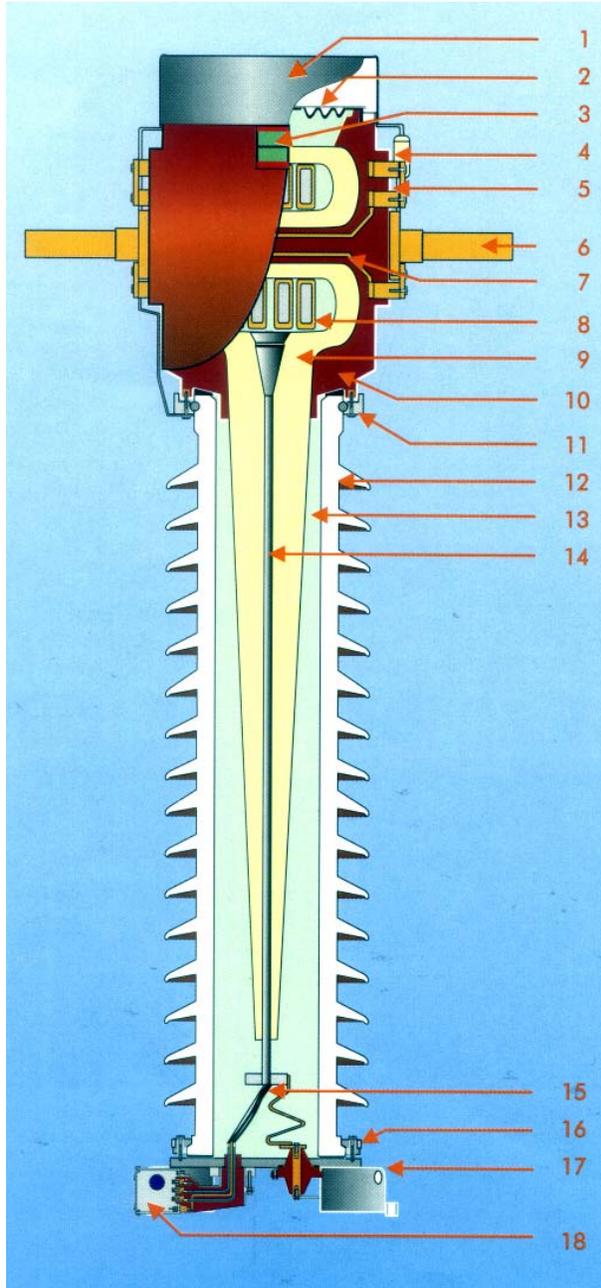
Bornes terminales secundarios: son de latón y se hallan alojados en una caja de bornes de baja tensión estanca.



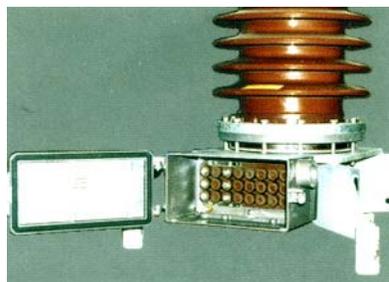
1. Diafragma.
2. Domo metálico.
3. Indicador de nivel de aceite.
4. Bornes terminales primarios.
5. Arrollamiento primario.
6. Arrollamiento secundario.
7. Aislamiento de papel aceite.
8. Aceite aislante.
9. Bushing interno.
10. Soportes aislantes.
11. Aislador de porcelana.
12. Conexiones secundarias.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

Transformador de corriente CTA 145 serie Balteau de Alsthom.

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



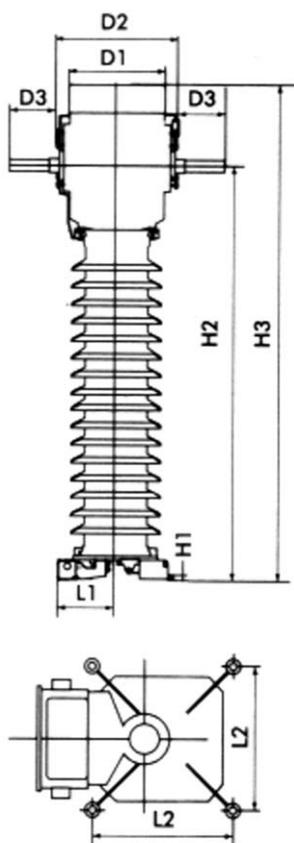
1. Caperuza de aluminio o domo.
2. Diafragma de goma corrugada.
3. Indicador de nivel de aceite.
4. Descargador.
5. Bornes para cambio relación.
6. Bornes terminales primarios.
7. Bobinado primario.
8. Bobinados secundarios.
9. Aislación de papel aceite.
10. Cabezal de resina sintética.
11. Grampas superiores 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.



Dimensiones en mm y pesos en kg.

kV	D1	D2 (B)	D2 (M)	D3 (*)	H1	H2	H3	L1	L2	Peso Total	Peso Aceite
145	525	590	700	150	110	2.240	2.720	403	450	620	65
245	525	590	700	150	110	2.960	3.440	403	600	680	86

(B) terminal tipo barra, (M) terminales redondos, (*) terminal tipo zapata.



Parámetros de los transformadores de corriente.

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:

$$\frac{30}{5^2} = 1,20 \Omega$$

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 / mm^2 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:

$$\text{Error de corriente \%} = \frac{k_n \cdot I_S - I_P}{I_P} \cdot 100$$

Donde: k_n 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 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 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 60 VA.

Para los secundarios de 5 amperes, la experiencia indica que no se deben utilizar conductores con secciones no inferiores a los 4 mm^2 . 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 50 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 con su corriente nominal primaria y la frecuencia nominal.

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 kiloamperes 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:

$$I_{TH} = \frac{MVA_{cc}}{\sqrt{3} \cdot kV}$$

Donde:

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 kiloamperes de pico, de acuerdo con la expresión

$$I_{din} = 1,8 \sqrt{2} I_{TH} = 2,54 I_{TH} = 200 I_n$$

Donde:

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

En la práctica, para construir transformadores resistentes a los cortocircuitos se requieren grandes secciones de cobre en los bobinados, lo que reduce el número de espiras del primario. Como la potencia de precisión varía sensiblemente con el cuadrado del número de amper - vueltas del primario, la precisión de los transformadores que pueden resistir cortocircuitos disminuye considerablemente. O sea, para tener un transformador con características elevadas de resistencia al cortocircuito, habría que limitar la precisión al mínimo.

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).**

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 (Um). 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 tabla 2 A de la **IEC 60185/95**.

Tensión Máxima Permanente Admisible de Servicio Um kV	Tensión Nominal Resistida a Frecuencia Industrial (Valor Eficaz) kV	Tensión Nominal Resistida a Impulso de Rayo (Valor Pico) kV
3,6	10	20
		40
7,2	20	40
		60
12	28	60
		75
17,5	38	75
		95
24	50	95
		125
36	70	145
		170
52	95	250
72,5	140	325
100	185	450
123	185	450
	230	550
145	230	550
	275	650
170	275	650

	325	750
245	395	950
	460	1050
Nota: para instalaciones expuestas es recomendable elegir los niveles de aislación más altos.		

Requerimientos de exactitud.

Los transformadores de corriente para medida son aquellos especialmente concebidos para alimentar equipos de medida, siendo una de sus características fundamentales el hecho de que deben ser exactos en las condiciones normales de servicio.

El grado de exactitud de un transformador de medida se mide por su **clase o precisión**, la cual nos indica en tanto por ciento el máximo error que se comete en la medida.

La norma IEC especifica que la clase o precisión debe mantenerse siempre y cuando la corriente que circula por el arrollamiento primario se encuentre por debajo del 120 % de la corriente primaria nominal debiendo también mantenerse dicha precisión cuando la carga conectada al secundario del transformador esté comprendida entre el 25 y el 100 % de la carga nominal.

Los grados de precisión se dividen en dos grupos: **clases de precisión normales** y **clases de precisión especiales**.

Los transformadores de clase de precisión especial son los que se utilizan para aquellos equipos de medida que garantizan su exactitud entre el 20 y el 120 % de la corriente nominal del secundario del transformador. El valor de corriente del secundario de estos transformadores es de 5 A.

Ambas clases de precisión quedan reflejadas en las tablas siguientes:

Clases de Precisión Normales de los Transformadores de Corriente de Medida.								
Clase de precisión	Error de relación ($\pm \varepsilon_i$) en % para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.				Error de fase ($\pm \delta_i$) en minutos para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1	3	1,5	0,1	0,1	180	90	60	60

Clases de Precisión Especiales de los Transformadores de Corriente de Medida de Gama Extendida. ($I_{2n} = 5 A$)										
Clase de precisión	Error de relación ($\pm \varepsilon_i$) en % para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.					Error de fase ($\pm \delta_i$) en minutos para los valores de la corriente en % de la corriente nominal.				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30

Los transformadores de corriente para protección son los destinados a alimentar relés de protección, por lo que deben garantizar una precisión suficiente para corrientes primarias que sean varias veces superiores a la corriente primaria nominal.

Para estos transformadores ya no se considera el mismo error que representa la clase de precisión en los transformadores de medida, sino que se considera el **error compuesto**, el cual se define como el valor eficaz de la diferencia integrada en un periodo entre los valores instantáneos de la corriente primaria y el producto de la relación de transformación nominal por los valores instantáneos de la corriente secundaria real.

Este valor se expresa en tanto por ciento y viene expresado por:

$$\Sigma_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (k_n \cdot I_s - I_p)^2 dt}$$

Donde: I_p es la corriente nominal primaria, I_s es la corriente secundaria real, k_n es la relación de transformación nominal y T es el periodo de integración. Si las intensidades I_p e I_s son senoidales, el error compuesto es la suma vectorial del error de relación y del error de fase quedando la fórmula:

$$\Sigma_c = \sqrt{\varepsilon_r^2 - \delta_r^2}$$

Definiéndose como **corriente límite de precisión nominal** aquella corriente primaria más elevada para la cual, estando el transformador con la carga de precisión, se asegura que no se sobrepasará el error compuesto.

A partir de este concepto de error compuesto, las clases de precisión para los transformadores de corriente para protección son las de la siguiente tabla.

Clases de Precisión Normales de los Transformadores de Corriente de Protección.			
Clase de precisión.	Error de relación ($\pm \varepsilon_r$) en % para la corriente nominal.	Error de fase ($\pm \delta_r$) en minutos para la corriente nominal.	Error compuesto en % para la corriente límite de precisión.
5 P	± 1	± 60	5
10 P	± 3	—	10

Por ejemplo, **10 P 30** significa que el transformador de protección presenta un error total compuesto del 10 por 100, a una corriente 30 veces mayor que la nominal.

Dada la diferencia entre los conceptos de precisión en los transformadores de corriente para medida y para protección, cuando se construyen transformadores de corriente con dos o más arrollamientos, se los hará con núcleos independientes, ya que las características de un núcleo de un transformador al que se le exige una precisión determinada para una corriente primaria que no supere el 120 % de la corriente nominal, no pueden ser las mismas que las de un núcleo de un transformador al que se le exige mantener una determinada precisión para valores de corriente primaria varias veces superior a la corriente nominal primaria.

Elección de un transformador de Corriente.

Es conveniente, para una correcta instalación de un transformador de corriente, un estudio detallado para la elección del mismo, del cual dependerá el funcionamiento y seguridad de la instalación. A título orientativo se recomienda seguir las siguientes pautas:

- **Tipo de instalación:** si es de interior o intemperie. Se deberá tener en cuenta la altitud para alturas superiores a **1.000** metros sobre el nivel del mar.
- **Nivel de aislamiento:** definido por tensión máxima permanente admisible de servicio U_m en kV
- **Relación de transformación nominal:** las relaciones de transformación nominal deberán ser normalizadas, tal y como quedan indicadas en la norma IEC. Se recomienda no seleccionar un transformador de corriente con una corriente primaria excesivamente elevada con respecto a la que le corresponda, dado que de ello depende que se mantenga la precisión del transformador. En caso de que sea necesario recurrir a un sobre dimensionamiento del valor de intensidad primaria, a la doble y a la triple relación y a la gama extendida en caso que sea necesario.
- **Clase de precisión:** se seleccionará la clase de precisión en función de la utilización que vaya a recibir el transformador. Las clases de precisión quedan reflejadas en las tablas dadas.
- **Potencia nominal:** según la carga a conectar en el secundario se adoptará uno de los valores de potencia de precisión especificados en la norma. Conviene no sobredimensionar excesivamente la potencia del transformador. Si el secundario tiene una carga insuficiente, se puede intercalar una resistencia para compensar.
- **Frecuencia nominal:** si no se especifica otra distinta, se tomará por defecto 50 Hz.
- **Número de secundarios:** si se desea realizar medida y protección a partir de un mismo transformador, serán necesarios tantos secundarios como usos se deseen obtener del mismo.
- **Resistencias a los esfuerzos térmicos y dinámicos:** vendrán determinados por los respectivos valores de intensidad límite térmica e intensidad límite dinámica. Conviene no sobredimensionar estos valores para no encarecer mucho el transformador.

Clasificación de Ensayos según IEC 60185/95

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

El ensayo de tipo es el efectuado sobre un transformador de cada tipo para demostrar que todos los transformadores construidos con la misma especificación cumplen con los requerimientos no cubiertos por los ensayos de rutina.

El ensayo de rutina se efectúa en forma individual sobre cada transformador.

Los ensayos especiales son aquellos acordados entre el fabricante y el cliente.

Ensayos de tipo.

Los siguientes deben ser efectuados e efectos de verificar el diseño.

- Corrientes de corta duración: I_{th} e I_{din}
- 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.

Todos los ensayos dieléctricos de tipo deben ser efectuados sobre el mismo transformador.

Después que los transformadores han sido sometidos a los ensayos dieléctricos de tipo deben ser sometidos a todos los ensayos de rutina.

Ensayos de rutina.

- Verificación de la identificación de los bornes terminales.
- Tensión aplicada a frecuencia industrial sobre el bobinado secundario.
- Tensión aplicada a frecuencia industrial entre secciones del bobinado secundario.
- Medida de la sobretensión secundaria intermitente a circuito abierto.
- Tensión aplicada a frecuencia industrial sobre el bobinado primario.
- Medida de descargas parciales.
- Determinación de errores.

Ensayos especiales.

- Tensión de impulso de rayo con onda cortada.
 - Medida de la capacidad y del factor de disipación dieléctrica (tangente δ)
 - Tensión de impulso de rayo repetitiva con onda cortada en el bobinado primario.
 - Pruebas mecánicas.
-

6.4.2. 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**.

Generalidades.

Un Transformador de Tensión Inductivo (TT) 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 TT 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 TT 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 $1 / \sqrt{3}$ veces la tensión compuesta.

La tensión nominal secundaria de un TT depende del país en el se utilice, pero en le República Argentina se ha normalizado en 100 V, 110 V, o en 200 V y 220 V para la aplicación en circuitos secundarios extensos, para transformadores usados entre fases.

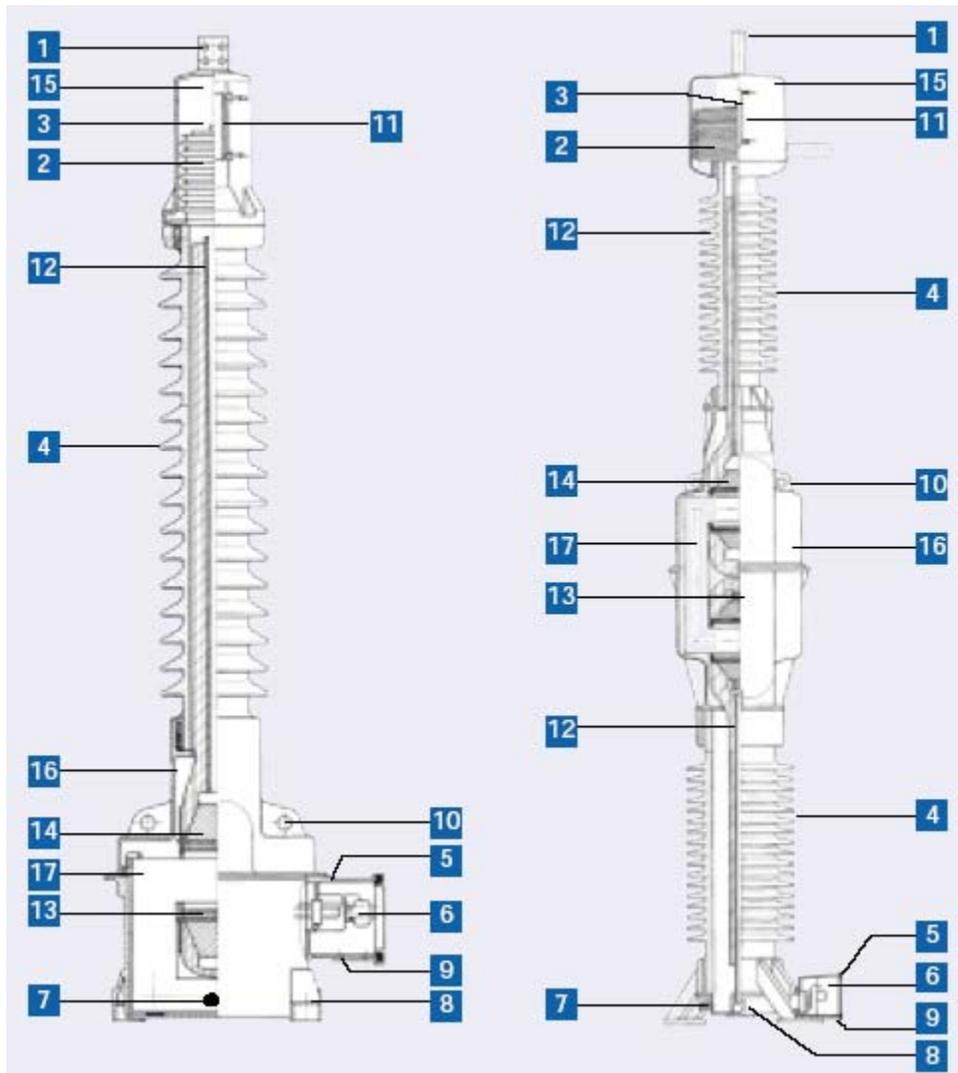
Para transformadores usados entre fase y tierra, las tensiones secundarias nominales son aquellas divididas por 1,73.

El tamaño de los TT está fundamentalmente determinado por la tensión del sistema y la aislación del arrollamiento primario a menudo excede en volumen al arrollamiento mismo. Un TT debe estar aislado para soportar sobretensiones, incluyendo tensiones de impulso. Si se debe lograr

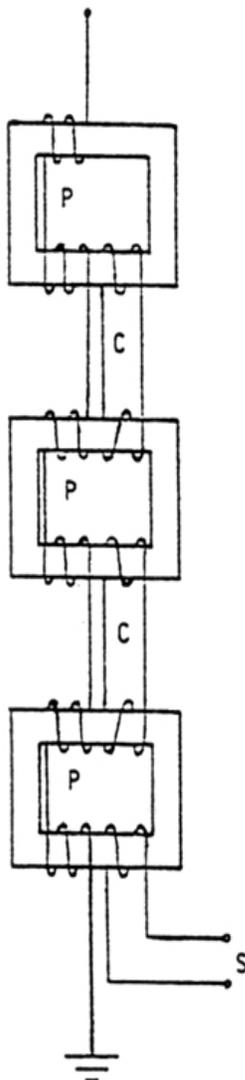
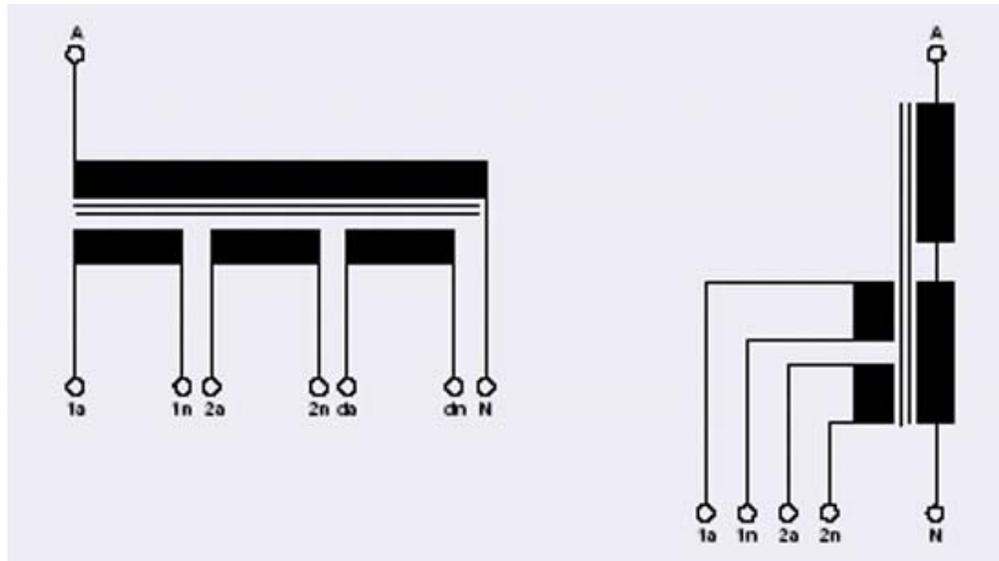
eso con un diseño compacto, la tensión debe estar distribuida uniformemente a través del arrollamiento, lo cual requiere una distribución uniforme de la capacidad del arrollamiento o la aplicación de apantallado electrostático.

Un TT 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 TT en cascada repartiendo la tensión primaria en varias etapas separadas.

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



- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1 Borne terminal primario | 10 Ojales para izaje |
| 2 Fuelle metálico de expansión | 11 Indicador nivel de aceite |
| 3 Tapón orificio llenado aceite | 12 Bushing interior |
| 4 Aislador de porcelana | 13 Bobinados secundarios |
| 5 Caja de bornes secundarios | 14 Bobinado primario |
| 6 Bornes secundarios | 15 Domo de aluminio |
| 7 Válvula drenaje aceite | 16 Tanque metálico de Al |
| 8 Terminal de tierra | 17 Núcleo magnético |
| 9 Placa de salida cables | - |



En la figura se muestra esquemáticamente la disposición de un TT en cascada, que en realidad está constituido por varios transformadores individuales cuyos arrollamientos primarios están conectados en serie.

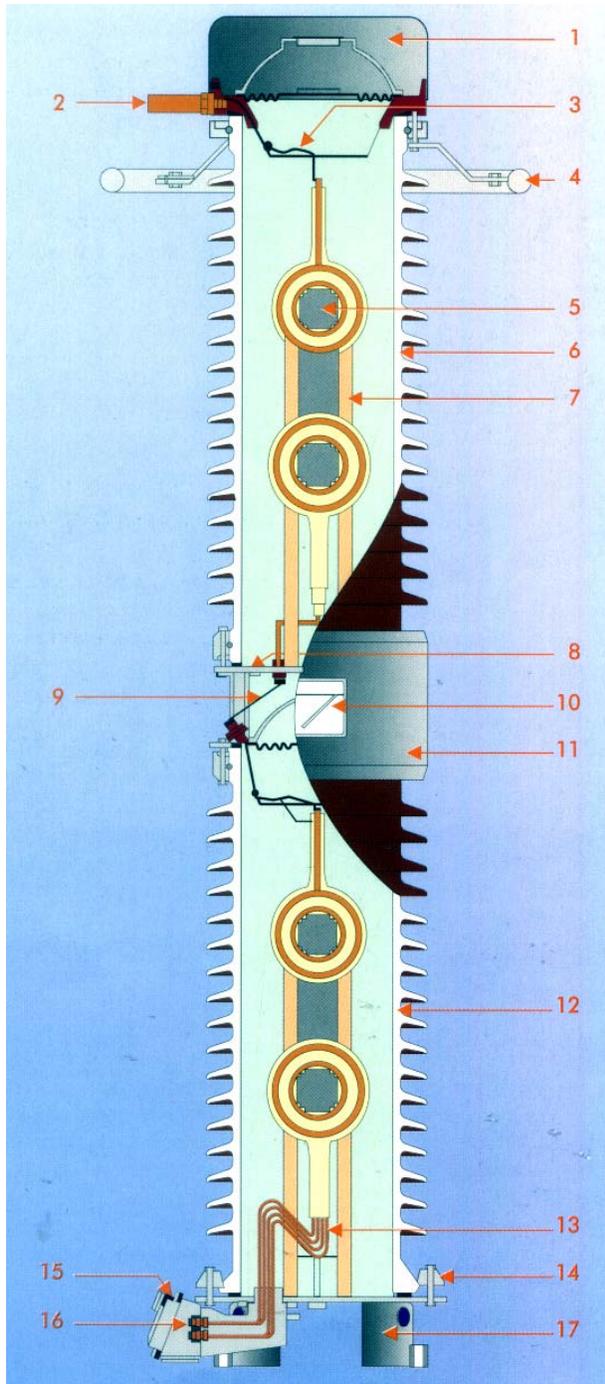
Cada núcleo magnético tiene el arrollamiento primario (P) repartido en dos lados opuestos, mientras que el arrollamiento secundario (S) consiste en un solo bobinado colocado únicamente en la última etapa.

Los arrollamientos de acoplamiento (C), conectados entre etapas proveen los circuitos para la transferencia de Amper - vueltas entre ellas y aseguran que la tensión se distribuya igualmente en los distintos arrollamientos primarios.

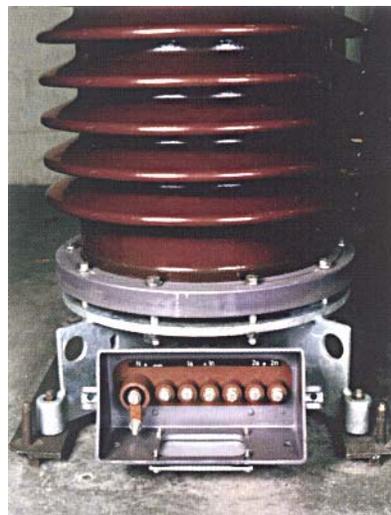
El potencial de los núcleos y de los arrollamientos de acoplamiento es fijado a valores predeterminados conectándolos a puntos seleccionados del primario. De ese modo, la aislación de cada arrollamiento sólo debe ser suficiente para la tensión desarrollada en aquel arrollamiento

La aislación entre etapas se consigue mediante el soporte del conjunto de los transformadores individuales, el cual debe también ser capaz de soportar la plena tensión primaria.

Como se verá más adelante los Transformadores de Tensión Capacitivos fueron desarrollados debido al alto costo de los Transformadores de Tensión Inductivos, principalmente para tensiones por encima de los 100 kV. Sin embargo la respuesta transitoria de aquellos es menos satisfactoria que la de estos últimos.



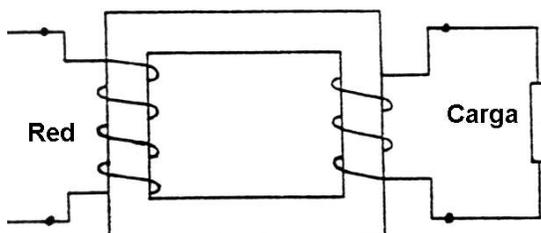
- 1 Tapa o domo
- 2 Borne terminal primario
- 3 Vinculo interior de alta tensión
- 4 Anillo equipotencial para atenuar efecto corona
- 5 Núcleos magnéticos y bobinados
- 6 Aislador porcelana superior
- 7 Barras aislantes que soportan los núcleos
- 8 Soporte metálico de la unidad superior
- 9 Conexiones de baja tensión entre las dos unidades
- 10 Indicador nivel de aceite
- 11 Envolverte de aluminio
- 12 Aislador porcelana inferior
- 13 Conexiones secundarias
- 14 Grampas de fijación del aislador inferior a la base
- 15 Caja de bornes secundarios
- 16 Bornes secundarios
- 17 Base metálica



Comportamiento estacionario.

En la figura se puede ver esquemáticamente la conexión de un TT a la red y a su carga. Si bien es cierto que esa forma de conexión es similar a la de un transformador de potencia, los requerimientos son totalmente distintos. En efecto, en un TT se plantea la necesidad que la tensión de salida, aplicada a la carga, sea una réplica de la tensión de entrada dentro de un rango especificado. Con esa finalidad, las caídas de tensión en los arrollamientos deben ser pequeñas y la densidad de flujo magnético en el núcleo debe ser establecida muy por debajo de la

densidad de saturación, de modo que la corriente de excitación sea baja y la impedancia de excitación sea sustancialmente constante dentro del rango de variación de la tensión primaria que corresponda a la variación esperada, incluyendo algún grado de sobretensión. Eso implica que la relación tamaño - carga de un TT es mucho mayor que en un transformador de potencia. Por otra parte, la relación corriente de excitación - corriente de carga también resulta mayor que en un transformador de potencia.



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 antirresonante 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 montados 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 $\sqrt{3}$, la tensión secundaria nominal es $110 / \sqrt{3}$ 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:

$$\text{Error de tensión \%} = \frac{k_n \cdot U_S - U_p}{U_p} \cdot 100$$

Donde: 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 Un 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 50 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. En las figuras a continuación se visualizan los diferentes casos.

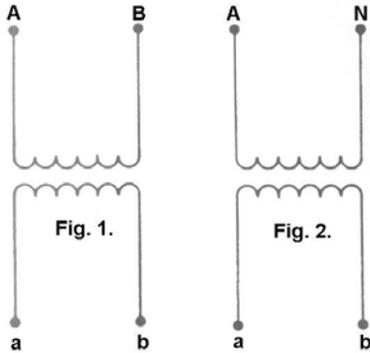


Fig. 1.- Transformador monofásico con bornes primarios totalmente aislados y un solo secundario.

Fig. 2. - Transformador monofásico con un borne primario neutro de aislación reducida y un solo secundario.

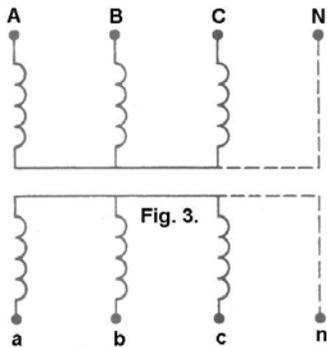


Fig. 3.- Transformador trifásico de un solo secundario.

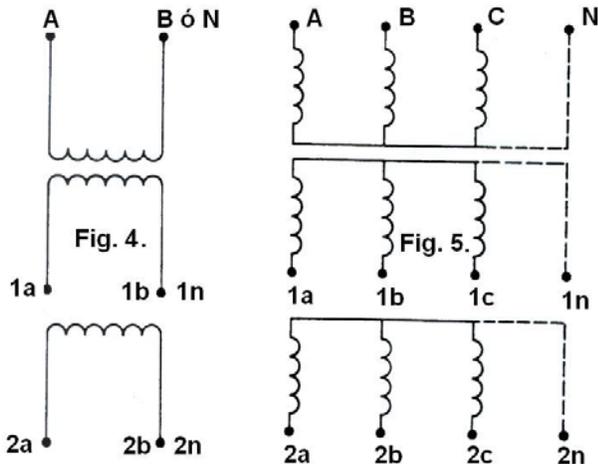


Fig. 4.- Transformador monofásico con dos secundarios.

Fig. 5.- Transformador trifásico con dos secundarios.

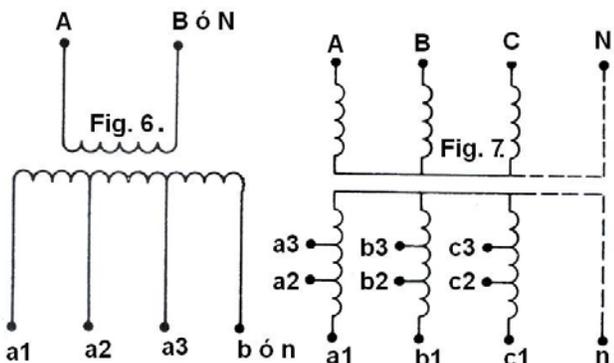


Fig. 6.- Transformador monofásico con un secundario de tomas múltiples.

Fig. 7.- Transformador trifásico con un secundario de tomas múltiples.

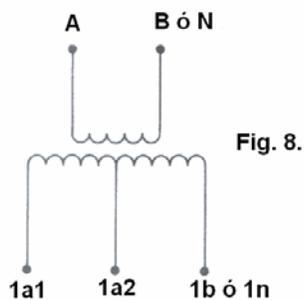


Fig. 8.- Transformador monofásico con dos secundarios de tomas múltiples.

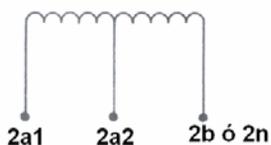


Fig. 9.- Transformador monofásico con un secundario de tensión residual.

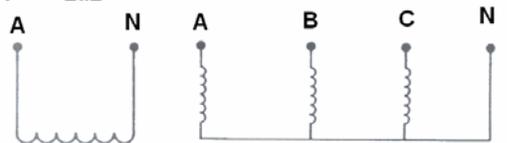
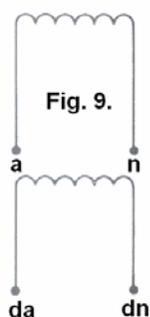


Fig. 10.- Transformador trifásico con un secundario de tensión residual.



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.

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 grado de exactitud de un transformador de medida se mide por su **clase o precisión**, la cual nos indica en tanto por ciento el máximo error 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, asimismo 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

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.

Límites de error de tensión y de ángulo de fase.

El error de tensión y de defasaje a la frecuencia nominal no debe superar los valores de la tabla V de la IEC.

Clases de Precisión de los Transformadores de Tensión.				
Clase de precisión	Límites de tensión	Error de tensión %	Angulo de error en minutos	Angulo de error en centirradianes
0,1	0,8 – 1,2 Un	± 0,1	± 5	± 0,15
0,2	0,8 – 1,2 Un	± 0,2	± 10	± 0,30
0,3	0,8 – 1,2 Un	± 0,3	± 20	± 0,60
1,0	0,8 – 1,2 Un	± 1	± 40	± 1,20
3,0	1 Un	± 3	----	----

Requerimientos adicionales para transformadores de tensión para protección.

Todos los TT destinados a protección deben cumplir con alguna de las clases de precisión definidas en la tabla anterior, y además deben ser de una de las clases de precisión definidas en el párrafo 30.1 de la IEC

Las clases de precisión normales de TT para protección son “3P” y “6P”, y los mismos límites de error de tensión y de defasaje son normalmente aplicables tanto al 5% de la Un como a la tensión correspondiente al factor de tensión nominal. A 2% de la Un, los límites de error son llevados al doble de aquellos válidos al 5% de la Un.

Clases de Precisión de los Transformadores de Tensión para Protección.			
Clase de precisión	Error de tensión %	Angulo de error en minutos	Angulo de error en centirradiantes
3P	± 3,0	± 120	± 3,5
6P	± 6,0	± 240	± 7,0

El error de tensión y de ángulo de fase a la frecuencia nominal no deben sobrepasar los valores de la tabla a 5% de la Un y al producto de la Un por el factor de tensión nominal (1,2 – 1,5 ó 1,9) y para toda carga comprendida entre el 25% y el 100% de la carga nominal con un factor de potencia 0,8 inductivo.

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.

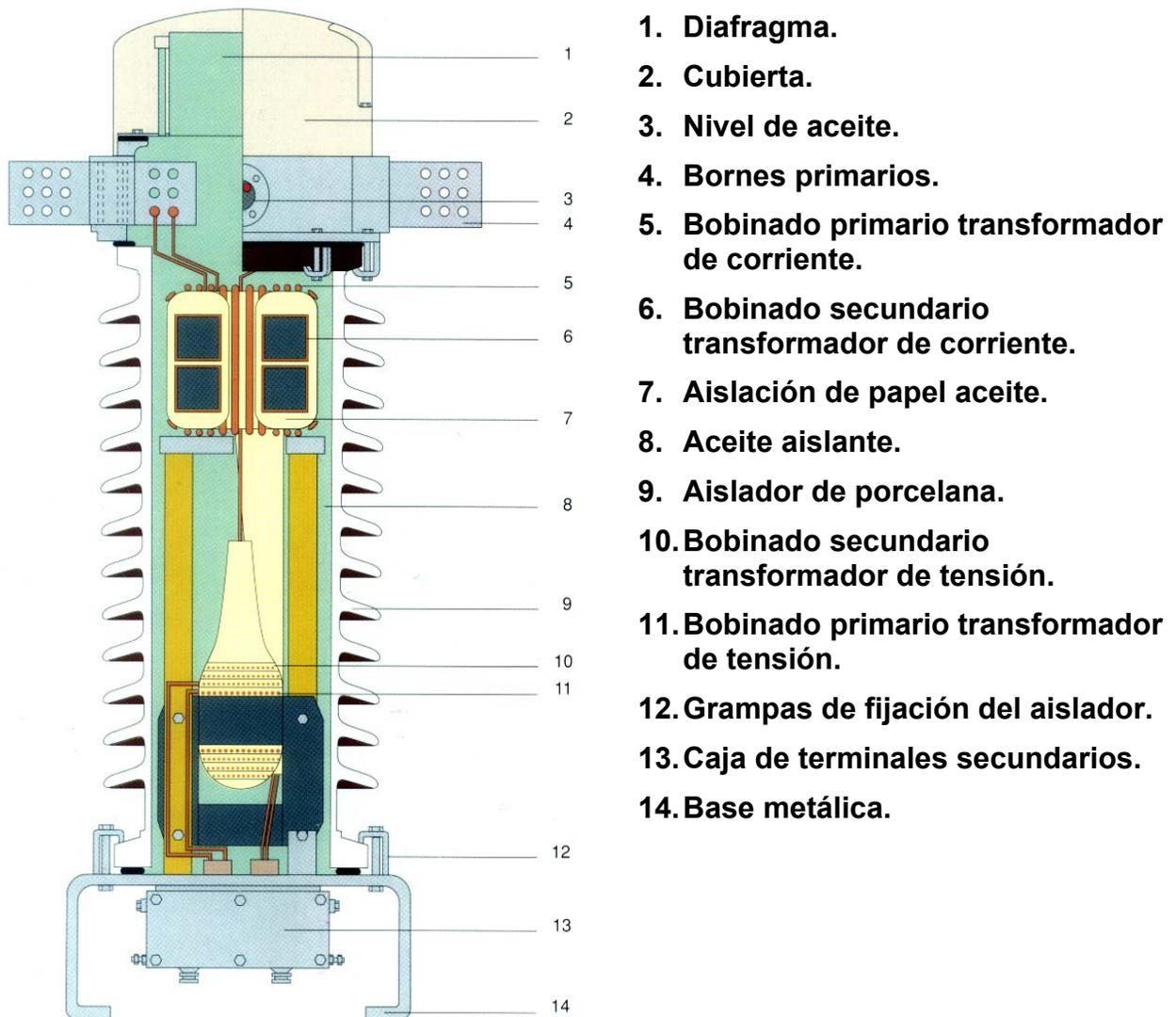
Ensayos especiales.

- Tensión de impulso de rayo con onda cortada.

6.4.3. 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 Alsthom



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.

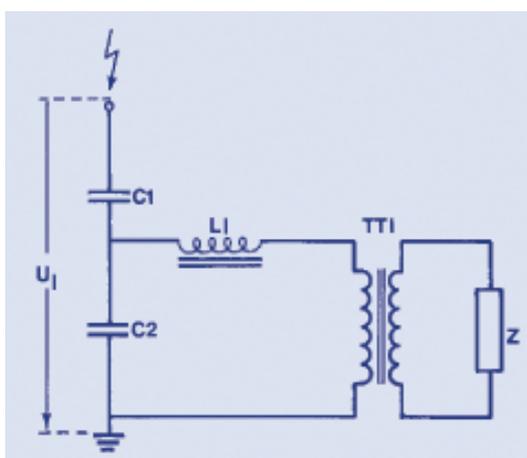
El conjunto está herméticamente sellado con un compensador metálico que absorbe las variaciones de volumen de aceite.

6.4.4. Transformadores de tensión capacitivos.

Los transformadores de tensión vistos hasta ahora basan su funcionamiento en la inducción de una tensión en bornes del arrollamiento secundario a partir de un campo magnético variable generado por el arrollamiento primario, es decir, son **transformadores inductivos**. Cuando se ha de trabajar con tensiones nominales elevadas, iguales o superiores a 220 kV se pueden y suelen utilizarse **transformadores de tensión capacitivos**.

Estos transformadores se componen básicamente de un divisor de tensión capacitivo consistente en varios condensadores conectados en serie, contenidos dentro de aisladores huecos de porcelana, con el fin de obtener una tensión intermedia. En este punto de acceso a la tensión intermedia del divisor de tensión se conecta un **transformador de tensión intermedia**, igual que uno inductivo, a través de una inductancia que compensa la reactancia capacitiva del divisor. El transformador puede tener 1, 2 ó 3 secundarios de utilización según los casos y modelos.

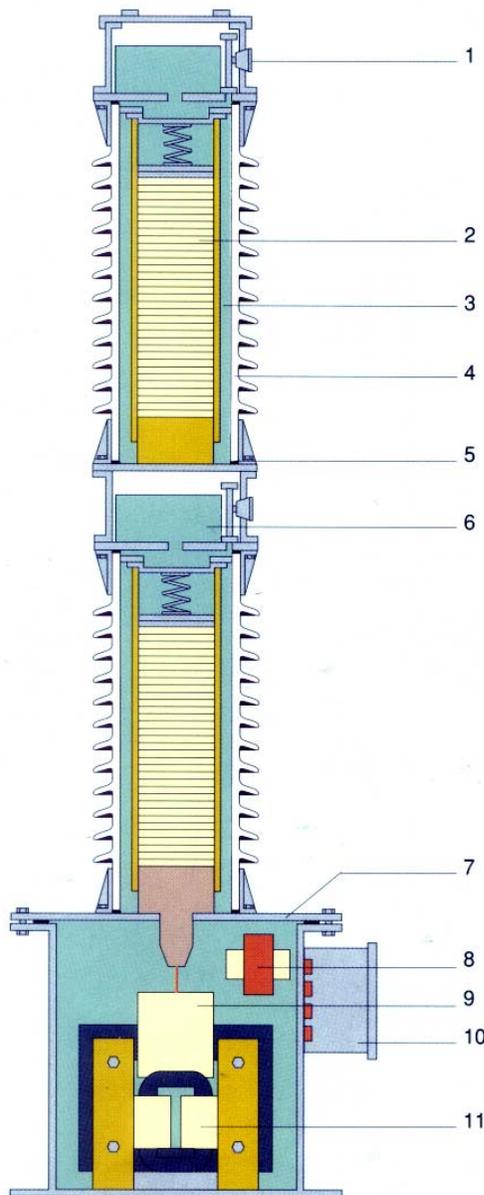
En la figura se puede apreciar un esquema básico de un transformador de tensión capacitivo: donde U_1 es la tensión en el lado primario, U_i tensión intermedia, U_2 tensión en el lado secundario, C_1 y C_2 condensadores del divisor de tensión, L_i inductancia de compensación, TT_i transformador de tensión intermedia, y Z la impedancia que representa la carga.



Este tipo de transformador se puede utilizar exactamente igual que un transformador de tensión inductivo, con la salvedad de que en este caso se presentan otros factores

que afectan a la precisión del mismo, como por ejemplo, variaciones de frecuencia, variaciones de temperatura y estabilidad en el tiempo. La respuesta de un transformador de tensión capacitivo en régimen transitorio no es tan rápida como la de un transformador inductivo, por lo que no se recomienda su utilización cuando las exigencias de las protecciones sean las de unas respuestas rápidas por parte del transformador de tensión.

Sin embargo, aparte de su utilización para medida y protección, los transformadores de tensión permiten utilizar la línea de alta tensión para comunicación y telemando dada su especial capacidad para la sintonización de ondas portadoras de alta frecuencia.



1. **Manómetro de presión de aceite.**
2. **Unidades condensadoras.**
3. **Aceite aislante.**
4. **Aislador de porcelana.**
5. **Sello.**
6. **Diafragma elástico para expansión de aceite.**
7. **Tanque.**
8. **Circuito de amortiguamiento contra efectos ferrosresonantes.**
9. **Transformador inductivo de media tensión.**
10. **Caja de terminales secundarios, N y terminales de alta frecuencia.**
11. **Inductancia serie.**



Borne de A.T. y manómetro.

Transformador capacitivo de tensión, marca GEC ALSTHOM, tipo CCV.

Estos transformadores permiten la medición de altas tensiones y la transmisión de ondas portadoras desde 30 a 500 kHz.

Trabajan simultáneamente como un transformador de tensión y un capacitor de acoplamiento de onda portadora.

Construcción.

El capacitor de alta tensión y el capacitor intermedio están constituidos por varios elementos capacitivos conectados en serie. Cada elemento está hecho de papel celulósico altamente purificado o papel – polipropileno y hojas de aluminio formando electrodos.

Los elementos son ensamblados para formar una unidad dentro del aislador de porcelana. Cada unidad es secada por temperatura y vacío, y luego impregnada con aceite dieléctrico seco y degasificado.

El sello del aceite es asegurado por juntas de goma sintética, las cuales no son afectadas por el aceite o la polución ambiente.

Un diafragma elástico, de acero inoxidable, permite la expansión del aceite dentro del aislador a una presión constante dentro del rango de variaciones de temperatura.

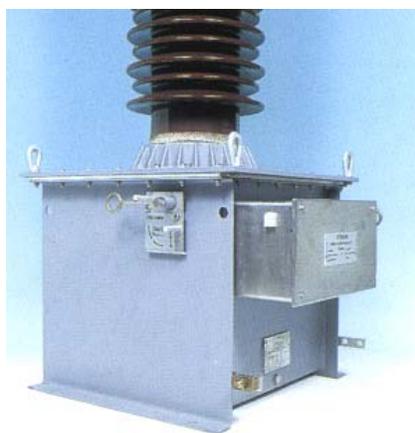
Los componentes electromagnéticos, que incluyen el transformador de media tensión y la inductancia en serie, están alojados en un tanque herméticamente sellado y lleno de aceite aislante.

Esta parte electromagnética está equipada con dispositivos que la protegen de sobretensiones y efectos ferro resonantes.

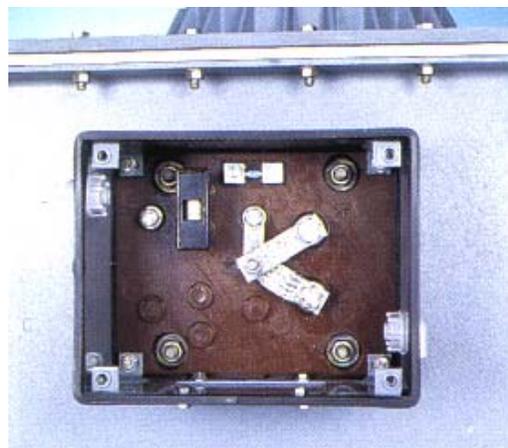
La caja de terminales de baja tensión está montada sobre un lateral del tanque o cuba.

Las conexiones están hechas sobre una placa de resina epoxy que contiene los terminales secundarios, **N**, los terminales de alta frecuencia (**HF**), los terminales de tierra y los porta fusibles y fusibles secundarios.

Accesorios opcionales como resistencia de calefacción, y equipamiento para onda portadora se instalan dentro de la misma caja de bornes terminales.



Tanque.

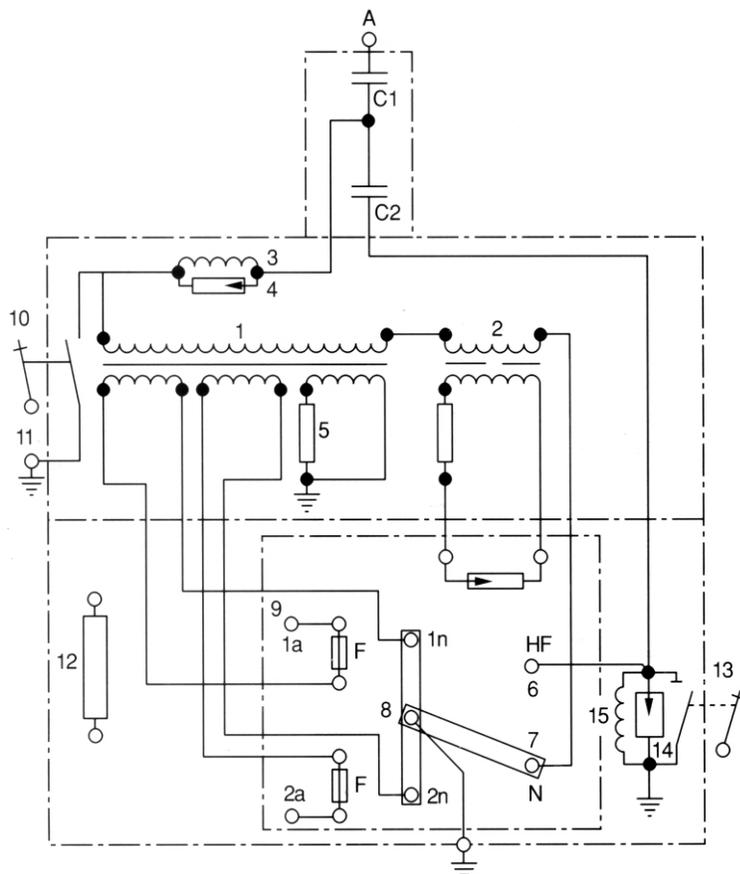


Caja de terminales de baja tensión.

El transformador de tensión capacitivo estará compuesto de uno o varias unidades capacitivas dependiendo del nivel de tensión donde prestara servicio.

El aislador es fijado al tanque por medio de una brida metálica la cual es adherida a la porcelana. Este tipo de montaje otorga una alta resistencia mecánica a los esfuerzos de sismicidad.

Circuito eléctrico.



Dónde:

- A:** Borne primario de A.T.
- C1:** Capacitor de A.T.
- C2:** Capacitor de M.T.
- 1.** Transformador de M.T.
- 2.** Inductancia de compensación.
- 3.** Inductancia de choque para la onda portadora.
- 4.** Descargador.
- 5.** Circuito amortiguador ferro resonante.
- 6.** Borne terminal de HF.
- 7.** Borne terminal de tierra N de A.T.
- 8.** Borne terminal de tierra secundario.
- 9.** Caja de bornes de baja tensión.
- 10.** Interruptor de tierra.
- 11.** Borne de tierra del tanque.
- 12.** Resistencia calefactora.

Fusibles (F) del arrollamiento secundario o interruptores miniatura.

Accesorios para portadora de HF

- 13.** Interruptor de tierra de HF.
- 14.** Descargador de sobretensión.
- 15.** Bobina.

6.4.5. Transformadores de instrumentos no convencionales.

El aumento de tensión en el transporte de energía hace que los niveles de aislamiento, seguridad y características mecánicas sean cada vez más exigentes.

Todo esto ha conducido a la búsqueda de nuevos modelos de transformadores de instrumentos que den una respuesta adecuada a los problemas planteados.

A diferencia de los transformadores convencionales, estos aparatos se basan generalmente en efectos ópticos o electromagnéticos de muy baja potencia para medir la corriente y la tensión, y llevan una electrónica encargada de transformar esas medidas en datos digitales (normalmente) o en señales analógicas de baja potencia ($\pm 5 \text{ V}$). Debido al avance en el desarrollo de los microprocesadores, hoy en día casi todos los equipos de medida y protección son digitales, por ello se puede enviar los datos de las medidas de una red eléctrica (corriente y tensión), mediante un determinado protocolo de comunicaciones.

Estos nuevos transformadores. tienen la ventaja principal del aislamiento entre la Alta Tensión y tierra, pues tan solo es necesario una fibra óptica por el interior de un aislador (normalmente se usan aisladores sintéticos), por donde viaja la información de la señal medida en la Alta Tensión. Después, una electrónica situada en la caseta de relés prepara toda la información para enviarla a los equipos de medida y protección. También en algunos casos. existe una electrónica en la Alta Tensión que transforma la señal medida en datos digitales para que sean transmitidos por la fibra óptica hasta la electrónica situada en la caseta de relés. Los transformadores electrónicos tienen un tamaño mucho menor que los convencionales. A continuación se exponen las principales alternativas tecnológicas que se están utilizando en los nuevos transformadores de instrumentos no convencionales.

Transformadores de corriente.

En los últimos años se han desarrollado alternativas válidas al transformador convencional, a través de una serie de metodologías diferentes de captación de corrientes.

Las principales son las siguientes:

- Transformadores ópticos que utilizan el efecto Faraday.
- Transformadores convencionales con salida óptica.
- Transformadores que utilizan anillos de Rogowsky.

Transformadores ópticos que utilizan el efecto Faraday.

El efecto Faraday consiste en la rotación del plano de polarización de la luz por la acción de un campo magnético. El ángulo de rotación dependerá de la intensidad del campo magnético y de la longitud que recorra la luz polarizada:

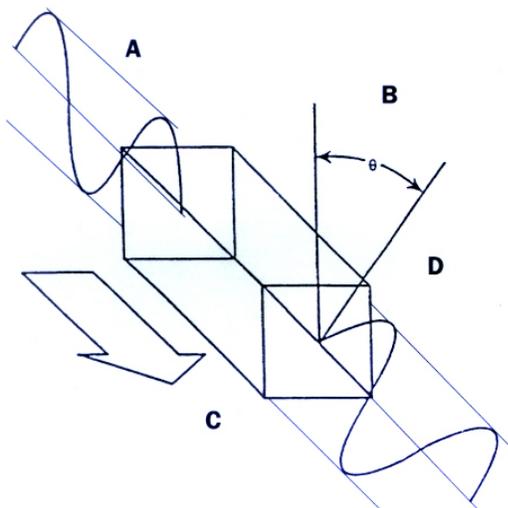
$$\theta_F = V \int H \cdot dl$$

Siendo: θ_F = ángulo de rotación.

V = constante de Verdet característica propia del material óptico y dependiente de la temperatura y de la frecuencia de la señal luminosa.

H = intensidad del campo magnético.

l = longitud recorrida por la señal luminosa bajo la acción de la inducción magnética.



Donde:

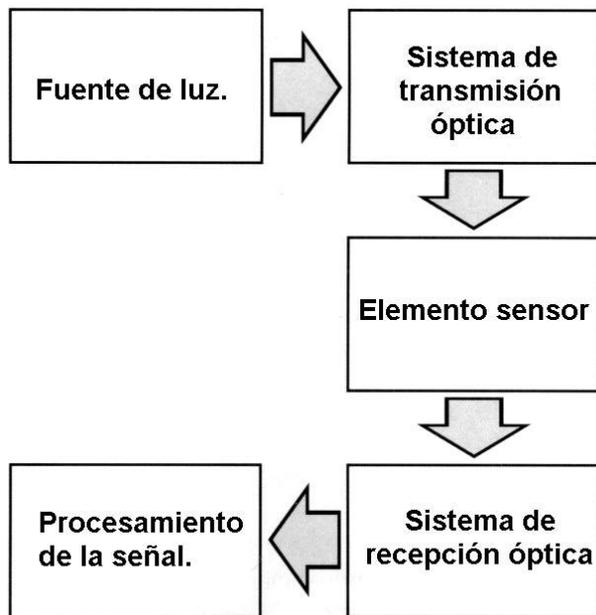
A: Luz polarizada incidente.

B: Rotación del plano de polarización.

C: Cristal óptico.

D: Luz polarizada transmitida.

El esquema de un captador óptico por efecto Faraday es el de la siguiente figura

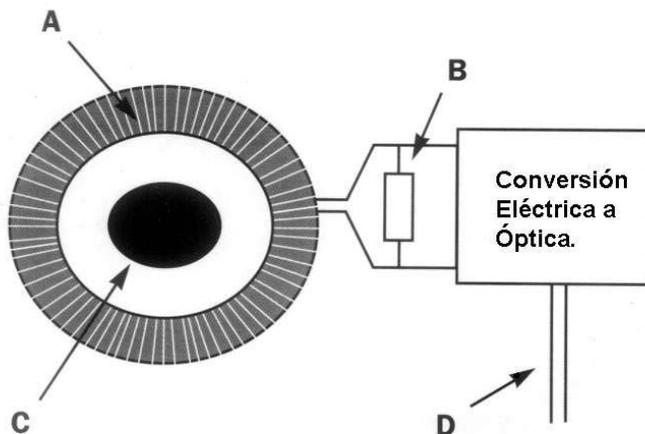


Si el elemento sensor se corresponde con un cristal óptico de constante de Verdet elevada (vidrio FLINT, etc.) el captador se denomina **extrínseco**. En el caso de utilizar fibra óptica como elemento sensor, el captador recibe el nombre de **intrínseco**. Uno de los aspectos más críticos de los sistemas de medida basados en el efecto Faraday es el control preciso de los ángulos de polarización de la luz incidente y la transmitida. Otro es la influencia en el estado de polarización de la luz de factores como la temperatura, reflexiones en las caras del cristal, influencia de las otras fases, y en el caso de la fibra óptica, de imperfecciones en la sección.

Transformadores convencionales con salida óptica.

Consiste en la utilización de un transformador de corriente tradicional al que se añade una salida óptica que sustituye a la salida por cables, de tal forma que se mantienen las ventajas tanto de la tecnología convencional como de las nuevas tecnologías ópticas.

El transformador de corriente que se usa con esta metodología puede diferir del diseño de un transformador de corriente normal para Alta Tensión. En primer lugar el transformador de corriente no necesita aislamiento de Alta Tensión. En segundo la carga es constante (y consume muy poca potencia) pudiéndose reducir las dimensiones del núcleo, e incluso utilizar núcleos de otros materiales (o de aire para obtener una buena respuesta en altas frecuencias).



Donde:

A : Transformador de corriente.

B : Carga.

C : Conductor circuito de alta tensión.

D : Fibra óptica.

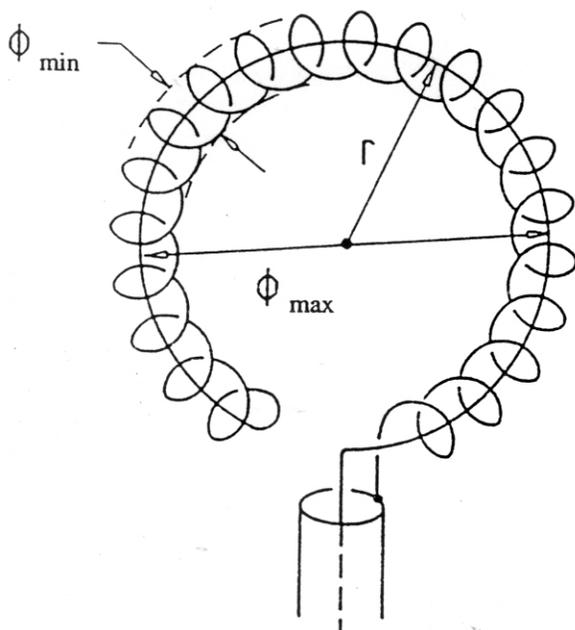
Se emplea una electrónica que produce una salida óptica digital, compuesta básicamente por un circuito **CMOS** de baja potencia y un diodo óptico. El diodo óptico realiza dos funciones: por una parte transmite los pulsos luminosos en que se codifica la medida efectuada, y por otra actúa como receptor de la energía luminosa que es enviada desde la parte de Baja Tensión, transformándola en energía eléctrica utilizada para alimentar al resto de la

Se emplea una electrónica que produce una salida óptica digital, compuesta básicamente por un circuito **CMOS** de baja potencia y un diodo óptico. El diodo óptico realiza dos funciones: por una parte transmite los pulsos luminosos en que se codifica la medida efectuada, y por otra actúa como receptor de la energía luminosa que es enviada desde la parte de Baja Tensión, transformándola en energía eléctrica utilizada para alimentar al resto de la

electrónica situada en la parte de alta tensión. Debido a que se utiliza una codificación digital para la transmisión de la señal la fibra óptica no tiene por qué ser de muy alta calidad. Mientras se pueda detectar las señales procedentes de la fibra la transmisión no degradará la precisión de la medida. El error está por lo tanto completamente determinado por el transductor. Sólo el transductor necesita ser calibrado. Si tiene lugar una avería, es posible sustituir cualquiera de los componentes del sistema (transductor, fibra y unidad de interface) sin recalibración.

Transformadores que utilizan anillos de Rogowsky.

El anillo de Rogowsky es un arrollamiento helicoidal flexible con hilo de retorno axial. Su funcionamiento es equivalente al de un transformador convencional pero con núcleo no magnético. Su sensibilidad a la inducción magnética es, por lo tanto, mucho menor. Esto se soluciona elevando el número de espiras utilizado en el secundario.



La tensión en bornes del anillo de Rogowsky es proporcional a la variación de la intensidad en el conductor

$$V_r = S \, dI/dt$$

Donde:

S = sensibilidad del anillo.

V_r = tensión inducida en bornes del anillo.

Aunque este método es conocido desde principios del siglo XX no ha tenido aplicación en sistemas eléctricos de medida debido principalmente a su alta impedancia de salida lo que lo hace susceptible al ruido, proporcionando una escasa potencia de salida. Además, para dar una réplica de la corriente primaria es necesario un

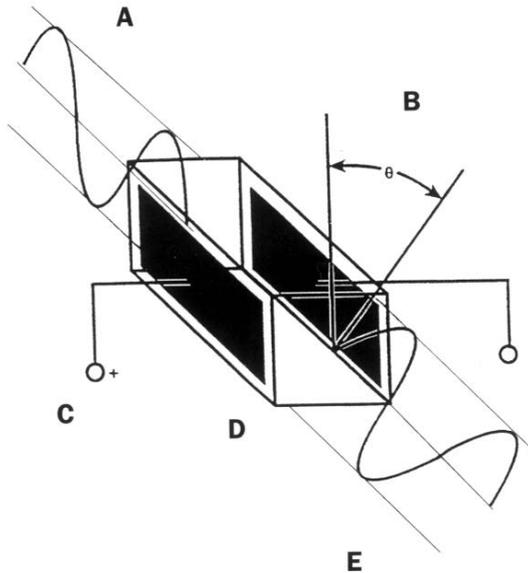
integrador. Sin embargo, el anillo de Rogowsky presenta la ventaja de ser enteramente lineal ya que no existe material magnético que saturar. Los problemas de ruido pueden ser corregidos mediante apantallamientos electromagnéticos adecuados. El anillo puede ser de tamaño reducido y tiene poco peso.

Transformadores de tensión.

Los transformadores de medida de tensión no convencionales desarrollados en los últimos años están basados en dos filosofías de diseño:

- Transformadores que utilizan el efecto Pockels.
- Transformadores que utilizan un divisor capacitivo y salida óptica.

Transformadores que utilizan el efecto Pockels.



El efecto Pockels consiste en la rotación del plano de polarización de la luz por la acción de un campo eléctrico. El ángulo de rotación viene representado por la siguiente expresión:

$$\varphi = (2\pi / \lambda_0) n_o^3 k v$$

Donde:

λ_0 : longitud de onda de la señal luminosa en el vacío.

n_o : índice de refracción normal de la luz.

K : constante electroóptica de proporcionalidad.

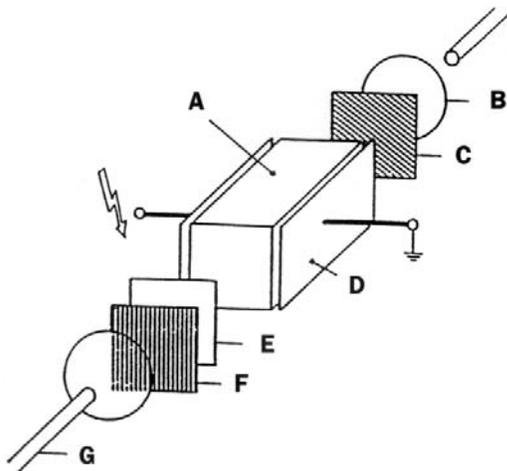
v : tensión eléctrica.

En la figura tenemos:

- A** : Luz polarizada incidente.
- B** : Rotación del plano del polarización.
- C** : Tensión de control.
- D** : Cristal óptico.
- E** : Luz polarizada transmitida.

El efecto Pockels se produce solamente en cristales desprovistos de centros de simetría tales como los óxidos de bismuto (Bi), de silicio (Si), de litio (Li), de tantalio (Ta),...

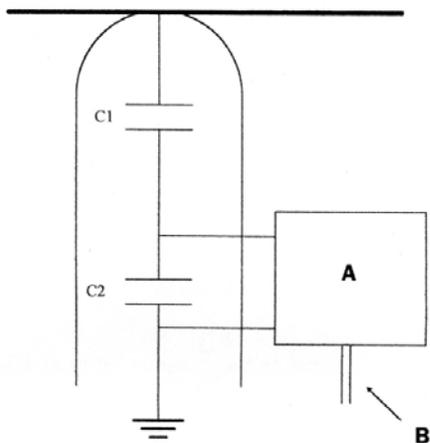
Además de la rareza de los materiales empleados, estos captadores presentan piezo electricidad e influencia de la temperatura que pueden distorsionar la medida.



La estructura de un captador por efecto Pockels es la siguiente:

- A** : Cristal óptico.
- B** : Lentes.
- C** : Polarizador.
- D** : Electrodo.
- E** : Retardador de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda.
- F** : Analizador.
- G** : Transmisión óptica.

Transformadores que utilizan un divisor capacitivo y salida óptica.



Esta metodología es la más sencilla y utilizada. Su principio se basa en el empleo de una serie de condensadores para dividir la tensión. El captador se sitúa en una zona de baja tensión proporcional a la de la línea.

Circuitos electrónicos se encargan de codificar esta señal de baja tensión en pulsos luminosos digitales para que la transmisión sea inmune a radiaciones electromagnéticas y el ruido.

Presentan como ventajas principales una alta linealidad y una buena respuesta de frecuencia.

Donde:

A : Conversión eléctrica a óptica.

B : Fibra óptica.

Sistemas Ópticos para Medición de Tensión y Corriente.

(Aplicación de los Efectos Faraday y Pockels)

El desarrollo de transductores ópticos pasivos utilizados como sensores de voltaje y corriente en aplicaciones de medición y protección en alta tensión ha evolucionado rápidamente en los últimos años. Sistemas de medición y protección basados en esta tecnología han sido instalados en sistemas eléctricos desde 115 hasta 550 kV en los Estados Unidos, Canadá, Alemania y Chile. Actualmente las compañías suministradoras de energía eléctrica pueden aprovechar las ventajas ofrecidas por esta tecnología. Sus dimensiones compactas, menor peso, precisión en un rango amplio ofrecen una alternativa atractiva en el diseño de subestaciones modernas.

El primer sistema de medición de corriente basado en un **Transductor Magneto - Óptico de Corriente (MOCT)** fue instalado en 1986 en la compañía Tennessee Valley Authority, en los EE.UU. El MOCT es ahora una solución viable y disponible comercialmente para instalaciones de medición de corriente para aplicaciones en alta tensión hasta 765 kV.

En 1995, el primer sistema de medición basado en un Transductor Electro - Óptico de Tensión (**EOVT**) fue manufacturado y suministrado para su instalación en el campo. El rápido desarrollo del EOVT en los pasados años lo ha convertido en una solución atractiva para los requerimientos de medición de voltajes en aplicaciones de alta tensión. En 1996, las tecnologías del MOCT y el EOVT fueron combinadas en una Unidad Óptica de Medición (**OMU**) monofásica. Esta unidad proporciona una nueva solución para medición combinada de corriente y tensión.

Los procesos de desregulación de la industria eléctrica que están en marcha en varios países del mundo, han hecho necesaria la adición de instalaciones de medición, con el fin de posibilitar la facturación de intercambios de energía en puntos de interconexión y generación.

La tecnología óptica de medición de voltaje y corriente ofrece ventajas de tamaño, peso y funcionamiento con respecto a los transformadores convencionales

El MOCT basa su operación en el efecto de Faraday.



La presencia de un campo magnético modula la intensidad de un haz de luz polarizada, cuando éste se propaga a través de un material ópticamente activo. Dependiendo del material seleccionado, es necesario corregir la señal, considerando el rango lineal de este efecto y las variaciones introducidas por la temperatura. En aplicaciones de medida, el MOCT satisface y excede la clase de precisión **0,2** según la norma **IEC 60185** para un amplio rango de corrientes desde **5 A** hasta **4.000 A** como equipo estándar. Para aplicaciones de protección, se pueden obtener corrientes de falla típicas de hasta 100 kA linealmente.

En aplicaciones simultaneas de medida y protección las corrientes nominales de falla será especificada como un múltiplo, típicamente 60, de la corriente nominal. La Figura 1 muestra la operación del sensor óptico del MOCT el cual es un sensor pasivo. La luz es emitida por un diodo emisor de luz (LED) en el módulo electrónico y transmitida al sensor a través de un cable de fibra óptica. La luz se polariza a la entrada del sensor y su intensidad es modulada por el campo magnético al propagarse en una trayectoria cerrada alrededor del conductor. A continuación, la luz retorna al módulo electrónico, donde la intensidad de luz modulada es procesada para generar una señal de salida de tensión o corriente analógica, proporcional a la corriente que pasa a través del sensor.

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE ÓPTICO ABB

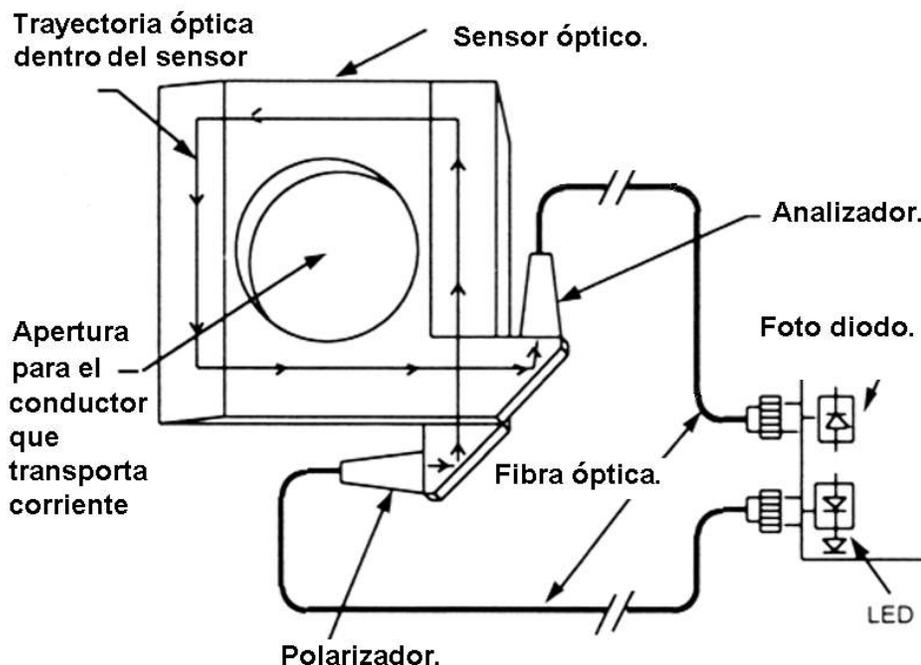
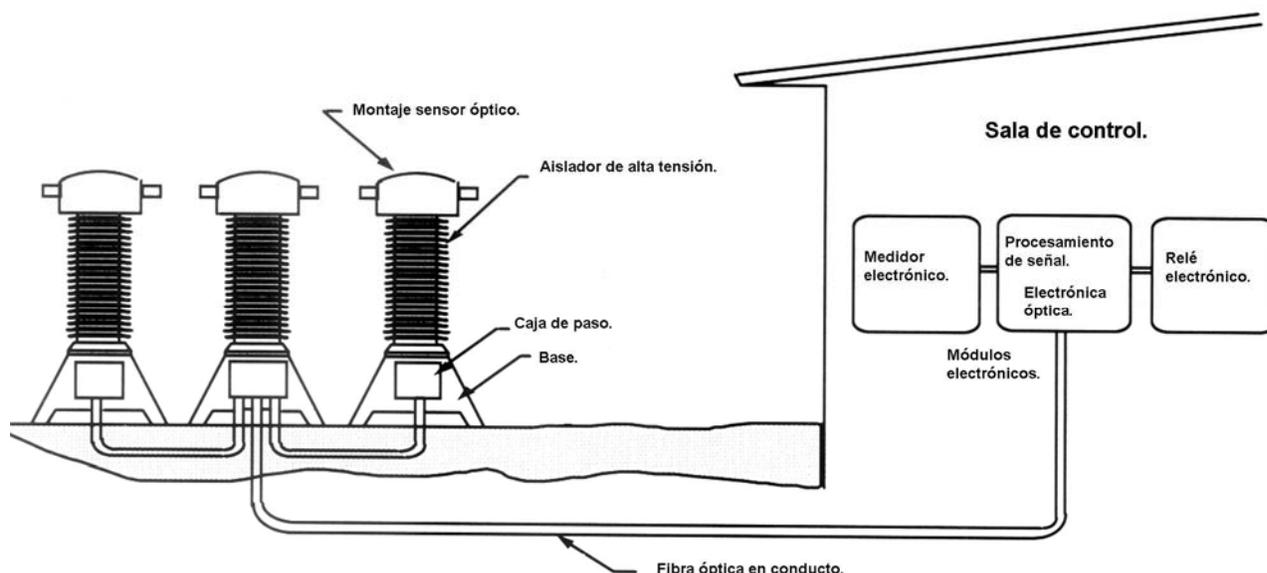


Figura 1

Figura 2



La Figura 2 muestra el arreglo básico del sistema MOCT en una estación. El sistema completo se compone de los sensores ópticos localizados del lado de alta tensión, aisladores de material compuesto (caucho de silicona) que soportan al sensor óptico y proporcionan una transición para el cable de fibra óptica entre el potencial de la línea y tierra, además de un cable de fibra óptica que transmite la luz hasta el cuarto de control de la estación, donde se localiza el módulo electrónico.

El uso de una fibra óptica multimodo entre el sensor y el módulo electrónico permite transmitir la señal a mayores distancias. El cable se aloja en conductos o conduits.

Las primeras versiones del sistema **MOCT** proporcionaban una señal analógica de salida de bajo voltaje. Esta señal es una representación exacta de la corriente fluyendo a través de las barras de la estación.

El sistema MOCT puede satisfacer necesidades de detección de corriente para niveles de medición o protección en una gran variedad de aplicaciones. Beneficios importantes del sistema MOCT son:

Rangos amplios para medición de corrientes desde un nivel de 4.000 amperios hasta menos de 5 amperios.

Precisión de medición **IEC** clase 0,2 sobre el rango completo de medición.

Reproducción precisa de la forma de onda de corriente hasta 100 kA efectivos.

No hay requerimientos de aceite o gas en el sistema de aislamiento.

Mayor seguridad sin mecanismos que puedan causar fallas o secundarios abiertos.

Diseño mas compacto y liviano que los equipos tradicionales con aislamiento en base a aceite o SF6.

Aislamiento efectivo de medidores y relevadores electrónicos de los efectos de sobretensiones generadas por descargas atmosféricas.

Debido a que el equipo representa una carga cero, puede alimentar múltiples medidores y relevadores.

Evita problemas de ferro resonancia asociados con equipos cuya construcción incluye un núcleo magnético saturable.

Por ser ligero, el MOCT puede adaptarse a una gran variedad de diferentes posiciones de montaje, ya sea invertido, horizontal o en ángulo.

El Transductor Opto Eléctrico de Tensión EOVT opera usando una variación del efecto electro óptico de **Pockels** denominado **Celda de Cuadratura de Pockels**. Este efecto de Pockels es el nombre del principio físico que describe como un campo eléctrico puede modular el estado de polarización de la luz a medida que esta pasa a través de un material transparente.

La configuración usada por el EOVT puede ser descrita como dos celdas longitudinales de Pockels dentro del mismo cristal. Cada celda representa un plano óptico por el cual se propaga un haz de luz polarizado, la celda de cuadratura de Pockels se muestra en la Figura 3. El haz de luz pasa a través de un polarizador, luego el haz se divide en dos. Un haz pasa por una placa de onda que produce un desfase de $+45^\circ$ mientras que el otro haz pasa por una placa de onda que produce un desfase de -45° . Como consecuencia cada haz de luz queda desfasado con respecto al otro en 90° y se dice que ambas señales de luz están en cuadratura. Si se aplica un voltaje entre los extremos del cristal, el campo eléctrico presente en el cristal produce una modulación en la frecuencia de la luz. Cuando la luz se ha propagado de un extremo a otro del cristal, dicha modulación representará la integral de la intensidad del campo eléctrico, es decir, la tensión aplicada al cristal. La tensión aplicada se reconstruye digitalmente a partir de estas dos señales en cuadratura. Esto se hace por medio de un procesador digital que considera el número de ciclos de la señal y reconstruye la forma de la tensión utilizando porciones de la señales que son una representación lineal de la tensión senoidal aplicada.

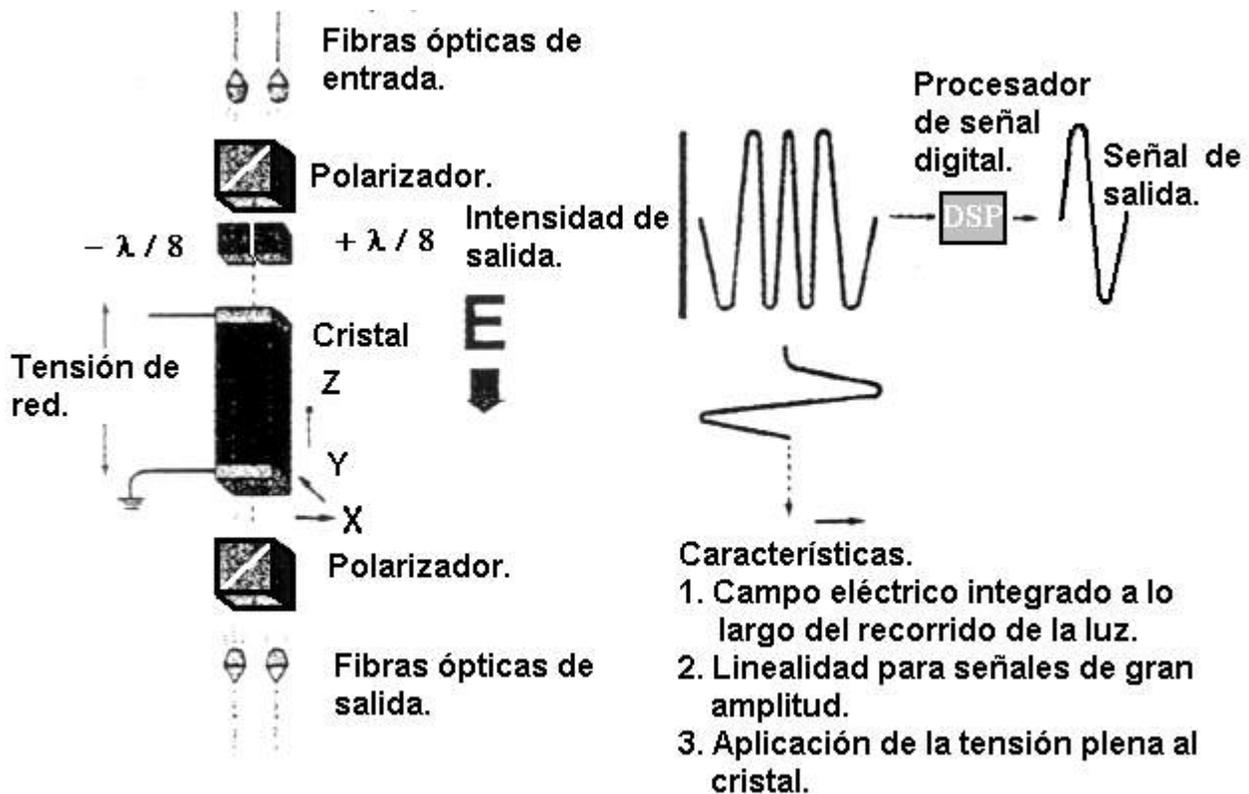


Figura 3

En resumen, el sensor electro óptico reproduce la forma de la onda de tensión y mide la tensión al integrar el campo eléctrico a lo largo del camino de la señal óptica. El EOVT no necesita de un divisor de tensión, por lo que su precisión no es afectada por la presencia de objetos metálicos como en el caso de divisores capacitivos tradicionales. La Figura 4 muestra el diagrama completo del montaje óptico usando el concepto de cuadratura de la celda de Pockels. En un extremo del cristal el haz de luz es reflejado de regreso a través del cristal por medio de un prisma y es recogido en el otro extremo. Esto permite localizar las fibras y elementos ópticos en el extremo a tierra del EOVT, facilitando el montaje óptico. Este arreglo de doble trayectoria resulta una modulación óptica doble como la celda tradicional de Pockels.

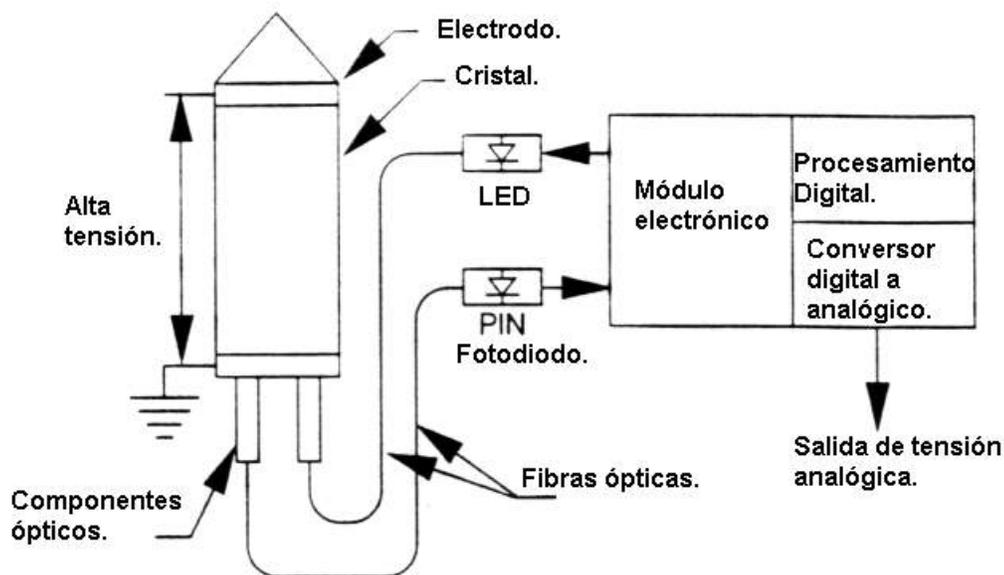


Figura 4

El módulo electrónico del **EOVT** provee la luz al cristal por medio de un diodo emisor de luz (LED) y recibe la luz modulada a través de un fotodiodo **PIN**. Dicho módulo consiste de dos unidades de procesamiento, una analógica y la otra digital y un convertidor digital a analógico (D/A) para producir la señal de salida. El módulo es acoplado al cristal a través de fibras ópticas. Los electrodos son usados para aplicar la tensión de línea a través del cristal que es bastante largo para soportar la tensión de línea plena. El módulo electrónico del EOVT proporciona una tensión nominal de salida de 120 Vca en proporción a la tensión de línea a tierra aplicada a través del sensor. La precisión de medición excede la Clase 0.3 de acuerdo a la norma **ANSI C57** y la clase 0.2 de acuerdo **IEC 60186** con una cargabilidad de 75 VA. Esta tensión nominal de salida estándar le permite al EOVT operar con medidores y relevadores electrónicos.

Los sensores pasivos del EOVT están localizados entre el potencial de línea y tierra, contenidos en el interior de los aisladores huecos de material compuesto (hule de silicona) El volumen interior está aislado en un ambiente presurizado en **SF₆** que provee la rigidez dieléctrica necesaria para la tensión de línea a tierra.

El sistema tipo **OMU** fue desarrollado para proveer un aparato de medición óptico combinado pasivo de tensión y corriente, el cual pueda ser conectado a medidores y protecciones en estaciones de alta tensión.

El OMU combina los dos sensores pasivos vistos el MOCT y el EOVT.



El elemento sensor óptico de corriente MOCT es montado en la parte superior del aislador de alta tensión en una caja de protección, mientras que el sensor óptico de tensión se encuentra alojado en un ambiente sellado relleno de SF6. Las conexiones entre los sensores MOCT y EOVT en el OMU y los módulos electrónicos en la sala control son vía fibra óptica.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Transformadores. Enrique Ras. Marcombo. 1994.
2. Medidas eléctricas. Enciclopedia CEAC.
3. Diseño de subestaciones eléctricas. José Raúl Martín. Edit. Mc Graw – Hill.

FOLLETOS TÉCNICOS:

1. EMFC Inductive Voltage Transformers. ABB.
 2. Capacitor Voltage Transformers type CPA and CPB. ABB
 3. SF6 high voltage outdoor current transformers TG-TG/E. ABB.
 4. MOCT Optical Current Transducer System. ABB.
 5. Type OMU Optical Metering Unit. ABB.
 6. Transformadores de tensión capacitivos desde 36 kV hasta 525 kV. Artech SA.
 7. Transformadores combinados servicio intemperie desde 36 kV hasta 123 kV. Artech SA.
 8. Ensayos sobre transformadores de medida. Artech SA.
 9. Transformadores de intensidad servicio intemperie desde 24 kV hasta 765 kV. Artech SA.
 10. Transformadores de medida servicio interior. Artech SA.
 11. Transformadores de medida servicio exterior. Artech SA.
 12. Transformadores de tensión inductivos desde 17,5 kV hasta 420 kV. Artech SA.
 13. Transformadores de medida no convencionales. Artech SA:
 14. Transformadores de corriente Serie QDR 72 a 245 kV. ALSTOM.
 15. Inductive Voltage Transformers Serie UEV, UEX, UEZ 123 to 765 kV. ALSTOM.
 16. Transformadores de corriente Serie CTH 72,5 a 765 kV. ALSTOM.
 17. Inductive Voltage Transformers UXT 72 to 145 kV. ALSTOM.
 18. Transformadores de corriente tipo IH. ALSTOM-SAVOISIENNE.
 19. Capacitor Voltage Transformers. HAEFELY-TRENCH.
 20. SF6-insulated Instrument Transformers. HAEFELY-TRENCH.
-