

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA Y LA
DESCRIPCIÓN DE SUS ACCESORIOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

OSWALDO, PRADO CERDA

PROMOCIÓN

2003-II

LIMA – PERÚ

2008

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA Y
LA DESCRIPCION DE SUS ACCESORIOS**

Dedicado:

Al apoyo incondicional de mi familia y en especial la persona, quien acompaña mis sueños y anhelos, mi querida esposa María Luisa y a mi pequeñín.

SUMARIO

En el presente trabajo se definirán las especificaciones del transformador de Potencia, características principales, descripción de sus accesorios, se explicaran las principales funciones de cada accesorio y las recomendaciones a los usuarios de transformadores para su optimo aplicación como ventajas y desventajas de las mismas finalmente las pruebas eléctricas de campo y conclusiones.

En el capitulo I se define temas de potencias y tensiones nominales, además las normas de fabricación que se aplicaran para la fabricaron y selección de accesorios.

En el capitulo II, se define partes del transformador desde la construcción interior y toda la selección de los accesorios como pasataps, conmutadores, radiadores, etc. es mas se selecciona el tipo de acabado de pintura para la capa exterior ya sea RAL 7032, 7038, etc.

El en capitulo III, en este capitulo se describe a todos los accesorios que el transformador debe llevar para el funcionamiento correcto y las protección necesarias como alarmas y disparos, además las aplicaciones y funcionalidades de estos accesorios para su operaci0on optimo durante la energización de los transformadores de potencia.

En el capitulo IV, se describe consideraciones para diseño de transformadores como perdidas y funcionalidad en aspectos de operación.

En el capitulo V, en este punto es la importancia de la pruebas de fabrica y pruebas en situ, se describe que tipo de pruebas es posible realizar en situ y que pruebas en fabrica, para realizar una comparación de valores por causa de algunos movimientos durante el transporte, finalmente se realiza la entrega al cliente o usuarios para su puesta en servicio final.

ÍNDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
CARACTERISTICAS GENERALES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA	
1.1 Principales características de los transformadores de Potencia.	3
1.1.1 Según el número de Fases	3
a) Transformadores Monofasicos de Potencia	3
b) Transformadores Trifásicos de Potencia	4
1.1.2 Valores nominales	5
a) Potencia Nominal	5
b) Tensión Nominal	6
c) Relación de Transformación Nominal	6
d) Frecuencia Nominal.	7
e) Corriente Nominal.	7
1.2 Normas de fabricación	7
1.2.1 Normas IEC	7
1.2.2 Normas ANSI	8
1.2.3 Normas IEEE	8
1.2.4 Normas NEMA	8
1.2.5 Normas ASTM	8
CAPITULO II	
CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL TRASNFOMADOR DE POTENCIA A FABRICAR	
2.1 Requerimiento de diseño y construcción	10
2.1.1 Núcleo	10

2.1.2 Devanados	13
2.1.3 Arrollamientos	15
2.1.4 Aisladores Pasatapas o Bushing	16
2.1.5 Tanque y acoplamientos	18
2.1.6 Equipo de enfriamiento	19
2.1.7 Sistema de conservación de Aceite	21
2.1.8 Conmutadores	21
2.1.9 Radiadores	23
2.1.10 Soporte de Pararrayos	23
2.2. Clasificación de la Pintura	23
a) Pintura Interna	24
b) Pintura Externa	24

CAPITULO III

SELECCION DE LOS ACCESORIOS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

3.1. Selección y aplicación de los accesorios al transformador	25
3.1.1 Compensador elástico	25
3.1.2 Pasatapas o Bushing AT, MT y BT	26
3.1.3 Conmutador OLTC y NLTC	29
3.1.4 Tablero de ventiladores	36
3.1.5 Ventiladores	38
3.1.6 Válvulas en el Transformador	39
3.1.7 Relé presión súbita	43
3.1.8 Válvula de sobrepresion	44
3.1.9 Monitor de temperatura	45
3.1.10 Regulador de tensión	46
3.1.11 Indicador de nivel radial y axial	47
3.1.12 Termómetros	48
3.1.13 Rele buchholz	49
3.1.14 Detector de Humedad y Gases	50
3.1.15 Relé de flujo direccional	53
3.1.16 Filtro silicagel	55

3.1.17 PT100 combi wel	55
3.1.18 Ibox	57
3.1.19 Unidad Terminal Remota (RTU)	58
3.1.20 Transformadores de corriente Medida y Protección	60

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

4.1. Características de diseño	62
4.1.1 Condiciones ambientales	62
4.1.2 Elevación de temperatura	62
4.1.3 Nivel Promedio de sonido audible (DB)	63
4.1.4 Impedancia	63
4.1.5 Pérdidas en Transformadores	63
4.1.6 Pérdidas en vacío P_o	64
4.1.7 Pérdidas bajo carga P_c	65
4.1.8 Capacidad de sobrecarga	65
4.1.9 Sobretensión	66
4.1.10 Aceite aislante	67
4.2 Pruebas funcionales de los accesorios	69
4.2.1 Válvula de seguridad Disparo	69
4.2.2 Relé Buchholz Alarma y Disparo	70
4.2.3 Funcionamiento de ventiladores (ONAF)	71
4.2.4 Accionamiento Conmutador OLTC y NTLC	71

CAPITULO V

PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

5.1. Relación de las pruebas Eléctricas de Rutina	72
5.1.1 Resistencia de Devanados	72
5.1.2 Relación de transformación, polaridad y grupo vectorial del Transformador	73
5.1.3 Relación de transformación, polaridad y curva de saturación de los TC's	74
5.1.4 Perdidas en vacío y corriente de excitación	74

5.1.5 Perdidas en carga y tensión de cortocircuito	75
5.1.6 Tensión Aplicada	76
5.1.7 Tensión Inducida	77
5.1.8 Impulso Atmosférico	77
5.1.9 Tangente delta de los Pasatapas y del Transformador	80
5.2. Relación de las pruebas Eléctricas de Diseño y Especiales	81
5.2.1 Impulso Atmosférico	81
5.2.2 Calentamiento o elevación de temperatura	81
5.2.3 Nivel de Ruido	82
5.2.4 Impulso de maniobra	83
5.2.5 Capacitancia y Tangente delta	84
5.2.6 Resistencia de Aislamiento	84
5.3. Relación de las pruebas de campo	85
5.3.1 Resistencia de Devanados	85
5.3.2 Relación de transformación, polaridad y grupo vectorial del Transformador	85
5.3.3 Relación de transformación, polaridad y curva de saturación de los TC's	85
5.3.4 Tangente delta de los Pasatapas y Transformador	85
5.3.5 Prueba de Barrido de frecuencia SFRA	85
5.3.6 Descripción de traslado, montaje y puesta en servicio	86
CONCLUSIONES	92
ANEXOS	94
BIBLIOGRAFÍA	109

PROLOGO

En estos últimos años la tendencia en la demanda de Transformadores de Potencia dentro del mercado peruano se realiza de manera ascendente debido al crecimiento poblacional, industrial, cementeras y mineras a nivel regional, en vista que la fabricación nacional no es abastecida a las grandes demandas es necesario la importación constituyendo un 80% de los transformadores que se suministra del exterior con un 20% de fabricación nacional de potencias menores a 25 MVA, cabe mencionar que los nuevos Transformadores adquiridos por el usuario muchas veces son para reemplazo de Transformadores de hace 30 años de uso u otros para ampliaciones de las subestaciones, además para subestaciones nuevas que se construyen para una mayor estabilidad del sistema eléctrico del país.

Este crecimiento de energía a nivel nacional exigen cada vez mayores equipos con una alta confiabilidad y performance, con normas de fabricación mas exigentes en especial si se trata de las mineras o acerías, razón por la cual el diseño de los Transformadores cumplen con equipos de protección de apertura muy sensible (milisegundos), alargando vida útil del transformador así mismo protegiendo al personal y las instalaciones eléctricas.

Dentro del mercado eléctrico hay un crecimiento importante en líneas de transmisión de Alta Tensión y subestación de Alta Tensión con proyección a líneas de transmisión de Extra Alta Tensión de 500KV, esto generara una mayor confiabilidad en sistema eléctrico peruano, a su vez este crecimiento implica la renovación, ampliación y construcción de nuevas centrales de generación eléctrica.

El los sistemas eléctrico de distribución la demanda de Transformadores de Potencia implica crecimiento de usuarios, industriales y cargas solicitados por clientes puntuales, este sector exige los diseños de Transformadores mas compactos por la poca disponibilidad de espacios, además equipados con una serie de dispositivos electrónicos de protección de alta tecnología, es mas con equipos sofisticados para integración a sistemas de control scada vía protocolos IP o vía fibra óptica.

Dentro de este panorama, el presente trabajo tiene por objetivo presentar las ventajas actuales de las tecnología existente en fabricación de transformadores de potencia, así como dar criterios de selección en las actuales especificaciones técnicas y los requerimientos de los accesorios para una aplicación según se especifique cada

transformador y para la función que desempeñara durante su operación, para una mayor comprensión del mismo se hace una breve reseña de los conceptos teóricos, funcionales y aplicación de los accesorios, no siendo el objetivo profundizar en la demostración teórica de las leyes físicas que gobierna el funcionamiento de los transformadores, posteriormente se hace la descripción de los accesorios y las características de los transformadores de Potencia para luego pasar a realizar un descripción de la fabricación de transformadores y la definición de sus accesorios que es el tema de central del informe, sus características, sus ventajas, sus aplicaciones y la mejora en la disminución de costos de suministro, pruebas y puesta en servicio de los Transformadores de Potencia.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS GENERALES DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

1.1 Principales características de los transformadores de Potencia.

1.1.1 Según el número de Fases

a) Transformadores Monofasicos de Potencia

Como principio la estructura de los devanados en diferentes diseños de transformadores monofasicos de muestra en la figura 1.1, además dentro del sistema Eléctrico de Potencia un banco de transformadores Monofasicos (Figura 1.2) forman un sistema trifásico de transformación que consiste en transformar cada una de las tensiones de fase mediante un Transformador Monofásico Primarios y secundarios que estarían conectados en estrella, con neutro en casos particulares pero no necesariamente en todas, además algunos transformadores tienen devanado de compensación para poder compensar las cargas.

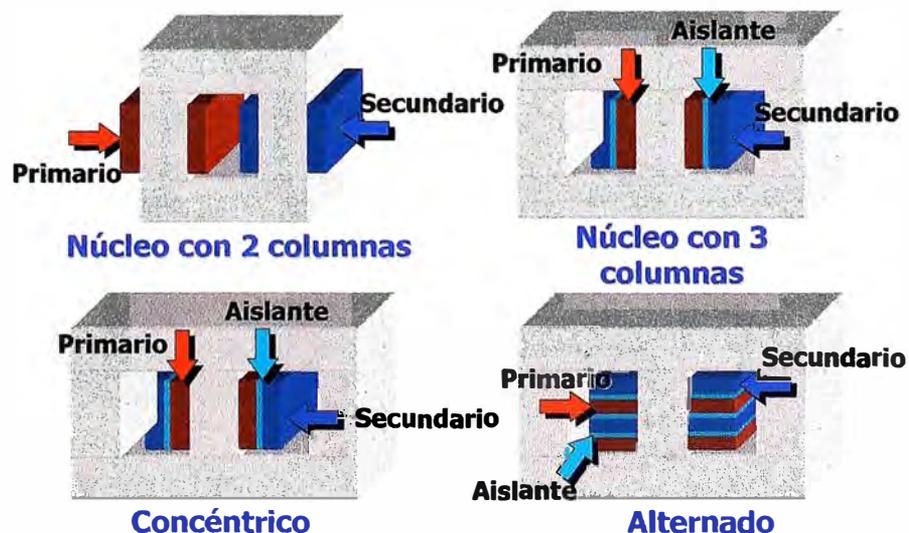


Figura 1.1 Estructura en devanados del Transformador Monofásico (Fuente: Presentación PPT Transformadores de Potencia demostrativa – SIEMENS)

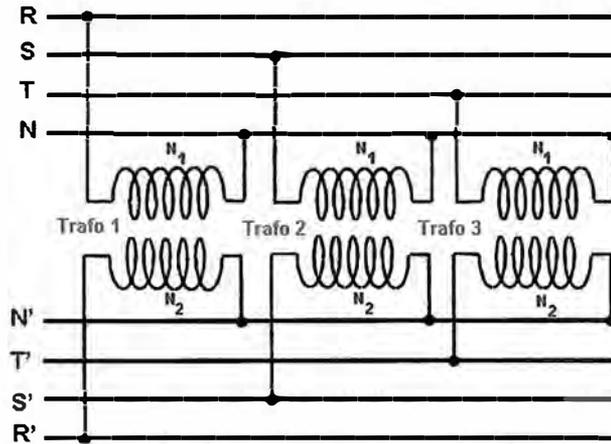


Figura 1.2 Configuración del Banco de Transformadores Monofásicos (Fuente: *Presentación demostrativa PPT Transformadores de Potencia – SIEMENS-2002*)

Conexión usada en bancos de transformadores monofásicos, es en situaciones de emergencia, generalmente cuando falla uno de los transformadores o para un futuro aumento de carga de la zona de concesión.

b) Transformadores Trifásicos de Potencia

Se definen según en grupo de conexión Yy (Figura 1.3) donde se plantea problemas debidos a la circulación de corrientes homopolares (causadas por los armónicos de la corriente de vacío) por el neutro. En condiciones de carga desequilibrada entre fase y neutro aparecen sobretensiones.

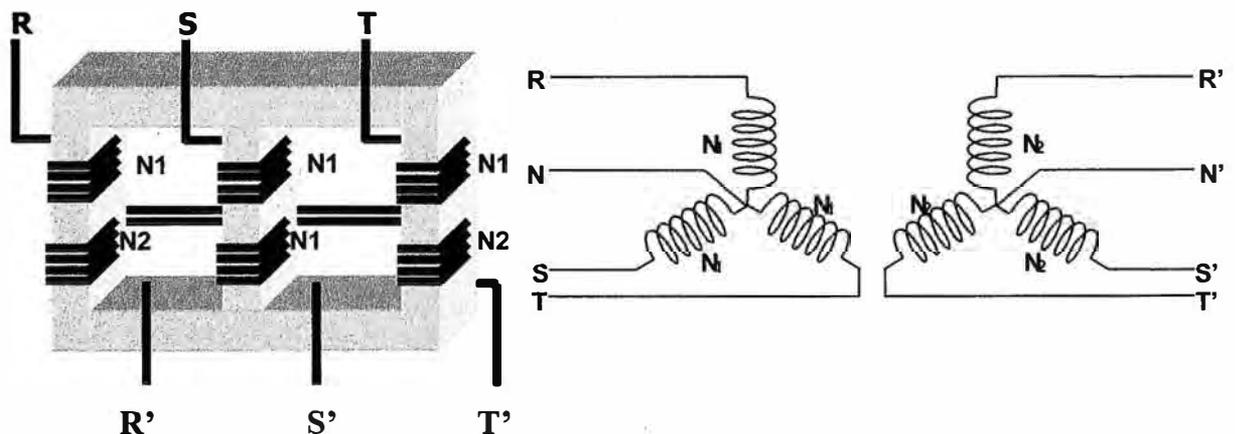


Figura 1.3 Conexión Estrella - Estrella Yy (Fuente: *Presentación demostrativa PPT Transformadores de Potencia – SIEMENS - 2002*)

Cuando uno de los devanados está conectado en triángulo los flujos homopolares se anulan y los inconvenientes anteriores desaparecen. El único problema es la no disponibilidad del neutro en uno de los devanados (Figura 1.4)

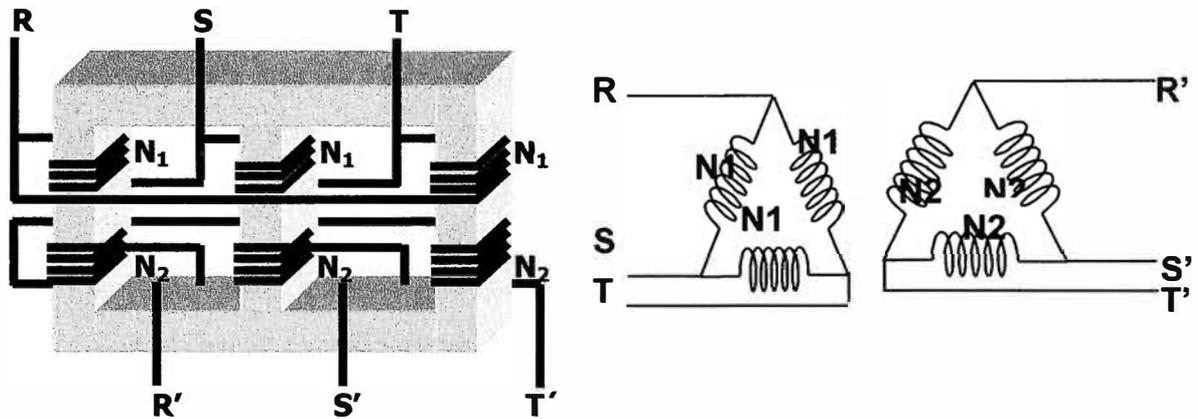


Figura 1.4 Conexión Triángulo - Triángulo Dd (Fuente: *Presentación demostrativa PPT*)

Transformadores de Potencia – SIEMENS-2002)

1.1.2 Valores nominales

En transformadores de Potencia se expresa los valores de las intensidades y tensiones como valores nominales a plena carga, cuyas características nominales son datos que en base a las condiciones de servicio, definen las prestaciones a efectos de las garantías y condiciones de ensayo especificadas. Normalmente se indican en la placa de características.

a) Potencia Nominal

La potencia nominal es el valor convencional de la potencia aparente, normalmente indicadas en MVA para transformadores Monofásicos, Trifásicos y Autotrafos de potencia, que establece las bases para el diseño, la construcción, las garantías del fabricante y los ensayos, determinando el valor de la corriente nominal que puede circular con la tensión nominal aplicada, de acuerdo con las condiciones especificadas.

La potencia nominal asignada corresponde a servicio continuo, sin embargo los transformadores pueden ser sobrecargados ocasionalmente. Las normas fijan indicaciones y criterios a aplicar en caso de sobrecargas.

Debe notarse que si el transformador tiene diferentes modos de refrigeración, a cada uno le corresponde una potencia y la potencia nominal es la mayor, como refrigeración por aire, por corriente de aire, refrigeración por aire forzado, refrigeración por agua y refrigeración por aceite forzado, Por Ejemplo: ONAN/ONAF, ONAN/ONAF1/ONAF2, ONAN/OFWF

Para transformadores de dos o más arrollamientos, se debe indicar la potencia nominal de cada arrollamiento, que se aplica para transformadores de potencia.

b) Tensión Nominal

Es la tensión eficaz de un arrollamiento como tensión aplicada u obtenida en vacío entre bornes de línea de un arrollamiento de un transformador de potencia polifásico o entre bornes de un arrollamiento monofásico.

c) Relación de Transformación Nominal.

La relación de transformación con muchas posiciones de taps en transformadores de potencia, la nominal es la que existe entre las tensiones nominales de los distintos arrollamientos para la toma principal es decir para la toma central que verifique el resultado nominal.

La tolerancia en la relación de transformación con respecto al calculo teórico debería ser el 0.5% comparativamente según establece la Norma IEC 0.5% de la relación nominal comprobada con medidas reales; en el caso de transformadores cuya tensión de cortocircuito es baja la tolerancia es 1/10 del porcentaje de impedancia. Esto no es aplicable a los Autotransformadores (en razón de su muy baja impedancia).

Por ejemplo para un transformador con impedancia 3% la tolerancia de la relación de transformación será 0.3%.

d) Frecuencia Nominal.

La frecuencia nominal es la característica a la cual el transformador está destinado a funcionar (normalmente 50 o 60 Hz), dependiendo de su zona operación y su aplicación.

e) Corriente Nominal.

La corriente nominal es el valor que se obtiene dividiendo la potencia nominal de un arrollamiento por la tensión nominal de dicho arrollamiento y por el factor de fase apropiado (3 en los transformadores trifásicos).

A fin de destacar el significado convencional de la definición de potencia nominal, debe notarse que si a un arrollamiento de un transformador de dos arrollamientos se le aplica su tensión nominal, y se lo carga hasta que por el circule la corriente nominal, la potencia en juego coincide con la definida como potencia nominal del transformador.

En el otro arrollamiento circula también la corriente nominal, mientras que la tensión en bornes de este depende del factor de potencia de la carga, y en consecuencia la potencia que puede medirse en este punto está afectada por el rendimiento del transformador.

1.2 Normas de fabricación

1.2.1 Normas IEC

IEC 60044-1 "Current transformers"

IEC 60060 "High - voltage test techniques", Partes 1 y 2.

IEC 60076 "Power transformers", Partes 1, 2, 3, 5 y 8.

IEC 60137 "Insulating bushings for alternating voltages above 1000 V".

IEC 60270 "Partial discharge measurement".

IEC 60354 "Loading guide for oil immersed power transformers".

IEC 60529 "Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)".

IEC 60551 "Determination of transformer and reactor sound levels".

IEC 60076-4 "Power transformers - Part 4: Guide to the lightning impulse

and switching impulse testing -Power transformers and reactors”
IEC 60815 "Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions".

1.2.2 Norma ANSI

ANSI C57.12.10 Y
ANSI C57.12.30 Y C57.12.80

1.2.3 Norma IEEE

IEEE Std 519-1992 "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System".
IEEE Std 62-1995 "IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus – Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and reactors”

1.2.4 Normas NEMA

NEMA 107 "Method of measurement of radio influence voltage (RIV) of high voltage apparatus".
NEMA MG1 "Motors and generators".
NEMA TR1 "Distancias mínimas de aislamiento”.

1.2.5 Normas ASTM

ASTM A725 "Flat rolled, grain oriented, silicon iron, electrical steel, fully processed types 27H076, 30H083, 35H094".
ASTM A 36 "Especificaciones para el acero estructural".
ASTM A 345 "Especificaciones para láminas lisas de acero hechas en horno eléctrico para aplicaciones magnéticas".
ASTM B111 "Especificaciones para tubos de cobre y aleaciones de cobre sin costura y su almacenamiento. Aleación de cobre No. 715”.
ASTM B 16.5 "Bridas de tubos de acero y accesorios embridados".
ASTM D3487-00 "Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus".

ASTM D923-97 "Standard Practices for Sampling Electrical Insulating Liquids".

ASTM D3613-98 "Standard Practice for Sampling Insulating Liquids for Gas Analysis and Determination of Water Content".

Para soldaduras de partes sometidas a esfuerzos principales, las calificaciones de los procesos de soldadura, los equipos y los operarios deberán estar de acuerdo con las normas equivalentes a los requisitos de "ASME Boiler and Pressure Vessel Code" o a "AWS Standard Qualification Procedure", u otra norma aprobada a elección del fabricante.

ASTM D117, D1040, D3487 Para pruebas en el aceite aislante del transformador.

CAPITULO II

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA A FABRICAR

2.1 Requerimiento de diseño y construcción.

2.1.1 Núcleo

El concepto de núcleos para transformadores es un grupo devanados o bobinas que abrazan a un núcleo único, según se muestra en la figura 2.1

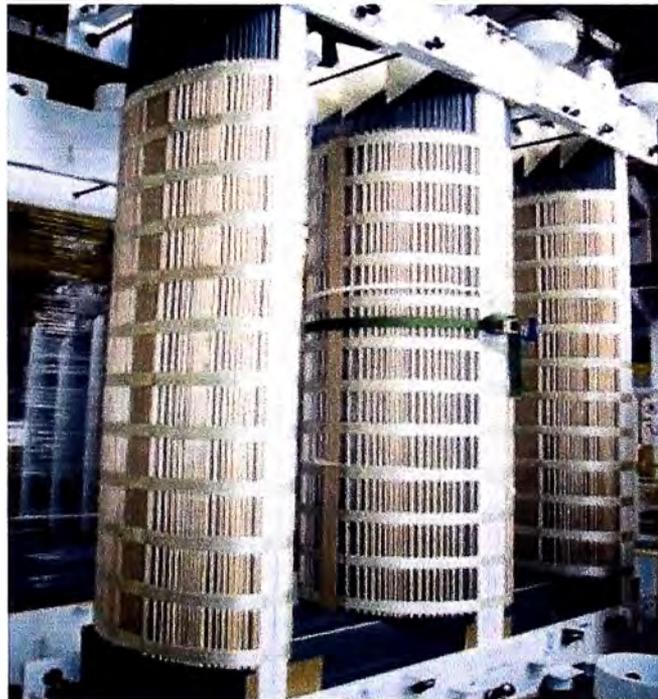


Figura 2.1 Transformador tipo Núcleo (Fuente: Fotografía Catálogo Fábrica Siemens 1999)

La construcción del Núcleo deberá ser tal que reduzca al mínimo las corrientes parásitas. Se fabricará de laminaciones de acero eléctrico al silicio de alto grado de magnetización, de bajas pérdidas por histéresis y alta permeabilidad. Cada laminación deberá cubrirse de material aislante resistente al aceite caliente.

El armazón que soporta el núcleo será una estructura reforzada que reúna la resistencia mecánica adecuada y no presente deformaciones permanentes en ninguna de sus partes; deberá diseñarse y construirse de tal manera que quede firmemente sujeto al tanque en ocho (08) puntos como mínimo tanto en la parte superior como en la inferior.

El circuito magnético estará firmemente puesto a tierra con las estructuras de ajuste del núcleo y con el tanque, de tal forma que permita un fácil retiro del núcleo.

Las columnas, yugos y mordazas, deberán formar una sola pieza estructural, reuniendo la suficiente resistencia mecánica para conservar su forma y así proteger los arrollamientos contra daños originados por el transporte o en operación durante un cortocircuito. Se proveerán de asas de izado u otros medios para levantar convenientemente el núcleo con los arrollamientos. Esta operación no deberá someter a esfuerzos inadmisibles al núcleo o a su aislamiento.

Los materiales empleados para la fabricación del núcleo se fundamentarán principalmente en la Publicación ASTM A725, "Flat rolled, grain oriented, silicon iron, electrical steel, fully processed types 27H076, 30H083, 35H094".

Con los documentos finales, el Contratista suministrará la curva de excitación de cada transformador, la cual será corroborada mediante pruebas en sitio. Así mismo el Contratista deberá entregar información que permita establecer la tasa de decaimiento del flujo remanente de cada transformador.

En todos transformadores es necesario conectar a tierra todas las partes metálicas, para a si colocarlos a un mismo potencial "cero", de otra manera aparecer voltajes que cambiarían los valores de medida sin embargo es necesario ser cuidadosos con la ubicación, ya que se podrían generar circuitos cerrados que generarían corrientes inducidas elevadas en el circuito que podrían cuasar daños humanos, se debería exigir este método o aplicación.

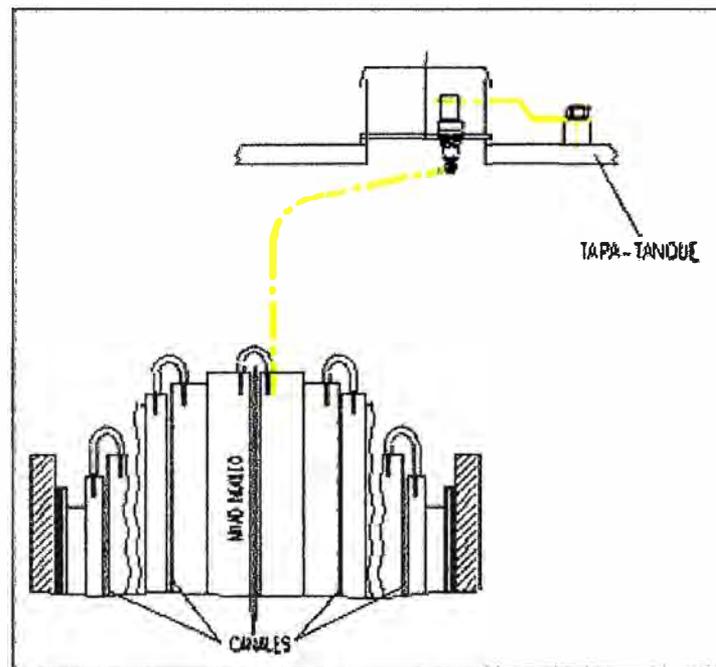


Figura 2.2 Aterrizaje del Núcleo (Fuente: Presentación Transformadores de Potencia – SIEMENS-2002)

2.1.2 Devanados

Los devanados suelen construirse en bobinas devanadas sobre horma y cubiertas de cinta aislante, tratadas al vacío impregnadas de barniz aislante y cocidas para ello deberán tener las características físico-eléctricas siguientes:

- a) Distancias mínimas eléctricas de diseño entre partes energizadas y partes aterradas.
- b) Compatibilidad dimensional con el núcleo magnético.
- c) Propiedades de refrigeración y transferencia de calor definidos a largo plazo así no tener problemas de sobrecarga por la demanda.
- d) Los devanados deberán construirse para soportar los esfuerzos máximos bajo condiciones de operación normal o de cortocircuito.
- e) Los devanados deberán diseñarse para soportar, sin daño o deterioro los frentes de onda muy agudos comprendidos en el rango de los nanosegundos, provenientes de la operación de interruptores o por descargas atmosféricas, de acuerdo con la norma ANSI C57.12, y los niveles BIL y BSL especificados.
- f) Los conductores de los devanados deberán ser de cobre electrolítico de alta pureza, de temple adecuado, sin bordes ni rebabas. Se deberá solicitar la

entregará los protocolos de ensayos por esfuerzos mecánicos y eléctricos del cobre utilizado en cada uno de los devanados.

g) Las uniones que lleven corriente permanente, con excepción de las uniones roscadas, deberán soldarse usando para ello soldadura de plata adecuada para las conexiones de cobre de alta capacidad de corriente. En el acople de los devanados con los bushings y con el cambiador de tomas, deberá respetarse la filosofía del sistema de conexión empleado por el diseñador del transformador con el fin de asegurar que no se presenten aflojamientos, mal contacto ni falta de compresión debido a las vibraciones propias del funcionamiento del transformador, por los efectos térmicos o a cualquier otra causa.

h) El sistema de aislamiento deberá tener alta resistencia dieléctrica, de bajo nivel de

descargas parciales, mecánicamente estable y de eficiente disipación de calor.

i) Los conductores de cobre deberán aislarse con resina, barniz u otro material aislante aprobado por normas internacionales. El aislamiento deberá aplicarse en capas sucesivas para prevenir el ablandamiento, desgaste, encogimiento, fragilidad o

ruptura durante el uso. En el aislamiento exterior del conductor se utilizará papel Kraft u otro material mejorado y tratado para resistir altas temperaturas.

j) Los aislamientos principales tales como los cilindros aislantes, localizados entre los devanados y el núcleo, entre los devanados, las barreras aislantes, el aislamiento

entre las bobinas y los yugos del núcleo, deberán estar compuestos de un número de

capas de cartón comprimido, de papel Kraft, de cilindro de resina sintética o de cualquier otro material especialmente seleccionado.

k). El sistema de aislamiento deberá garantizar un fácil acceso del aceite a todas las fuentes de calor y deberá asegurar que las fuerzas de corto circuito sean absorbidas y disipadas sin causar deformaciones mecánicas permanentes.

m) Capacidad para resistir cortocircuitos el transformador deberá ser capaz de soportar cortocircuitos metálicos francos en bornes de alta tensión, con el

conmutador de tomas en cualquiera de sus posiciones, durante un tiempo de 2 segundos, sin daños de ningún tipo, sin deformaciones permanentes en ningún devanado ni daños en los aislamientos o sus sujeciones.

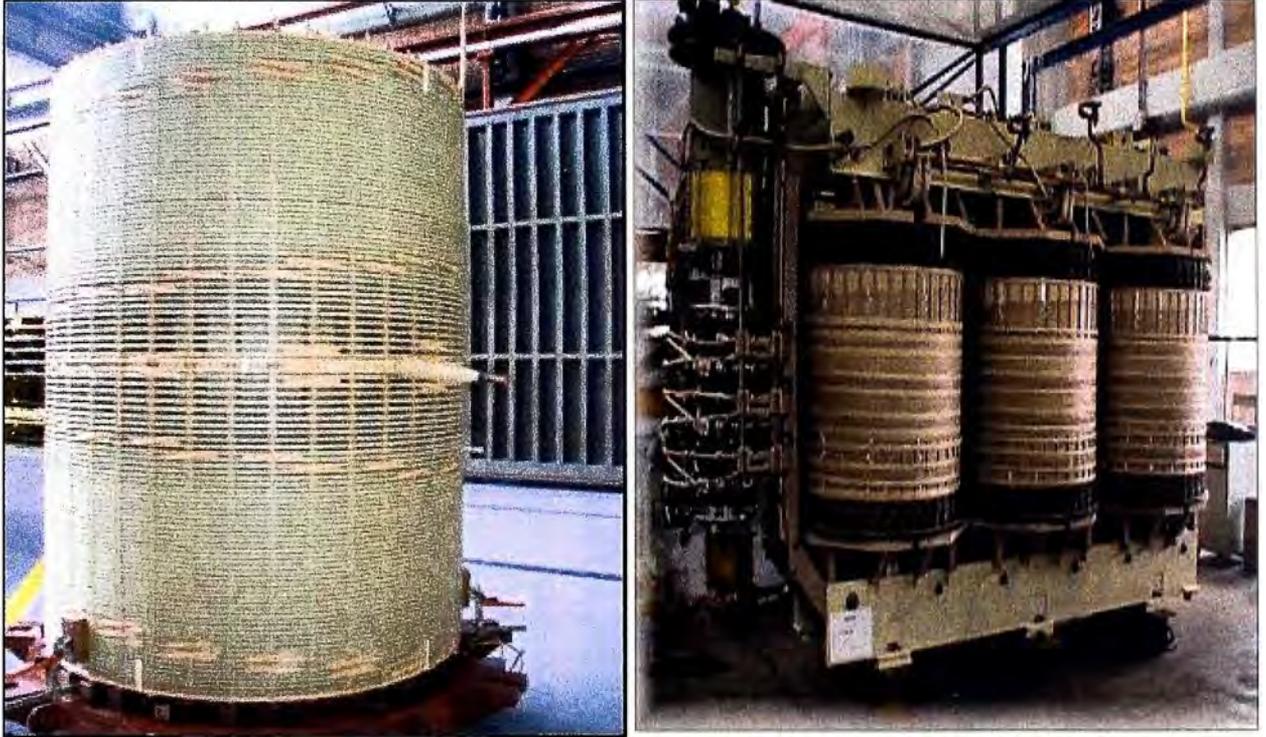


Figura 2.3. Devanados – Transformador de Potencia (Fuente: *Presentación Fábrica de Transformadores de Potencia – SIEMENS-2000*)

2.1.3 Arrollamientos

Los arrollamientos son un conjunto de espiras de sección diversa que permiten conseguir bobinas de diversos tamaños dependiendo de las potencias y tensiones solicitadas, así mismo se mejora la característica mecánica del devanado al ser posible una construcción mecánicamente más sólida que si se construyera con espira. Otro factor adicional que se debe tener en cuenta es que el aislamiento de celulosa se adhiere mejor en la superficie del conductor al ser este plano obteniéndose así una bobina con mejor resistencia mecánica a los cortocircuitos.

Los materiales usados para el bobinado de espiras generalmente es el cobre debido a su baja resistividad eléctrica, bajas perdidas y alta dureza, con alta soportabilidad de cortocircuito pero es muy costoso en el mercado mundial.

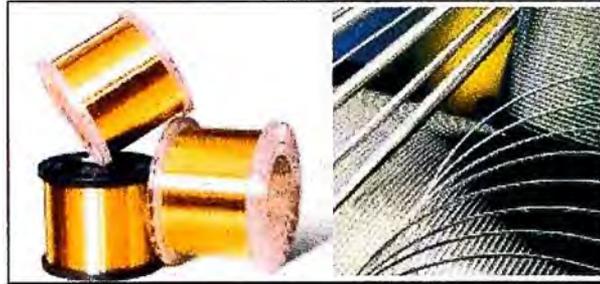


Figura 2.4 Carretes de espiras (Fuente: Presentación PPT Transformadores de Potencia – SIEMENS-2002)

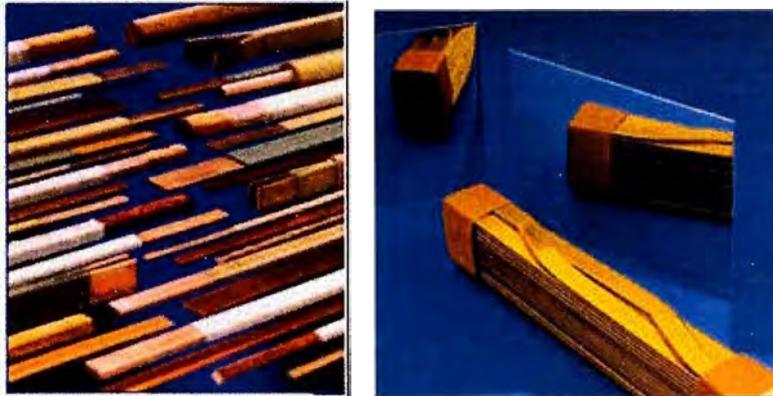


Figura 2.5 Laminas de cobre para los arrollamientos (Fuente: Presentación PPT Transformadores de Potencia – SIEMENS-2002)

2.1.4 Aisladores Pasatapas o Bushing

Su función principal es pasar de forma segura el voltaje y la corriente a través del sistema que contiene la parte activa es decir el Tapa – Tanque, además contiene un elemento conductor (Herraje) y un elemento aislador (Porcelana y/o Aceite), si sufre deterioro el pasatapa en el tiempo puede producir fallas en el transformador

Características eléctricas principales del Pasatapa:

- Corriente
- Voltaje (Nivel Básico de Aislamiento)
- Altura de instalación

- Pruebas (BIL)

Su características de Nivel de Polución bajo Norma IEC:

Ligera Polución	16 mm / KV
Media Polución	20 mm / KV
Alta Polución	25 mm / KV
Muy Alta polución	31 mm / KV

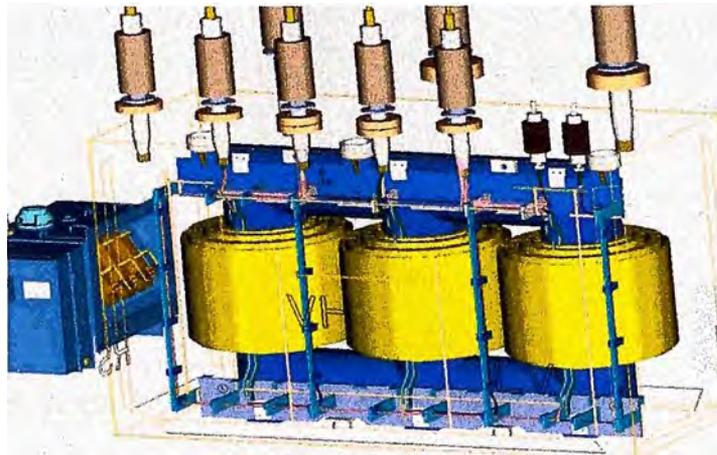


Figura 2.6 Conjunto de Pasatapas Montadas en el Transformador (Fuente: *Capacitación Transformadores de Potencia – Cadafé - SIEMENS-2002*)

a) Tipos de Pasatapas o Bushing

- Tipo Seco

El pasatapa esta compuesto de porcelana y el aceite del propio transformador, se utiliza para tensiones menores a 52KV.



Figura 2.7 Pasatapa Tipo Seco (Fuente: *Presentación Fábrica de Transformadores de Potencia – SIEMENS-2002*)

- Tipo Condensador

El pasatapa esta compuesto de porcelana y el aceite es diferente del transformador y fabricado con capas de papel y aluminio, se utiliza para tensiones mayores a 34,5 KV en algunas ocasiones llevan indicador de nivel



Figura 2.8 Pasatapa Tipo Condensador (Fuente: *Presentación PPT Transformadores de Potencia – SIEMENS-1999*)

2.1.5 Tanque y acoplamientos

El tanque principal esta conformada por laminas lisas de acero laminado en frío (HR) con bajo contenido de carbono soldadas entre si, con refuerzos que admiten sobre presiones de hasta 1bar y vacío total.



Figura 2.9 Cuba del Transformador (Fuente: *Presentación PPT diseño Transformadores de Potencia – SIEMENS-2002*)

La tapa del tanque será del tipo soldada. El tanque se diseñará para soportar vacío completo. Estará equipado con los dispositivos para izaje y

desplazamiento. El neutro será llevado a tierra por cable de cobre aislado, debidamente adosado al tanque por medio de aisladores. El tanque estará provisto de puestas a tierra ubicadas en la parte inferior y en dos extremos opuestos.

El tanque estará montado sobre ruedas con pestaña del tipo orientables con una separación de acuerdo con lo solicitado en los pliegos y no se incluye los pernos de anclaje. El tanque estará provisto de apoyos para la colocación de gatos hidráulicos que permitan mover el transformador completo y lleno de aceite.

Además se deberá solicitar en la base cuatro puntos de apoyo para el ganeo y tiro, adicionalmente soporte para tiro y reforzamiento dependiendo de la necesidad en la Subestación y evitar complicaciones durante el traslado del transformador totalmente armado a su posición final.

2.1.6 Equipo de enfriamiento

Según los conceptos desarrollados en el punto Cap. I (1.1.2.a) este grupo de equipos se definen según especificación de diseño, por razones de espacio, de su ubicación y las condiciones con la cuenta la Subestación o la central de generación.

a) Tanque de enfriamiento con Radiadores y Aire Forzado (Ventiladores) ONAF

La compone un grupo de ventiladores el numero de ventiladores es según el diseño y la potencia que se genera con aire forzado.

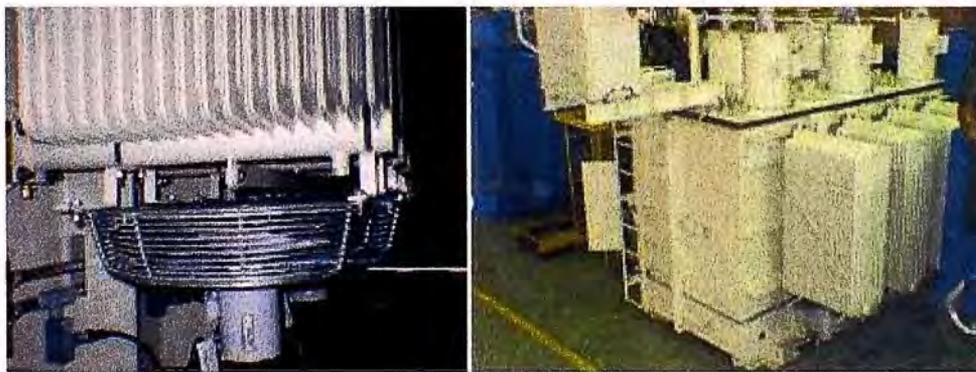


Figura 2.10 Ventiladores y Radiadores (Fuente: Presentación PPT *Fábrica de Transformadores de Potencia – SIEMENS-1999-2002*)

b) Tanque de enfriamiento con Aceite Forzado OFAF

Esta se compone por un conjunto de ventiladores y una bomba para forzar el aceite

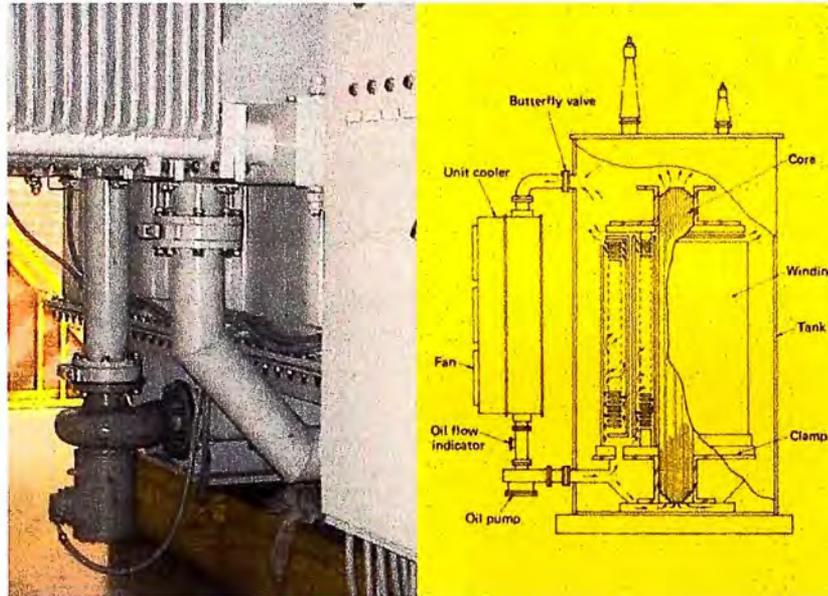


Figura 2.11 Sistema OFAF (Fuente: Presentación PPT Fábrica de Transformadores de Potencia – SIEMENS-1999-2002)

c) Tanque con intercambiadores de calor y medio refrigerante Agua OFWF

Se compone por un grupo de bombas de agua para forzar el agua y poder enfriar el aceite mejorando el nivel de potencia usado en centrales Hidroeléctricas tipo Caverna y ventajoso en lugares reducidos dado que no usan banco de baterías.

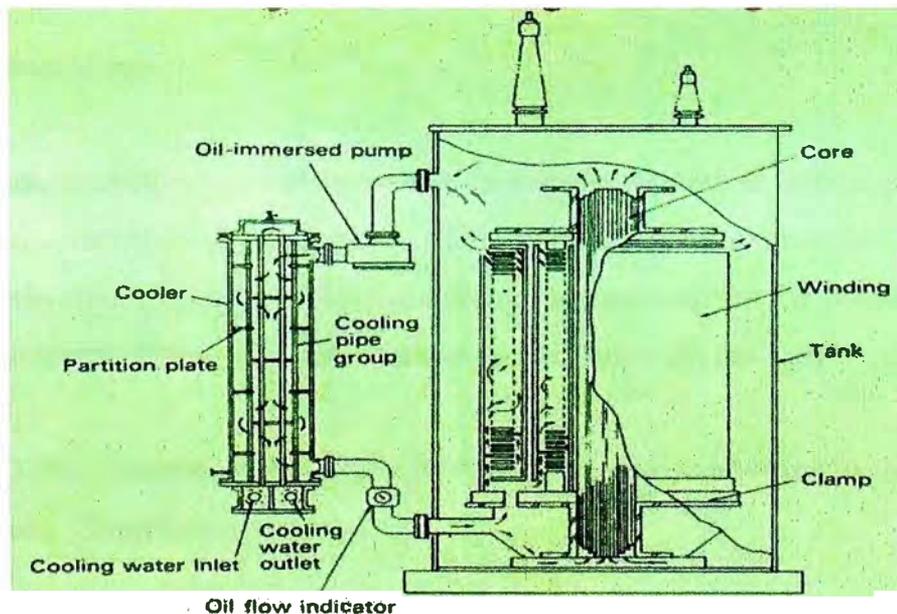


Figura 2.12 Sistema OFWF (Fuente: Presentación PPT Transformadores de Potencia – SIEMENS-1999)

2.1.7 Sistema de conservación de Aceite

Con el fin compensar la expansión de aceite dieléctrico, producto de las variaciones de temperatura, se instala en la parte superior del tanque conservador, permitiendo variaciones de volúmenes de aceite por temperaturas entre 0°C y 100°C aproximadamente.

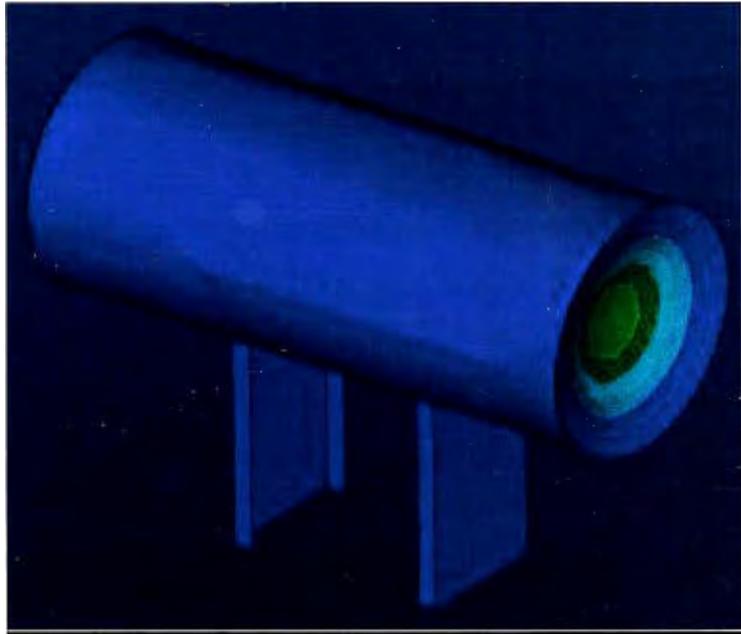


Figura 2.13 Tanque de preservación de aceite (Fuente: Presentación PPT diseño Transformadores de Potencia – SIEMENS-2002)

2.1.8 Conmutadores

El Transformador cambia un voltaje de entrada por uno de salida, el propósito de un conmutador es mantener la salida lo más cerca al voltaje que requiere el usuario cuyo principio de funcionamiento es interconectar los puntos de salida de un mismo devanado incrementando o disminuyendo las espiras.

a) OLTC Conmutador Bajo Carga, es decir que se podrá cambiar los Taps con tensión, Transformador energizado.

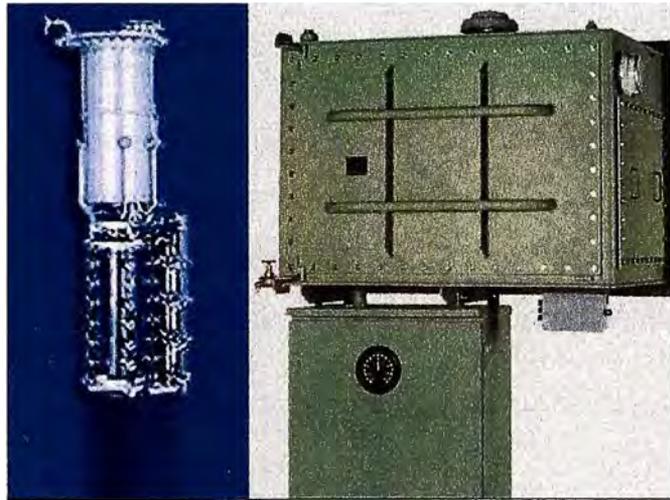


Figura 2.14 Conmutador y caja de mando motor (Fuente: Presentación PPT Capacitación de Transformadores de Potencia Cadafe- SIEMENS-2002)

El mecanismo hace la conmutación en milisegundos, parte en aceite y en vacío, el accionamiento del motor es un mecanismo que hace el cambio de Taps con la ayuda de un motor permitiendo que el mecanismo pueda accionarse automáticamente y/o a distancia deben estar perfectamente sincronizados tanto el accionamiento del motor como el propio conmutador bajo carga.

b) NLTC Conmutador en Vacío, es decir bajo ningún motivo se deberá operar con energía o con carga, Transformador Desenergizado.

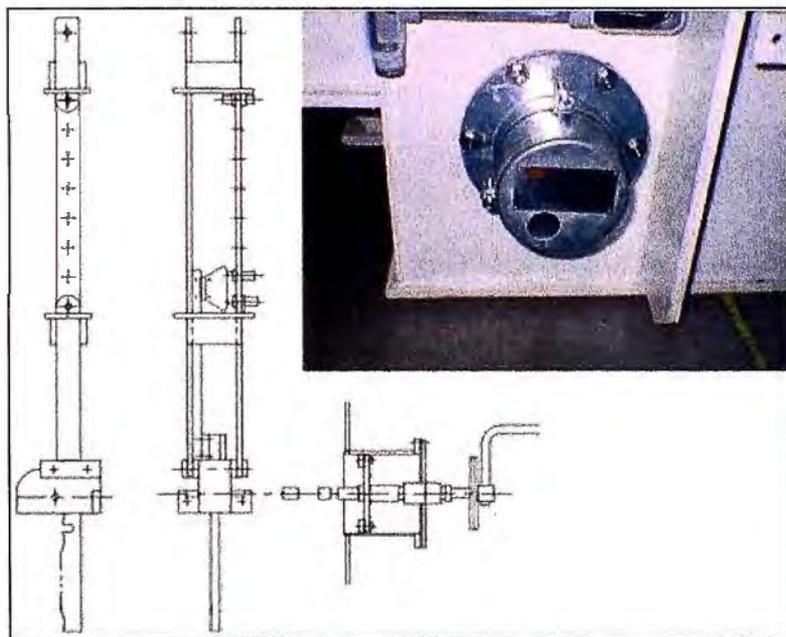


Figura 2.15 Conmutador en Vacío y mando manual (Fuente: Catálogo ABB- N° 1ZBR 5499-101 (En 1st Edition 4, 1998-01)

2.1.9 Radiadores

Con la finalidad de aumentar el área de contacto de la lamina de acero con el aceite caliente y así disipar el calentamiento de los devanados, se instala los radiadores adosados al tanque principal cuya fabricaron son en chapas de laminado en caliente, se fabrica bajo el sistema Cold Rolled

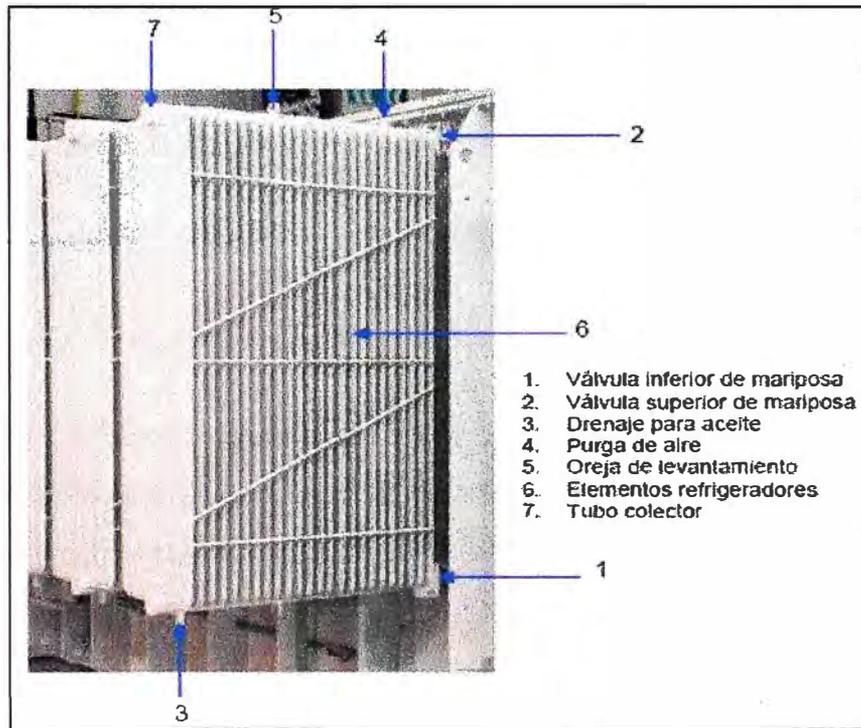


Figura 2.16 Conjunto de Baterías Radiador (Fuente: Catálogo de Transformadores de Potencia SIEMENS - 2006)

2.1.10 Soporte de Pararrayos

Es una estructura metálica que se alojan en la parte superior del banco de baterías del transformador, este soporte se utiliza por razones espacio en la Subestación y para tensiones menores a 60KV.

2.2. Clasificación de la Pintura

Todas las superficies metalmecánicas (Tanque, Domos, Tanque de expansión, Prensas, etc.), son limpiadas con chorro abrasivo “Granallado”, hasta metal casi blanco según norma NACE 2 con un perfil de rugosidad promedio de 45 micras.

a) Pintura interna

Para el tanque principal y de expansión se utiliza una pintura EPOXIFENÓLICA, la cual es un sistema epóxico de dos componentes, con excelente resistencia química, buena resistencia mecánica, buena resistencia a la temperatura (210 °C), no contiene pigmentos nocivos (minio ni cromatos) catalizado con productos tipo amina.

Se aplica un espesor de película seca promedio de 50 – 60 micras.

Esta pintura no genera gases combustibles, es inerte a los aceites dieléctricos.

b) Pintura externa

Para todas las partes externas se aplica el siguiente sistema de pinturas:

Primera capa de imprimante epóxico rico en Zinc, que es un recubrimiento de dos componentes con base en resinas epóxica de buena resistencia química, buena resistencia a la abrasión, buena adherencia al soporte y endurecedor tipo poliamida.

Se aplica un espesor de película seca promedio de 75-85 micras.

Segunda capa de Barrera epóxica, que es un recubrimiento epóxico semibrillante con curado tipo poliamida, de dos componentes para protección de metales, utilizado como capa de “Barrera” en sistemas Epóxicos y Uretanos en ambientes corrosivos.

Se aplica un espesor de película seca promedio de 100-110 micras.

Tercera capa de esmalte de uretano, que es un recubrimiento brillante, tipo alifático de dos componentes, utilizado como capa de acabado de sistemas epóxicos para la protección y decoración de estructuras metálicas expuestas a la intemperie y a los rayos UV en ambientes agresivos.

Se aplica un espesor de película seca promedio de 50-60 micras.

La tornillería se pinta con el esmalte uretano, con un espesor de película seca promedio de 40-50 micras.

Este sistema de pintura no contamina el medio ambiente, y soportan más de 1000 horas en cámara salina según norma ASTM B-117.

CAPITULO III

SELECCION DE LOS ACCESORIOS DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

3.1. Selección y aplicación de los accesorios al transformador

3.1.1 Compensador elástico

La preservación de aceite en el Transformador tiene la función de proteger el aislamiento sólido de las bobinas y todo material higroscópico dentro de la cuba, el compensador tiene una función muy importante evitando el envejecimiento acelerado del propio aceite y de papel, pérdida de resistencia mecánica en el papel y evita la oxidación en las partes metálicas de la parte activa.

En el esquema mostrado se observa claramente su función de operación como extractor de humedad de la parte interna del transformador.

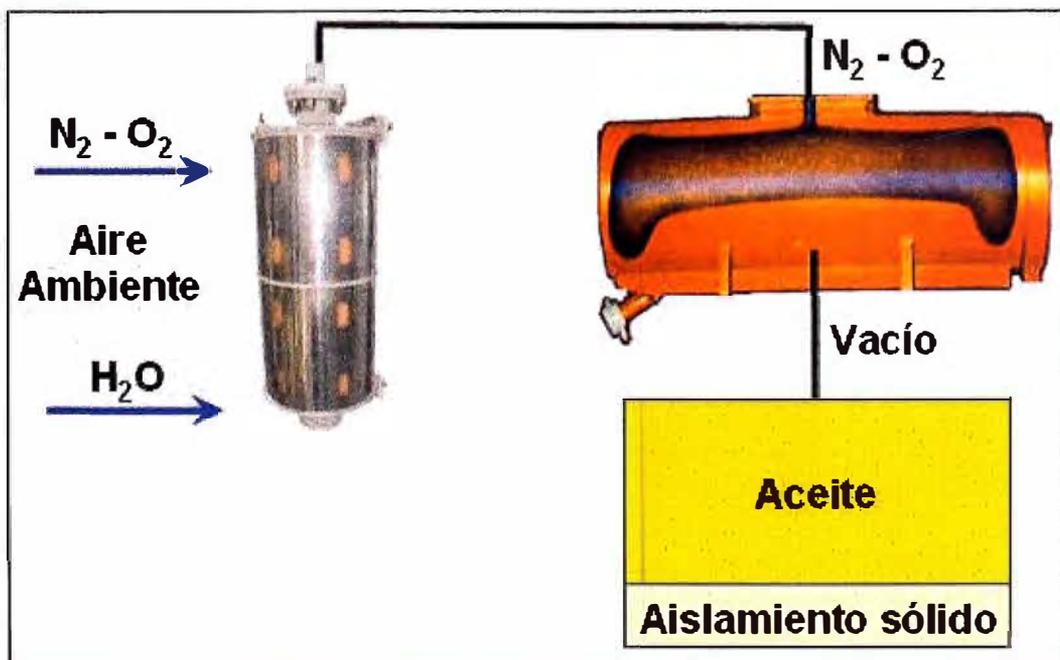


Figura 3.1 Sistema de preservación de aceite (Fuente: Capacitación Transformadores de Potencia – Cadafe -

El tanque de expansión cilíndrico tiene una tapa de acceso manual en la cima a través de la cual se introduce el compensador elástico. Este consiste de Nylon reforzado con revestimiento de nitrilo en los dos lados, con un espesor total de 1.2 mm, el revestimiento interno es resistente al ozono y el exterior al aceite. El interior del compensador elástico está conectado a la atmósfera a través del deshumectador de aire. La selección del compensador elástico es por diseño, cuyas consideraciones que se tienen en cuenta son el volumen de aceite del tanque conservador y las dimensiones del tanque

3.1.2 Pasatapas o Bushing AT, MT y BT

La selección de los pasatapas depende de muchos factores, tensión de operación, altitud de operación, BIL, condiciones atmosféricas y climáticas, tipo de conexionado, pero una de las más importantes es elegir adecuadamente la tensión operación.

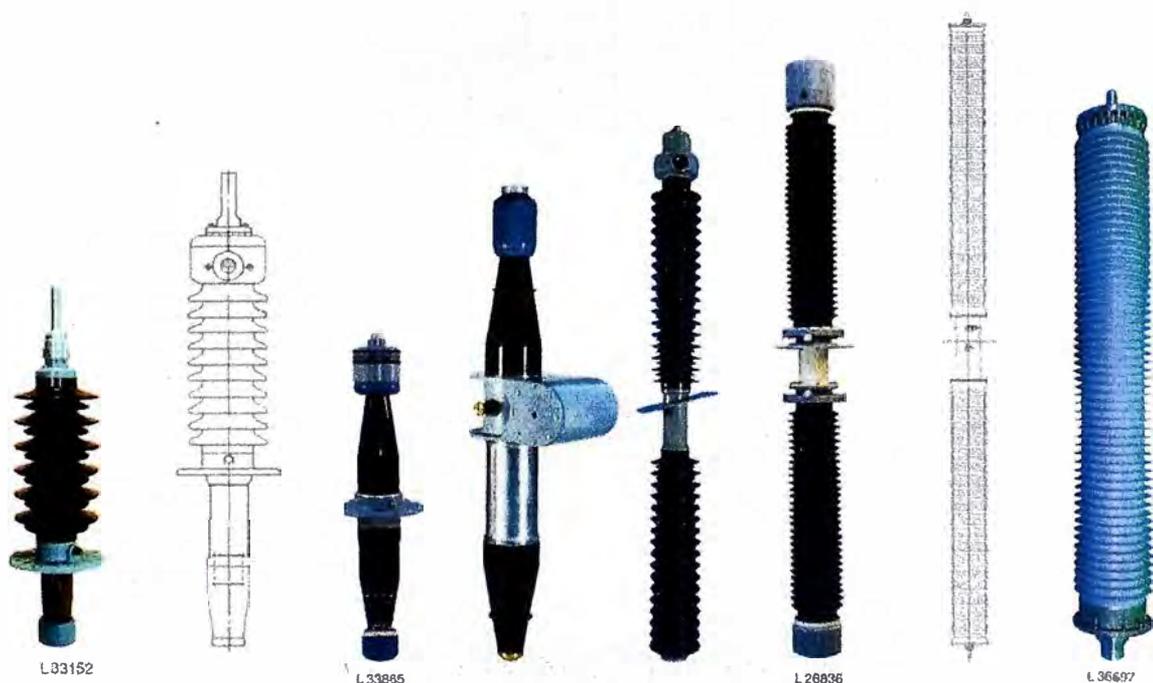


Figura 3.2 Gama de Pasatapas para selección (Fuente: Catálogo ABB-Nº 1ZSE 2750-102 en, Rev. 5, 2003-09-15)

Desarrollo del nivel básico de aislamiento, como definimos su voltaje de un Pasatapa para cierta altura, por norma la tensión nominal de todos los pasatapas

están diseñados a nivel standares sobre esta se debe corregir para una altura específica, mostremos como **ejemplo**:

Para tensiones de 3.6KV su BIL es 40KV, según Norma IEC:

Altura de Instalación : 3000 msnm

BIL (Normalizado) : 40KV

Factor de corrección : 0.73 (Tabla 3.3)

Usamos la siguiente formula:

BIL corregido = BIL (Normalizado)

$$1.1 \times 0.73$$

$$\text{BIL corregido} = 50 \text{ KV}$$

Entonces este resultado se ubica en (Tabla 3.1) y se identifica que la tensión que se debería solicitar, es de la serie 7.2KV.

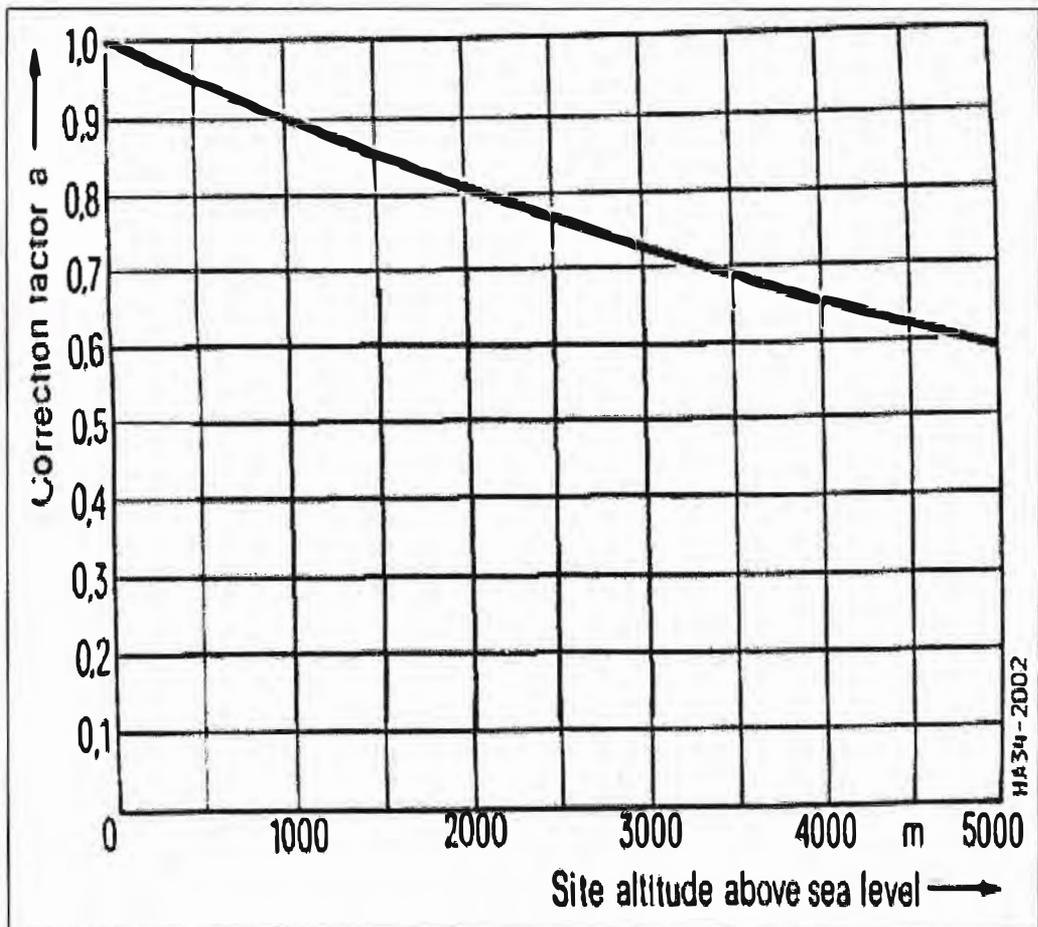


Figura 3.3 Tabla de Factor de corrección (Fuente: Ramírez Felipe Carlos, Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Colombia 1991)

Tabla 3.1 Niveles de aislamiento normalizadas para las tensiones asignadas del rango 1kV $< U_m \leq 245kV$ (Fuente: Ramírez Felipe Carlos, Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Colombia 1991)

Tension Maxima del equipo U_m KV (Valor eficaz)	Tension de soportabilidad normalizada de corta duracion a frecuencia industrial (KV) (Valor eficaz)	Tension de soportabilidad normalizada al impulso tipo rayo (KV) (Valor Pico)
3,6	10	20
		40
7,2	20	40
		60
		60
12	28	75
		95
		75
17,5	38	95
		95
		125
24	50	145
		145
		170
36	70	250
		325
52	95	450
		550
72,5	140	450
		550
123	185	650
		650
		750
145	230	650
		650
		750
170	275	650
		650
		750
245	325	650
		750
		850
		950
		1050

- Tipo según la conexión interna (Draw Lead)

Conductor Pasante “Draw Lead” es utilizado en series de 69 KV y corrientes inferiores a 800 Amperios normalmente en cable flexible, este pasa a través del Pasatapa y es fijado en la parte superior, facilitando la conexión.

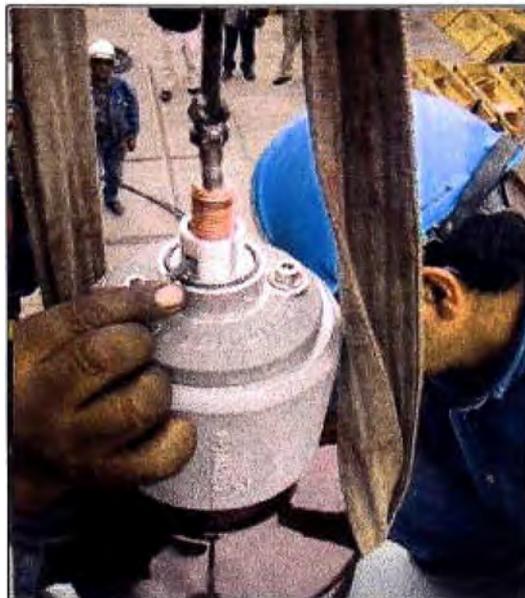


Figura 3.4 Pasatapa tipo Draw Lead (Fuente: Registro Montaje de Transformador de Potencia –SIEMENS- Perú 2003)

- Tipo según la conexión interna (Fixed Conductor)

Conductor fijo “Fixed Conductor” es utilizado cuando se tienen corrientes entre 1400 y 3000 Amperios, es una placa fija en la parte inferior del pasatapa a la cual se conectan los cables de salida del devanado atornillados.



Figura 3.5 Pasatapa Tipo Fixed Conductor (Fuente: Registro Montaje de Transformador de Potencia – SIEMENS-Ecuador 2003)

3.1.3 Conmutador OLTC y NLTC

a) Lectura de la nomenclatura del Cambiador de Tomas Bajo Carga.

Para clasificar los conmutadores requerimos que cada tipo de cambiadores de tomas encarga y vacío se suministran en muchos modelos diferentes según el número de polos, corriente nominal máxima de pasaje, aislamiento contra tierra, tipo constructivo del selector y esquema de conmutación básico.

La designación de un determinado modelo de cambiador de tomas bajo carga de acuerdo a estos criterios el cambiador de tomas e carga queda con ello caracterizado inconfundiblemente, esta designación del esquema básico de conmutación permite conclusiones sobre la división del circuito de contactos del selector, la cantidad de posiciones de servicio, cantidad de posiciones medias y del tipo de preselector.

Como ejemplo para seleccionar un cambiador de tomas Tipo M (Figura 3.6):

Unipolar, corriente de pasaje máximo 500A, aislación contra tierra correspondiente a la tensión máxima admisible para elementos de servicio

Um=123KV, tamaño constructivo del selector B, esquema básico de conmutación 10 19 1W, división del círculo de contactos 10, 19 posiciones de servicio, una de las cuales es posición media, preselector ejecutado para funcionar como inversor.

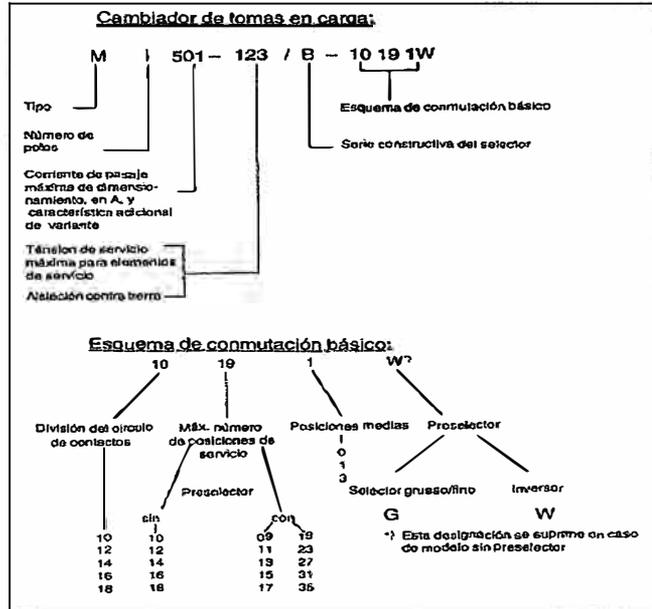


Figura 3.6 Modo de selección del cambiador de tomas (Fuente: Catalogo MR, Thechnical Data TD61)

b) Numero de Operaciones según Tipo de Aplicación

En general, el desarrollo y desempeño de los cambiadores hoy en día ha alcanzado un buen nivel de seguridad y confianza, tanto que goza de igual o mayor expectativa de la vida útil que el propio transformador, con excepciones cuando se tenga que mencionar los cambiadores instalados en transformadores de proceso, debido al gran numero de operaciones a los que son sometidos, en Tabla 3.2 se muestran un comparativo del numero de operaciones anual promedio de cambiador en diferentes aplicaciones.

Tabla 3.2 Cuadro comparativo (Fuente: Capacitación Siemens Santa Cruz, Bolivia Enero 2005)

Transformador	Números de Operaciones por Año		
	Mínimo	Medio	Máximo
Generador	500	3000	10000
Transformador	300	5000	25000
Distribución	2000	7000	20000
Electrolisis	10000	30000	150000
Químicos	1000	20000	70000
Horno Arco	20000	50000	300000

c) Cuadro comparativo para control de Aceite para cada Tipo de Cambiador

Tabla 3.3 Cuadro control de Aceite para cada Tipo de Cambiador (Fuente: Instrucciones de servicio, Conmutadores Bajo Carga MR)

Cambiador	Contenido de agua (*)	Rigidez dieléctrica (*)
M III 350 Y, M III 500 Y, M III 600 Y	< 40 ppm	> 30 kV/2,5 mm
M I 351 ... M I 1800	< 30 ppm	> 40 kV/2,5 mm
M II 352, M II 502, M II 602	< 30 ppm	> 40 kV/2,5 mm
M III 350 D, M III 600 D	< 30 ppm	> 40 kV/2,5 mm

(*) Medido según el método de Karl Fischer de acuerdo a la publicación IEC 814

(**) Medido según la norma DIN VDE 0370

d) Numero de Operaciones por Tipo y Nivel de Corriente del Cambiador

Tabla 3.4 Numero de Operaciones (Fuente: Instrucciones de servicio, Conmutadores Bajo Carga MR)

Cambiador	Intensidad nominal	Número de conmutaciones del Transformador	
		SIN	CON
		Equipo de Filtrado MR	
M III 350 Y	hasta 350 A	100 000	150 000
M III 500 Y	hasta 350 A	100 000	150 000
	hasta 500 A	80 000	150 000
M III 600 Y	hasta 350 A	100 000	150 000
	hasta 600 A	80 000	150 000
M III 350 D	hasta 350 A	40 000	80 000
M III 600 D	hasta 600 A	40 000	80 000
M I 351 / M II 352	hasta 350 A	100 000	150 000
M I 501 / M II 502	hasta 500 A	100 000	150 000
M I 601 / M II 602	hasta 600 A	100 000	150 000
M I 802	hasta 500 A	100 000	150 000
	hasta 800 A	80 000	150 000
M I 1200	hasta 800 A	80 000	150 000
	hasta 1200 A	70 000	140 000
M I 1500	hasta 1200 A	70 000	140 000
	hasta 1500 A	60 000	120 000
M I 1800	hasta 1500 A	60 000	120 000
	hasta 1800 A	50 000	100 000

e) Mando Motor Caja Protectora

El accionamiento a motor ED tiene como características principales, una constricción uniforme en todas sus variantes y concepto de diseño modular, el accionamiento a motor ED se puede suministrar en dos ejecuciones de caja de igual geometría de fijación y acoplamiento.

La caja de protección consiste de dos partes, la caja y la puerta, ambas de fundición de aluminio resistente a la corrosión, se entrega con dos capas de pintura una base en RAL 6019 y una capa final en pintura de dos componentes RAL 7033 o a solicitud del cliente, las juntas entre la puerta y la caja, así como todas aberturas necesarias para el funcionamiento, además se sellan con medidas especiales de manera de hacer imposible la deposición de polvo y la entrada de agua (IP66)

La ventilación de la caja protectora se logra mediante dos aberturas en forma de laberinto con un sello de bronce sinterizado en las paredes laterales, cuya caja tienen tres placas en el fondo aptas para el ingreso de los cables.

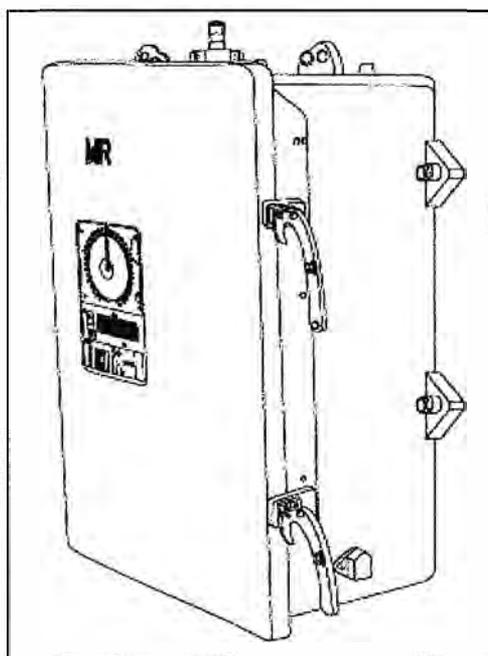


Figura 3.7 Caja Mando Motor (Fuente: Catalogo MR -BA 138/02 en - 0298/2000 138/02/01/0 F0047001)

El bloque de transmisión completo (Figura 3.8) esta fijado en la caja protectora, detrás de la chapa de recubrimiento superior, la transmisión de carga es una transmisión a correa, de un solo paso y silenciosa, el eje siempre gira 16.5

vueltas es decir 33 vueltas por cada cambio de tomas, como elemento transmisor se usa una correa de transmisión resistente al desgaste.

Contiene discos de levas para el accionamiento mecánico de interruptores a levas, por medio del engranaje de control que se operan los dispositivos como indicadores de posición, concebidos en forma modular, contactos levas adicionales y mediante una transmisión cardíaca (Figura 3.8) cuyos engranajes indican la posición.

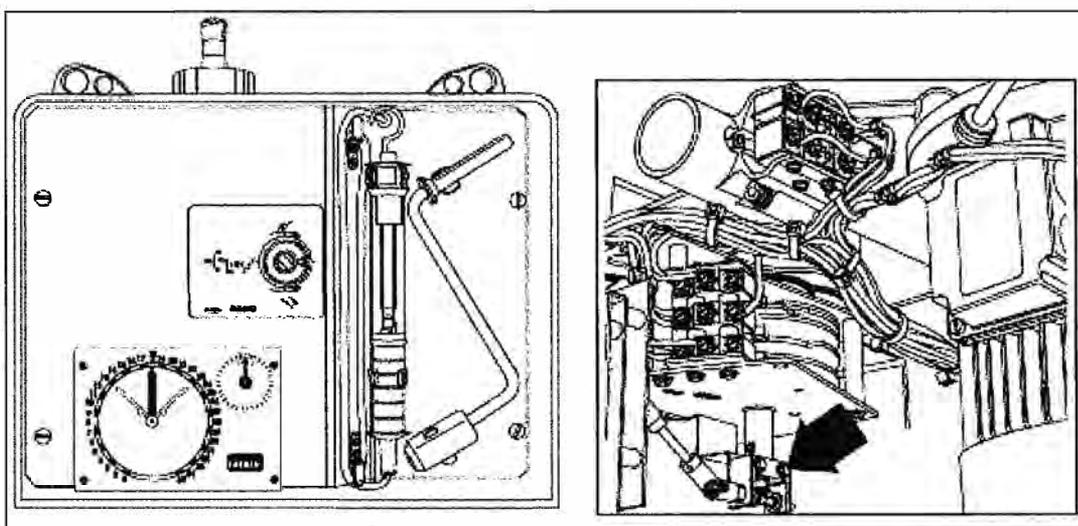


Figura 3.8 Caja protectora y el engranaje del Motor (Fuente: Catalogo MR -BA 138/02 en - 0298/2000 138/02/01/0 F0047001)

f) Unidad de Filtrado OF100

La bomba de alimentación, el motor de bomba y el cartucho filtrante están localizados en un recipiente cilíndrico de la unidad de bombeo, los orificios para bridas por los que se efectúan la entrada y retorno de aceite están situados en las tapas superiores e inferiores.

La bomba aspira el aceite de servicio a través del conducto de aspiración del cambiador de tomas y por medio de la tubería de entrada del aceite, el aceite entra por la parte inferior del recipiente de la unidad de bombeo y es aspirado mediante la bomba de alimentación por el cartucho filtrante.

Al superarse una presión efectiva de utilización de 3,5 bares a una temperatura de aceite de 20°C hay que cambiar el cartucho filtrante, se instala un preostato con preregulacion desde fabrica de 3,5 bares asegura que dicha presión de utilización sea teleseñalada y al alcanzarse la mencionada presión, cierra un

contacto de señalización que indica en la sala de control que se ha alcanzado el valor máximo prefijado.

A solicitud del cliente se podrá instalar un interruptor termomagnético para suprimir la señal del preostato cuando el aceite del transformador tenga una temperatura menor de 20°C de tal modo podrá evitarse que se transmita una señal errónea debido a una elevada viscosidad del aceite.

La instalación de filtraje de aceite esta diseñada para solo filtraje o bien filtraje y secado del aceite de servicio en el cambiador de tomas, para tal fin podrá ser equipada opcionalmente con un filtro de papel (únicamente filtraje) o bien con un filtro combinado (filtraje y secado).

En caso de que los cambiadores de tomas sean utilizados bajo condiciones de servicio extremas en transformadores destinados a hornos o servicio electrolítico (elevada número de operaciones, funcionamiento con corriente constante, frecuentes sobrecargas), el aceite del cambiador se ensucia por el efecto del arco voltaico a poco tiempo, para tales condiciones de servicio esta prevista la instalación de filtraje con cartucho filtrante de papel, la suciedad acumulada en el filtro de servicio depende del volumen de aceite disponible, trabajo de conmutación y número de operaciones.

Las condiciones de empleo para la utilización de la instalación de filtraje del aceite se muestran en la Tabla 3.5 y Tabla 3.6

Tabla 3.5 Tiempo de marcha mínimo de la bomba de la instalación de aceite con cartucho filtrante de papel o combinado para diferentes tipos de cambiadores (Fuente: Instrucciones de Servicio BA/1806, Instalación de filtraje de aceite OF 100)

Cambiador de Tomas	Tiempo de marcha mínimo de la bomba tras cada cambio de tomas
Tipo V, H	30 min
Tipo M, MS	30 min
Tipo R, RM	60 min
Tipo T	60 min
Tipo G	60 min

Tabla 3.6 Condiciones de empleo para la instalación de filtraje (Fuente: Instrucciones de Servicio BA/1806, Instalación de filtraje de aceite OF 100)

Selector de carga (SC) Cambiador de U _{bLW} = tension max. Entre fases del selector	Cambiador de tomas (TC) MIII 350 - 123 Cambiador de tomas (TC) MIII 600 D - 123 U _{bst} = máxima tensión de servicio entre fases unidas en la distancia a tierra del cambaidor de tomas	Cambiador de tomas M, R, RM, T, G
VIII 200 D - 76	79 KV < U _{bST} ≤ 123 KV	U _m = tensión máximo para medios de producción cambiador de tomas > 245 KV
VIII 350 D - 76		
55 KV < U _{bLW} ≤ 79 KV		
VIII 200 D - 76		
H III 400 D - 123		
79 KV < U _{bLW} ≤ 123 KV		
H III 400 D - 123		
123 KV < U _{bLW} ≤ 145		
KV		
H III 400 D - 123		
79 KV < U _{bLW} ≤ 95 KV*		
(*) Autotransformador		

A continuación se muestran los componentes necesarios para la instalación del filtraje,

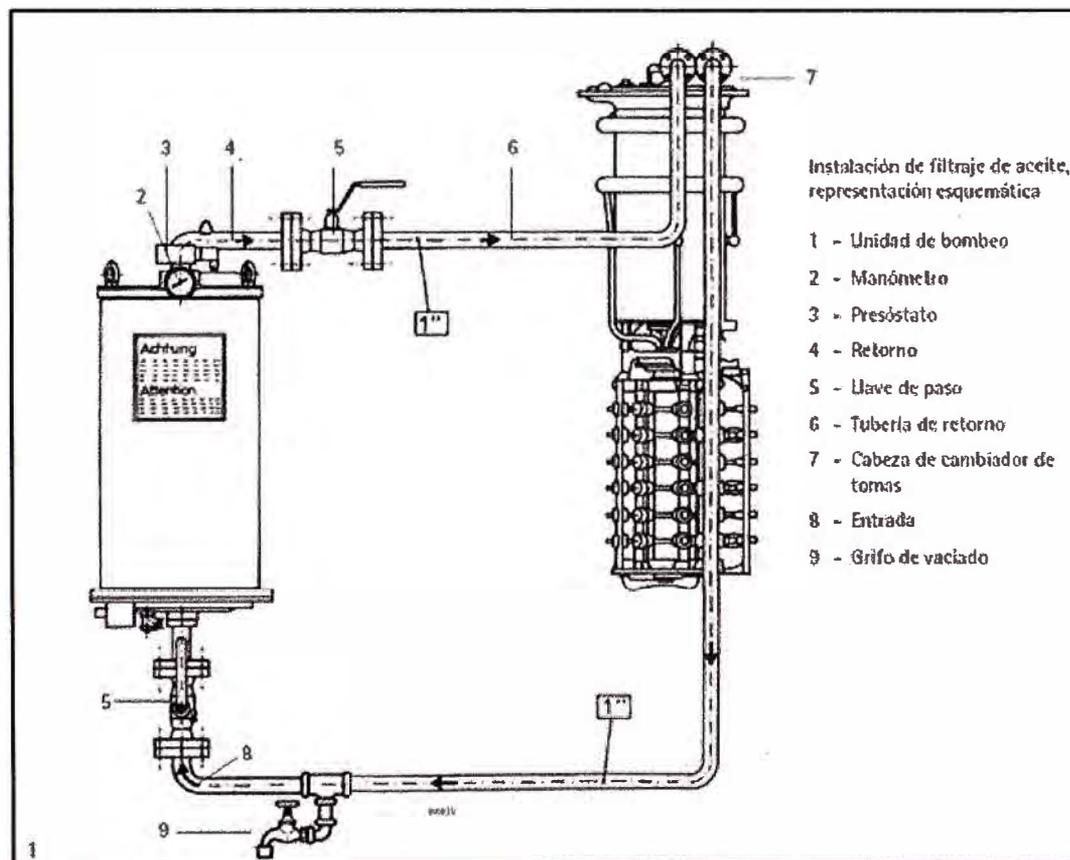


Figura 3.9 Partes de la Unidad de Bombeo (Fuente: Instrucciones de Servicio BA/1806, Instalación de filtraje de aceite OF 100)

3.1.4 Tablero de ventiladores

Cada una de las unidades se construye mediante piezas de acero estructural formadas por perfiles de lámina de acero moldeada en frío, calibre 2,5 mm. El frente de cada estructura está cubierto por puertas abisagradas ejecutadas igualmente en lámina de acero calibre 2,5 mm.

El conjunto metálico es sometido a un tratamiento químico con acondicionador aplicado a presión y alta temperatura para desengrasar y fosfatar. Posteriormente aplica imprimante epóxido anticorrosivo y finalmente pintura epóxica, la cual posee resistencia a productos químicos, gases industriales, moho, humedad corriente y humedad costera. Todos los elementos menores como tornillos, tuercas y arandelas de acero, son bicromatizados como protección contra la corrosión. A solicitud del cliente, es posible suministrar el espesor de pintura que se requiere para cada proyecto específico.

Los tableros son construidos para cumplir con un grado de protección IP65; es decir, no permite la entrada de partículas sólidas y/o chorros de agua en cualquier dirección.

Adicionalmente en cada uno de los tableros se instala una barra de cobre para puesta a tierra directamente atornillada a la estructura. Esta barra tendrá al menos una sección de 120 mm² y un terminal para cable.



Figura 3.10 Tablero de ventiladores (Fuente: Registro Montaje de Transformador de Potencia – SIEMENS-Perú 2004)

El alambrado de control será ejecutado en cable de cobre trenzado monoconductor de color negro, con aislamiento mínimo de 600 V, 75°C, con calibre igual o mayor a 14 AWG THW dependiendo del caso. En los extremos de los cables irán terminales de compresión y se identificarán con marcadores de acuerdo con los planos

El alambrado de potencia será ejecutado igualmente en cable de cobre THW, trenzado, monoconductor de color negro, con aislamiento mínimo para 600 V y 75°C, con calibre adecuado para salida incluyendo el 25% adicional de capacidad de conducción como reserva.

Las salidas y entradas de señales de control y protección se conectarán a bornes terminales del tamaño adecuado, debidamente marcados de acuerdo con la nomenclatura en los planos. Se podrán colocar puentes metálicos entre bornes. No se conectarán más de dos líneas por borne y se proveerá un 10% adicional de bornes (libres).

Se alambrarán las siguientes señales de control:

- Contactos para arranque, parada, local y remoto.
- Contactos salida alarma remotas.
- Contactos enclavamientos eléctricos.
- 1 Termostato de 5 a 40°C
- 1 Fusible para protección.
- 1 Resistencia de calefacción, 100 W, 120 VAC.

Tabla 3.7 Medidas de Gabinetes de Tablero de Ventiladores *(Fuente: Control Fábrica de*

Tableros –SIEMENS)

Tipo	Dimensiones (mm) Largo x Ancho x Alto	Numero Máximo de Ventiladores
TV 1	600 x 250 x 850	4
TV 2	800 x 350 x 850	6
TV 6	800 x 350 x 1350	12
TV 6 - Especial	800 x 350 x 1850	> 12

3.1.5 Ventiladores

El equipo de aire forzado a suministrar en cada transformador deberá incluir ventiladores axiales del tipo hélice. Las helices deberán ser de construcción metálica (preferiblemente fundición de aleación de aluminio), para servicio pesado y balanceadas dinámicamente, y deberán proveer un suministro adecuado de aire con bajo nivel de ruido.

El eje y la rejilla de protección deberá ser de acero inoxidable ó galvanizado. La rejilla debe cumplir con los requerimientos OSHA, las partes metálicas del ventilador deben tener un sistema de recubrimiento tal que cumpla 96 horas de cámara salina de acuerdo a la Norma ASTM B-117, para el efecto debe solicitar un certificado de dicha prueba, los ventiladores a suministrar deben ser clase F, para uso exterior y deberán cumplir con el grado de protección IP65. Los motores de los ventiladores deberán ser apropiados para servicio continuo, alimentados con una tensión trifásica, este dato será suministrada por el cliente y es tensión alterna, con frecuencia de 60 Hz, con marcos totalmente encerrados, cojinetes de bola y equipados con protección térmica interna, cada ventilador deberá ser removible sin necesidad de sacar de servicio los demás ventiladores.

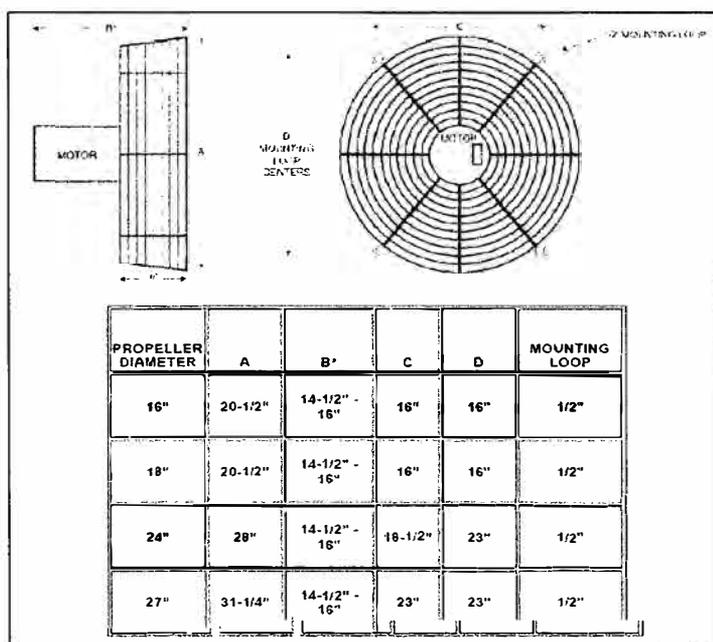


Figura 3.11 Dimensiones de los Ventiladores (Fuente: Catalogo Fábrica de Ventiladores Tubo California - USA)

3.1.6 Válvulas en el Transformador

Las válvulas para uso de transformadores son de diversos tipos y medidas dependiendo de las dimensiones de cada aplicación a continuación los diferentes tipos de válvulas usados en transformadores de potencia.

a) Válvulas tipo globo de Ø1" planchadas para válvula de acople relé de protección del conmutador y válvula de acople para tanques de expansión.

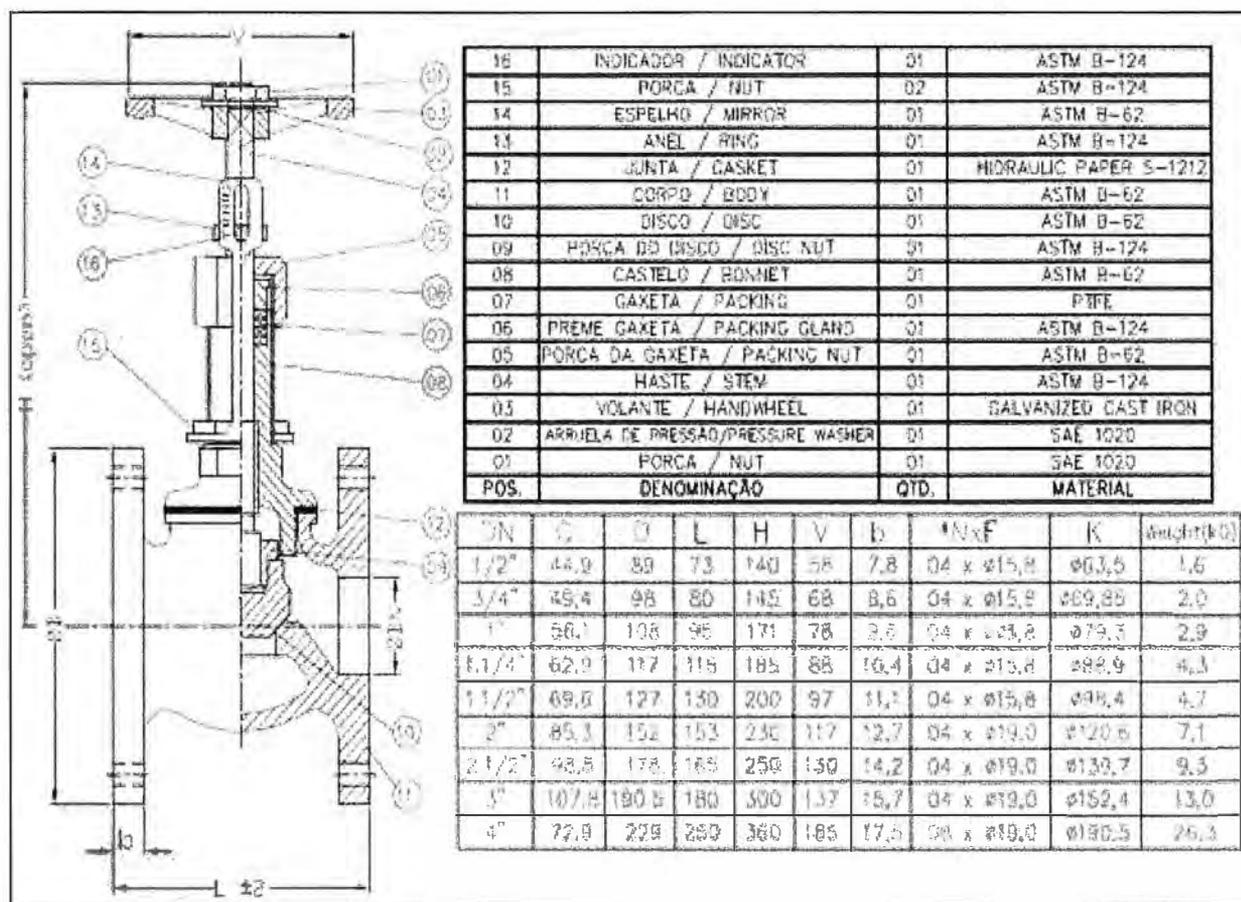


Figura 3.12 Dimensiones de Diseño (Fuente: *Catálogo Fabrica de Válvulas Marangoni – Brazil*)

b) Válvula tipo bola de Ø2" flanchada para acople bomba de vacío

Estas válvulas se utilizan para todas salidas del transformador, para bomba de vacío, recirculación de aceite, tratamiento de aceite, para llenado de aceite y además se utiliza para el relé de flujo como válvula de entrada.

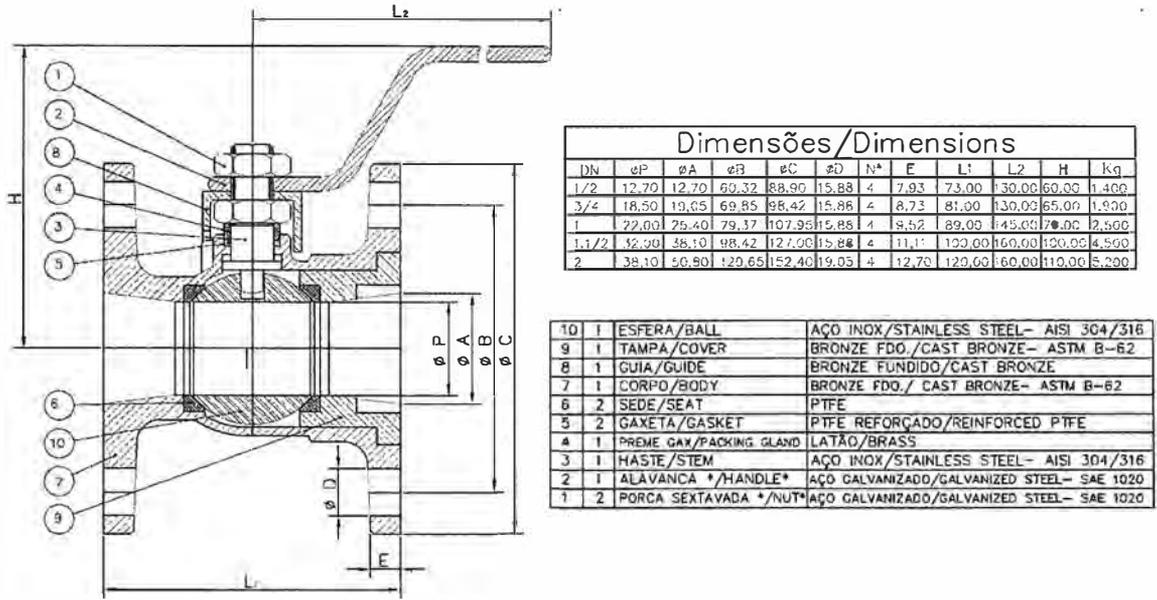


Figura 3.13 Dimensiones de Diseño (Fuente: Catalogo Fabrica de Valvulas Marangoni – Brazil)

- c) Válvulas tipo globo con toma de muestras, de Ø2” flanchadas para recirculación Superior del transformador, recirculación Inferior del transformador, drenaje tanque de expansión transformador (Ver Figura 3.12)
- d) Válvulas tipo grifo DN15 para drenaje de tanque de expansión conmutador bajo carga, drenaje conmutador bajo carga, toma de muestras nivel superior.

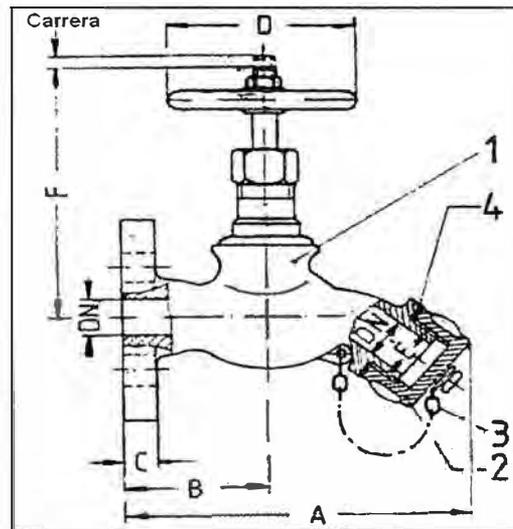


Figura 3.14 Válvula tipo DN 15 (Fuente: Catalogo Fabrica de Valvulas Marangoni – Brazil)

Tabla 3.8 Tipos de medidas de las Válvula (ver Figura 3.14) (Fuente: *Catálogo Fabrica de Válvulas Marangoni – Brazil*)

Peso Nominal DN	A	B	C	D	E	F	Carrera
15	110	44	10	50	R 3/4	95	9
32	130	55	13	80	R 1 1/4	133	14

e) Válvula de retención automática Ø3” acoplada al relé Buchholz

El objetivo de los fabricantes de transformadores es prever las anomalías que pudieran surgir y limitar las posibles consecuencias en el caso de averías, que son exigencias del usuario final.

Con miras a aumentar al máximo la seguridad pasiva de los grandes transformadores de potencia, se incluye el obturador que es un dispositivo de retención de aceite.

El obturador, montado en serie en el relé Buchholz, entre el conservador y la caja del transformador, sirve para bloquear el flujo del aceite en dirección a la cuba, en el caso de que se den grandes pérdidas o de graves accidentes y/o incendios. El obturador funciona con el empuje dinámico que el fluido en movimiento ejerce contra una válvula puesta dentro del dispositivo. Al sobrepasar el caudal del fluido un cierto valor, el empuje de la válvula es tal que ésta se cierra bloqueando así el flujo del aceite.

Si el caudal queda por debajo del límite, la válvula permanece abierta y así las corrientes provocadas por los cambios térmicos se intercambian. La peculiaridad del obturador RDR-MK es que el usuario puede regular el punto de activación según las características hidráulicas del transformador donde está montado.

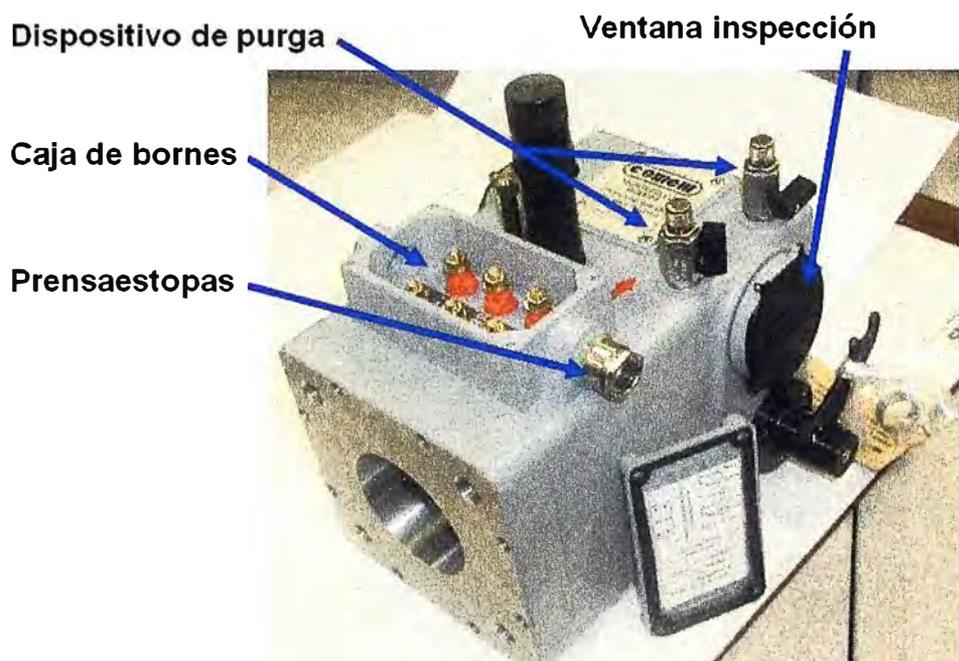


Figura 3.15 Válvula de Retención Automáticas y sus respectivas partes (Fuente: Presentacion Fábrica de Transformadores de Potencia -SAT-2005)

f) Válvulas Mariposa de Ø3" tipo F-F para acople radiadores y acople relé

Buchholz.

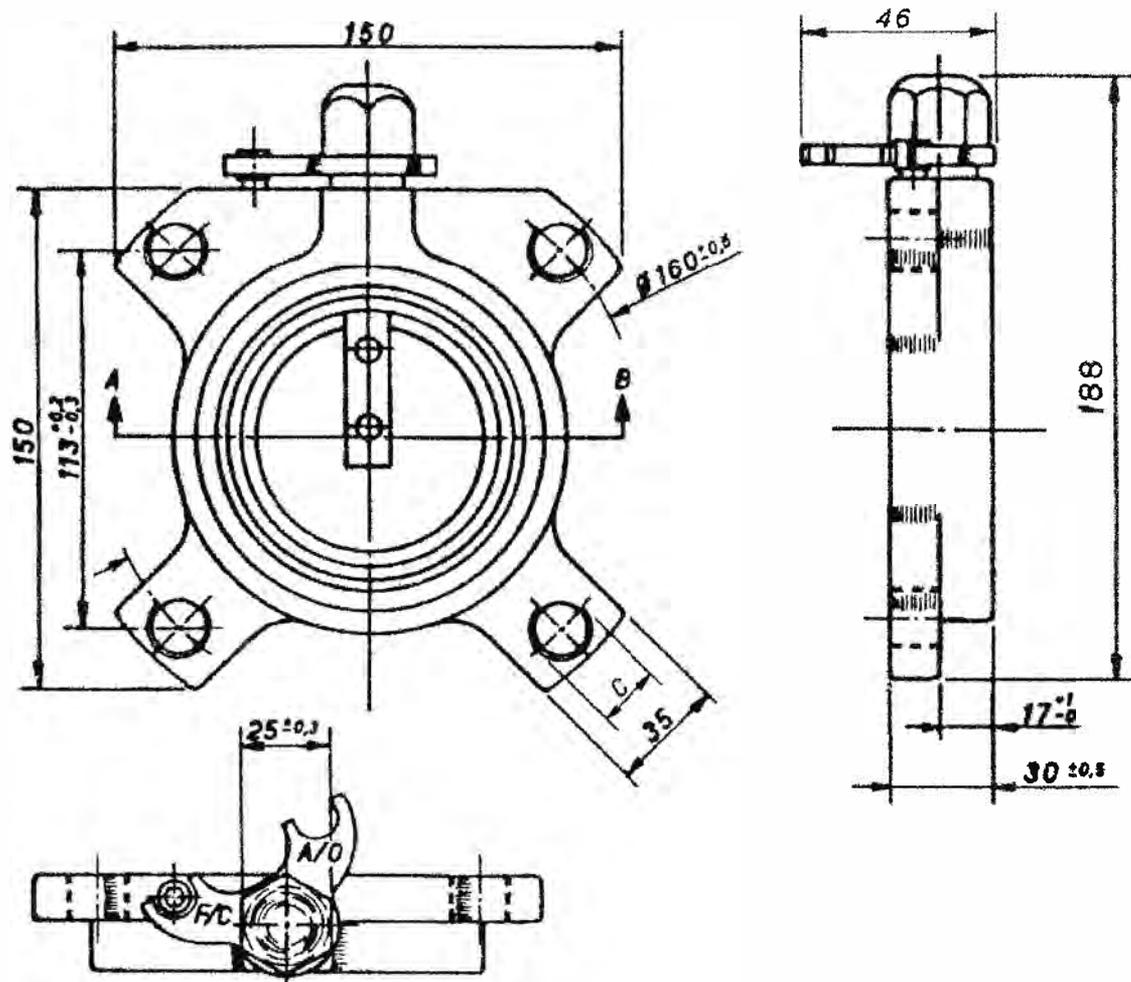


Figura 3.16 Válvula Tipo Mariposa (Fuente: Catálogo Válvulas Marangoni)

3.1.7 Relé presión súbita

A diferencia de la válvula de sobrepresión, este relé no detecta un valor específico de presión, sino variaciones rápidas en diferentes rangos, no puede liberar la presión del tanque, sin embargo es muy eficiente detectando fallas eléctricas, cuenta con un único contacto de disparo cuya reposición es automática así que se requiere otros elementos electrónicos la mantener la señal de disparo.

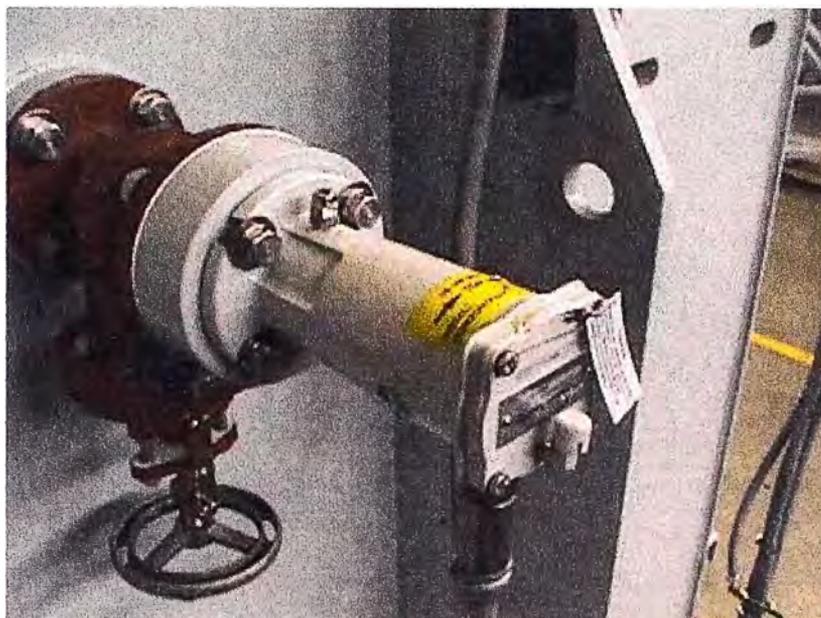


Figura 3.17 Relé de Presión Súbita (Fuente: Registro Montaje de Transformador de Potencia –SIEMENS Peru - 2006)

3.1.8 Válvula de sobrepresion

Este equipo protege al tanque o cuba en caso de sobrepresion que se incrementa gradualmente hasta un determinado valor es decir dependiendo del diseño puede ser de 8, 10, 12 psi, este dispositivo libera la sobrepresion del tanque evitando que la cuba explusione, en caso que la falla es grave los contactos directos de disparo liberan el transformador de todo peligro, una vez activado la válvula de sobrepresion este se repone manualmente, la forma de ver la activación del esta válvula se notara un banderín de color amarillo a la distancia signo de que la válvula activo.



Figura 3.18 Válvula de Sobrepresion (Fuente: Capacitación Transformadores de Potencia –SIEMENS 2005)

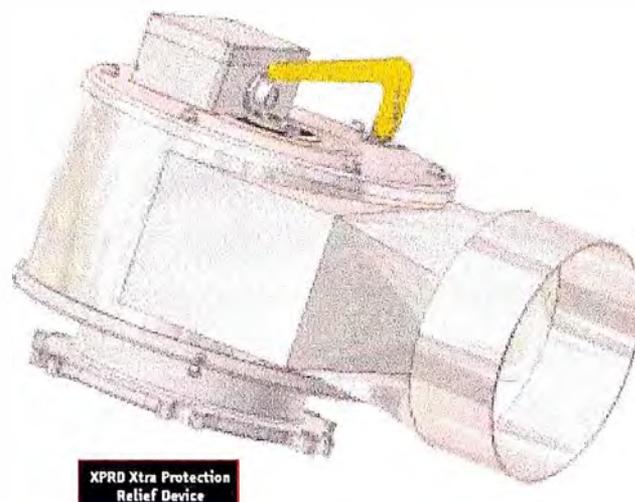


Figura 3.19 Válvula de sobrepresion XPRD tipo dirigido (Fuente: Catálogo Qualitrol QSB XPRD, 5/04)

3.1.9 Monitor de temperatura

Este dispositivo recibe señales de diferentes accesorios como de los indicadores de nivel y de los diferentes termómetros ya sea de los devanados de AT, BT, MT, del medio ambiente, inclusive bajo una programación vía software calcula la vida útil de los devanados, su aplicación principal se desarrolla en el control de las etapas de refrigeración, controlando un grupo de ventiladores para la ventilación forzada (ONAF).

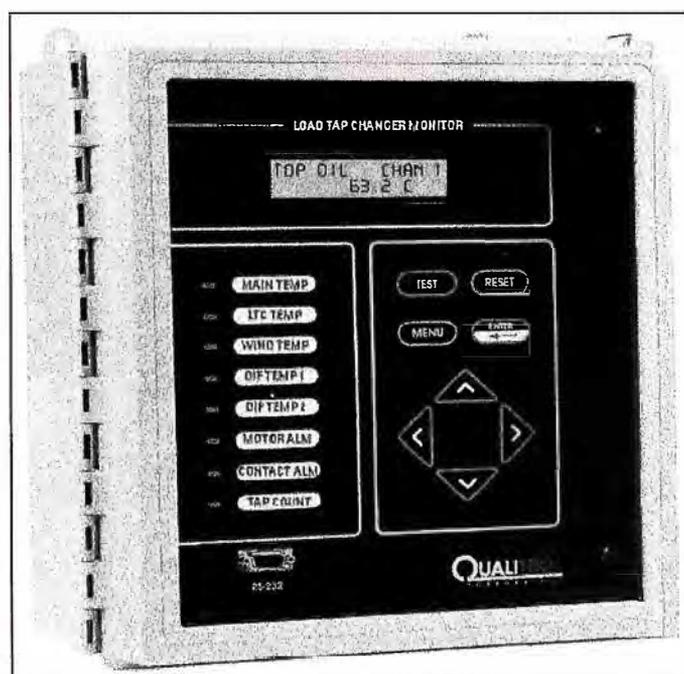


Figura 3.19 Monitor de Temperatura (Fuente: Catálogo monitor AB QUALITROL QSB509-200-2001)

3.1.10 Regulador de tensión

Es un equipo electrónico que regula la tensión en el lado de AT de los transformadores con conmutador bajo carga que controla automáticamente el movimiento de los Taps a través de una caja de mandos local y/o remoto, su funcionamiento se basa en tener como entrada el voltaje del lado secundario esta tensión se requiere que sea estable lo mismo que las corrientes de consumo. Al ver una caída de tensión o incremento de carga envía una señal al accionamiento del motor cuya orden será subir o bajar tensión dependiendo si hay subtensión o sobretensión, el mando motor recibe la señal y automáticamente ejecuta la subida o bajada de taps del conmutador.

Se recomienda solicitar que sea del tipo Tapcon 240, por lo que puede ejecutar el paralelismo entre dos o más transformadores.

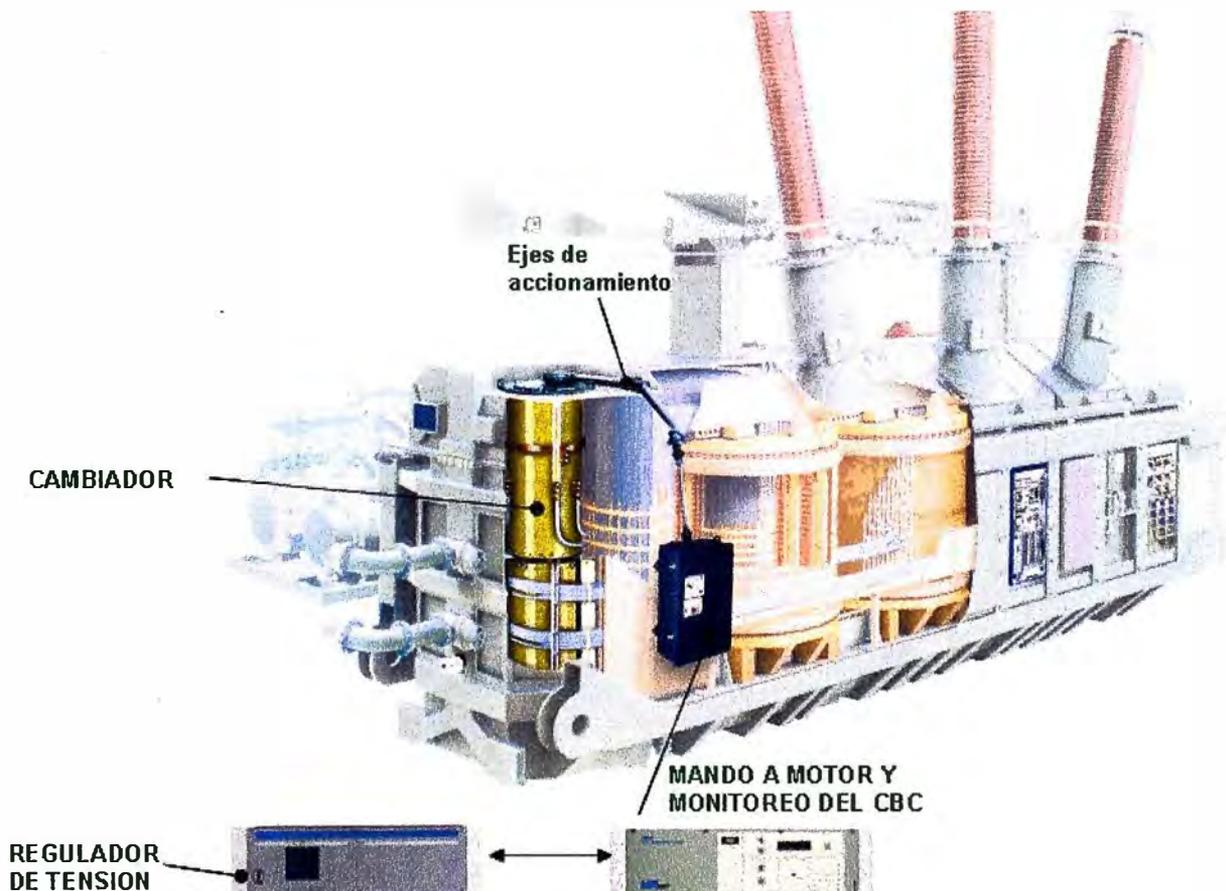


Figura 3.20 Regulador de tensión Tapcom (Fuente: Catálogo TAPCON -230 MR-IN186-02en-0802-1000-186-02-01-0-F012001)

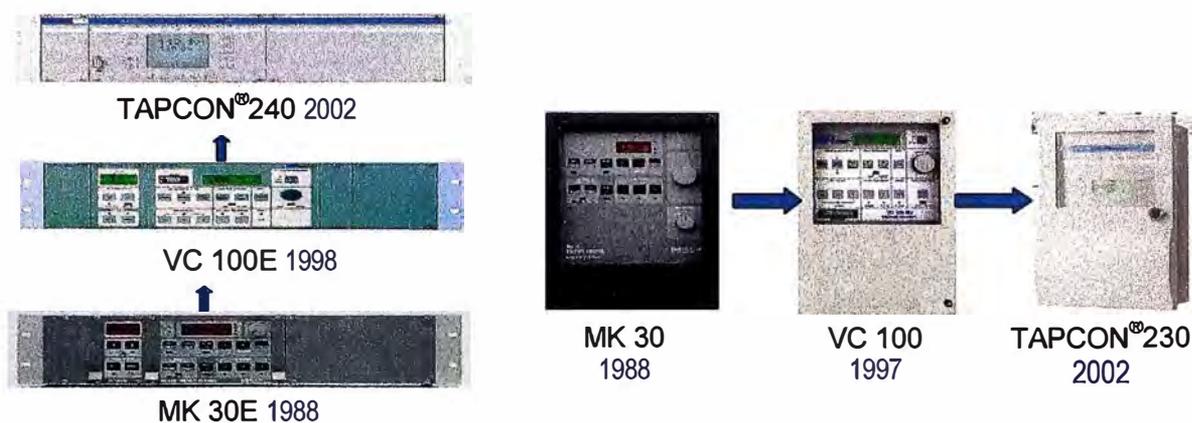


Figura 3.21 Regulador de Tensión Tapcon 230, 240 (Fuente: Catálogo TAPCON -240MR-BA 222/03sp.1203-500. 222-03-02-0)

3.1.11 Indicador de nivel radial y axial

Estos indicadores de nivel su función es dar señal alarma o disparo cuando el nivel de aceite alcanza sus valores máximos o mínimos y son dos tipo radial y axial esto depende del diseño del tanque de expansión.

a) Indicador de nivel tipo Radial, se utiliza en tanques de expansión sin compensador elástico, tanques de expansión con conmutador bajo carga, transformadores sin tanque de expansión y como indicador del tanque de aceite del conmutador bajo carga.

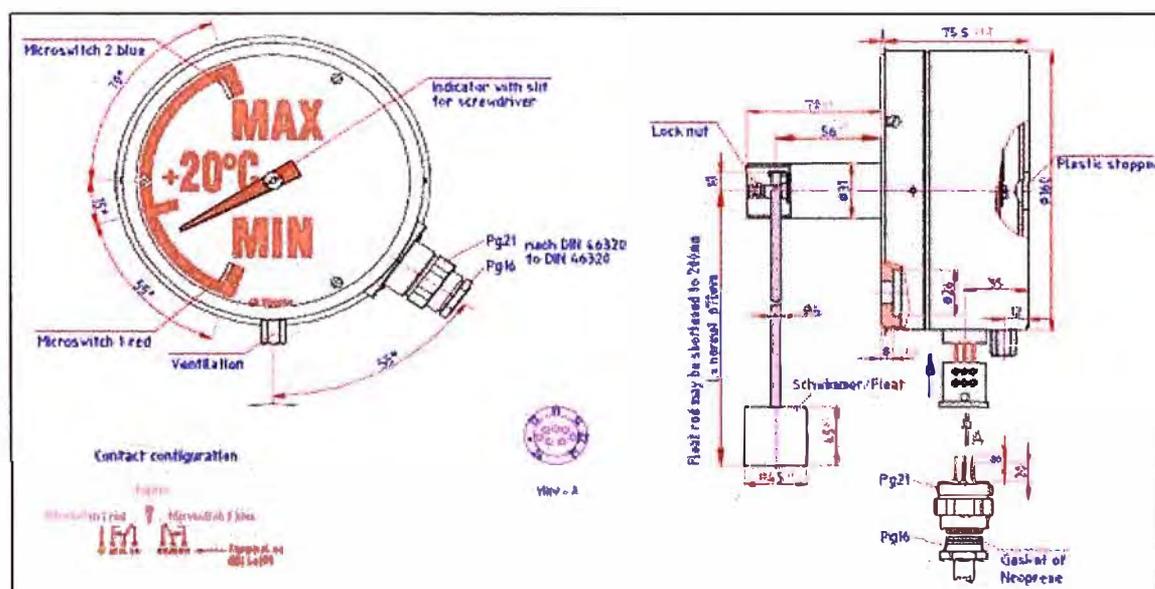


Figura 3.22 Indicador de nivel tipo Radial (Fuente: Catálogo Messko MTO-FK160/S/2/S/S MTO-FK, oil level indicator)

b) Indicador de nivel tipo Axial, se utiliza en tanques de expansión con compensador elástico como se muestra en la figura siguiente.

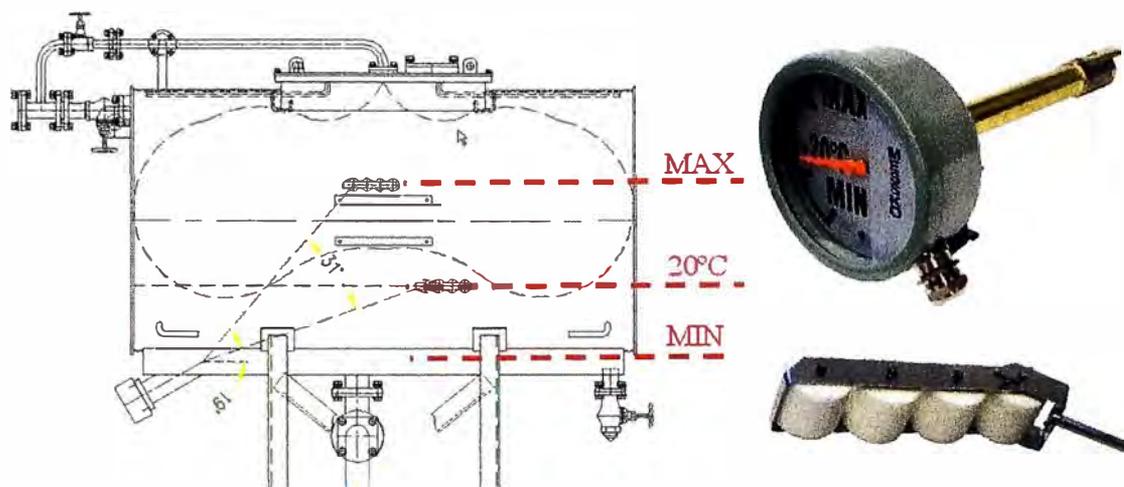


Figura 3.23 Indicador de nivel tipo Axial (Fuente: Catálogo Messko IN 2069/01en • 1203/2000 • 2069/01/01)

3.1.12 Termómetros

Los termómetros tienen la función de medir la temperatura del aceite y de los devanados cuando el transformador se encuentra en operación de esta manera se protege a los transformadores cuando los valores de temperatura del aceite o en los devanados igualan o sobrepasan los calculados mediante las señales de alarma y disparo así mismo controlar la entrada y salida de los sistemas de refrigeración de acuerdo a la medición de las temperaturas.



Figura 3.24 Grupo de imagen térmica (Fuente: Capacitación Transformadores de Potencia – Cadafé - SIEMENS-

3.1.13 Rele Buchholz

Este dispositivo tiene la función de proteger para equipos que contienen llenos de aceite, como opera este equipo ante una generación lenta de gas en el transformador causado por descargas parciales o por la pérdida de aceite debido a una fuga de aceite además cuando se produce un golpe de presión causado por arco eléctrico de gran energía.

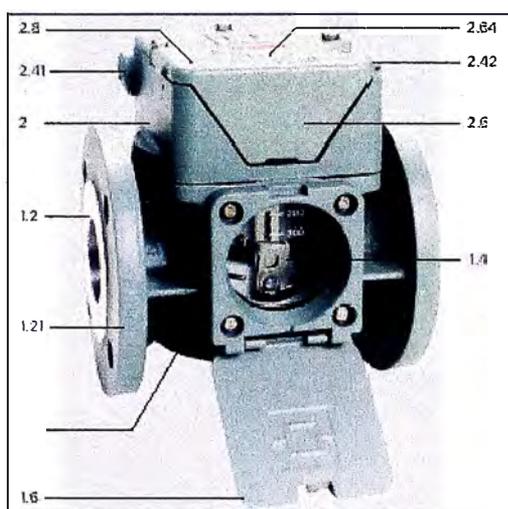


Figura 3.25 Relé Buchholz DN 80 (Fuente: Catálogo CEDASPE Relé DN80- CEI UNEL 21006)

Durante el servicio el relé está completamente lleno de aceite, ambos flotores están en su posición extrema superior. Durante una producción lenta de gas, las burbujas se acumulan en el relé, haciendo descender uno de los flotores, el cual envía una señal de alarma al acumular $\sim 200\text{cm}^3$. Con una mayor acumulación de gas actúa el segundo flotador enviando una señal de desconexión.

Habiendo fuga de aceite en el transformador, desciende en primer lugar el flotador superior el cual envía la señal de alarma. Al continuar la pérdida de aceite cae el flotador inferior enviando una señal de desconexión, una onda de presión repentina genera una fuerte corriente de aceite en la tubería. La chapa de contención al presenciar una velocidad del aceite mayor a 100 cm/s actúa sobre el flotador inferior el cual envía la señal de desconexión.

3.1.14 Detector de Humedad y Gases

Es un dispositivo electrónico que a través del tiempo a estado evolucionando para mejorar la sensibilidad en los resultados, anteriormente los equipos Hydran tienen la particularidad de sensar la humedad y gases por separado, pero hoy en día los datos se obtienen en línea mediante un mismo equipo Hydran M2, que tiene la propiedad de sensar la humedad y los gases que se producen dentro del transformador durante su operación.

Este dispositivo detecta emisión de gases adicionalmente, sensa la humedad on-line con un sistema inteligente, cuya instalación es muy sencilla.

Los gases más importantes que detectan suelen ser el H₂ y CO, detectando la evolución de los gases en el interior del transformador, para poder dar una señal de alarma o disparo, dependiendo la cantidad de gases que se genera.



Figura 3.26 Hydran M2 (Fuente: Catálogo GE Power Systems GEA-13516)

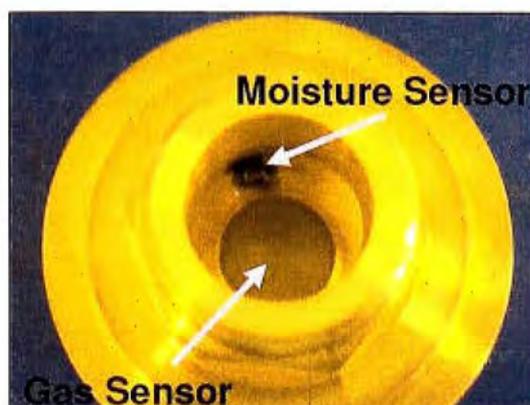


Figura 3.27 Membrana del sensor (Hydran M2) (Fuente: Catálogo GE Power Systems GEA-13516)

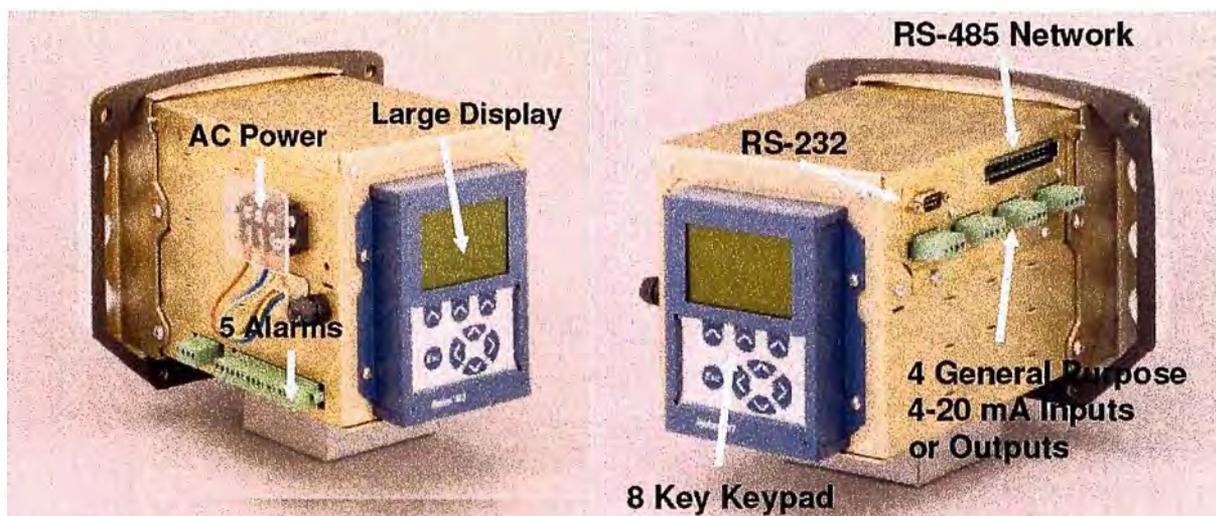


Figura 3.27 Vista interna del Hydran M2 (Fuente: Catálogo GE Power Systems GEA-13516)

Typical Hydran M2 set-up

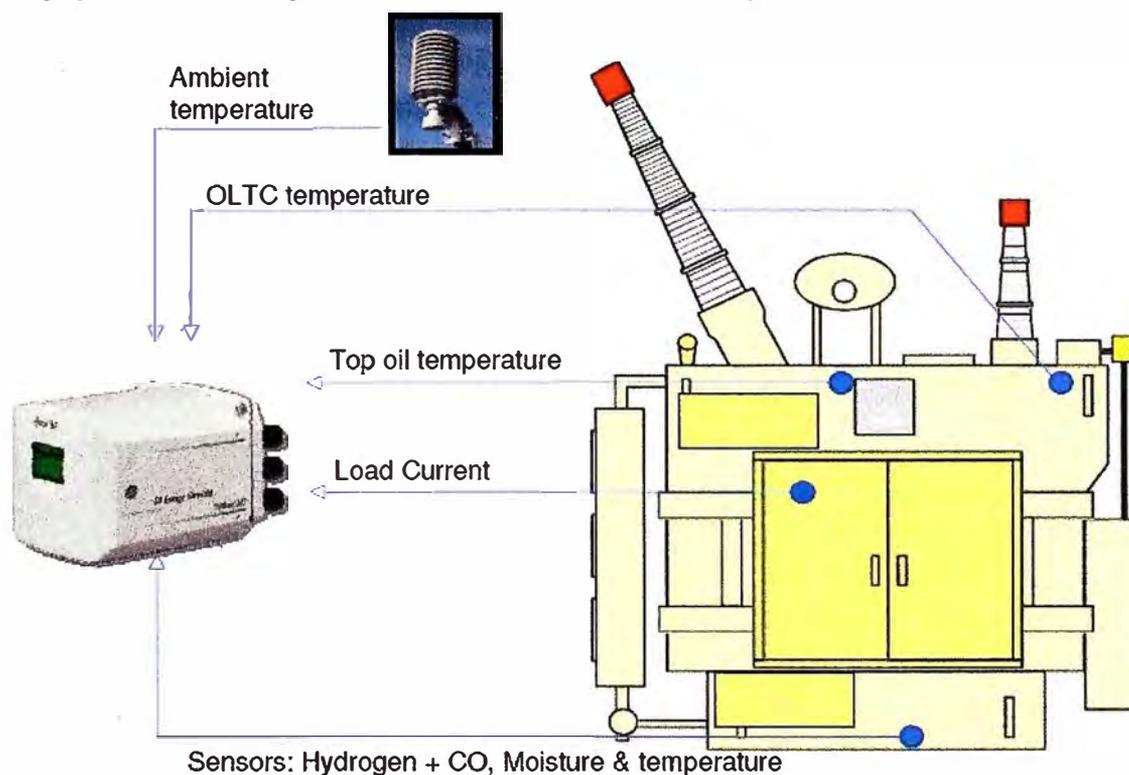


Figura 3.28 Toma de datos para su Operación (Fuente: Catálogo GE Power Systems GEA-13516)

Este dispositivo de monitorio es recomendable instalarlo a los tres a cuatro años de uso del transformador de potencia, pero dejar su diseño para una instalación futura así poder tener un mejor dato de vigilancia en ON-LINE.

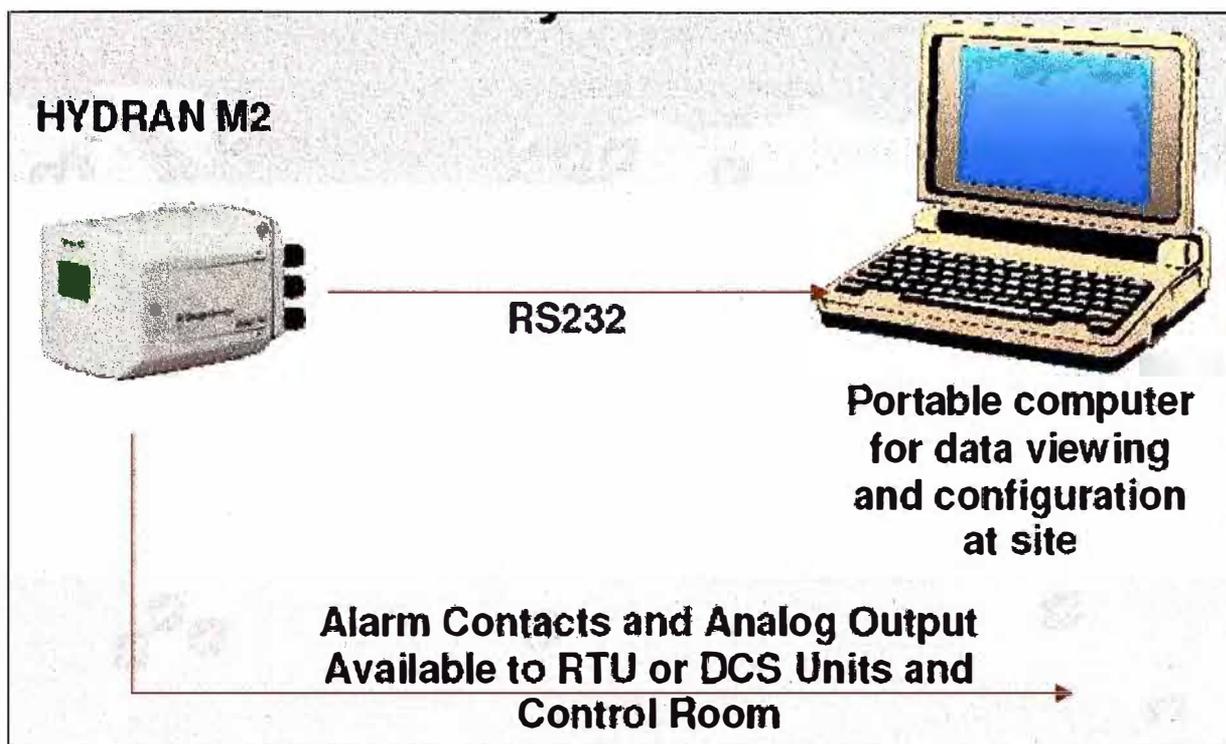


Figura 3.29 Sistema de Comunicación (Fuente: Catálogo GE Power Systems GEA-13516)

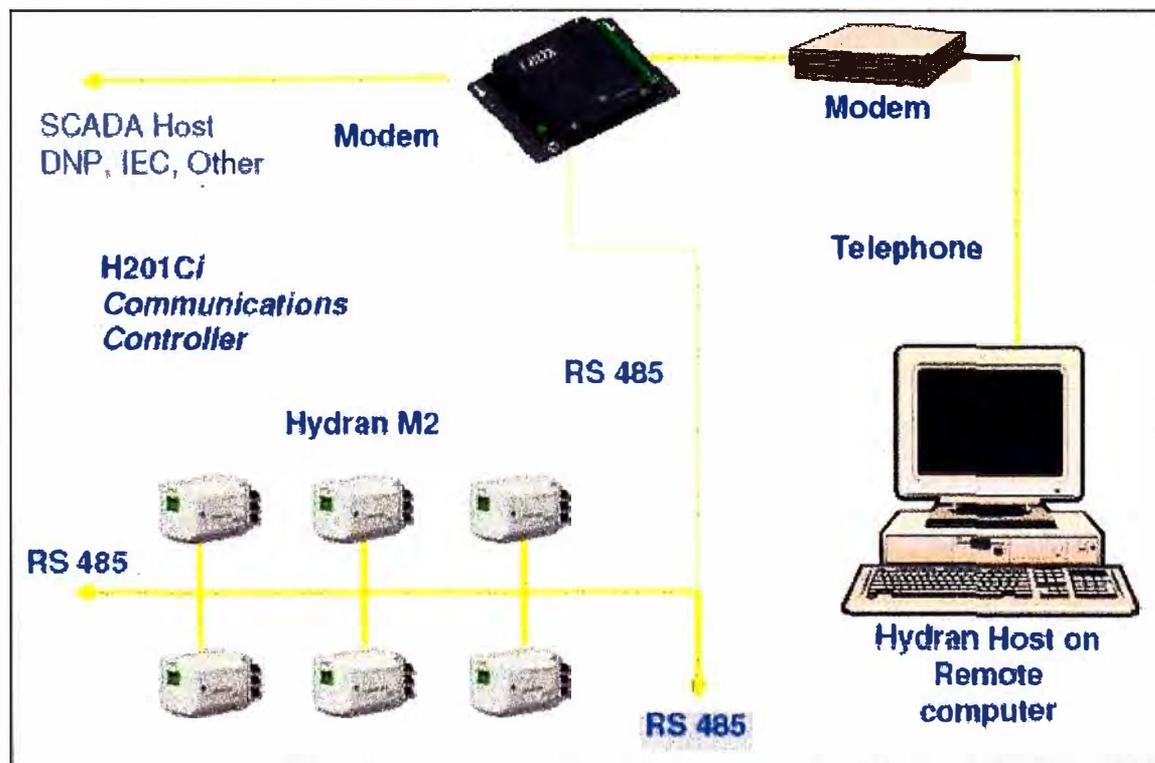


Figura 3.30 Comunicación a distancia (Fuente: Catálogo GE Power Systems GEA-13516)

En la Figura 3.31, se muestra todos los lugares recomendados para su instalación del monitor, se muestran según la categoría, las “tres estrellas” es

un lugar recomendado por la baja temperatura, excelente contacto con el aceite pero tiene la dificultad de conexión de la válvula.

Las dos estrellas, tiene un buen contacto con el flujo de aceite, pero el acceso para su revisión es muy complicado además las altas temperaturas deterioran el sensor del Hydran.

Una estrella es un excelente ubicación para su instalación esta libre de manipuleo, temperaturas bajas, bajo flujo de aceite, pero el bajo flujo de aceite podría afectar la lectura del gas.

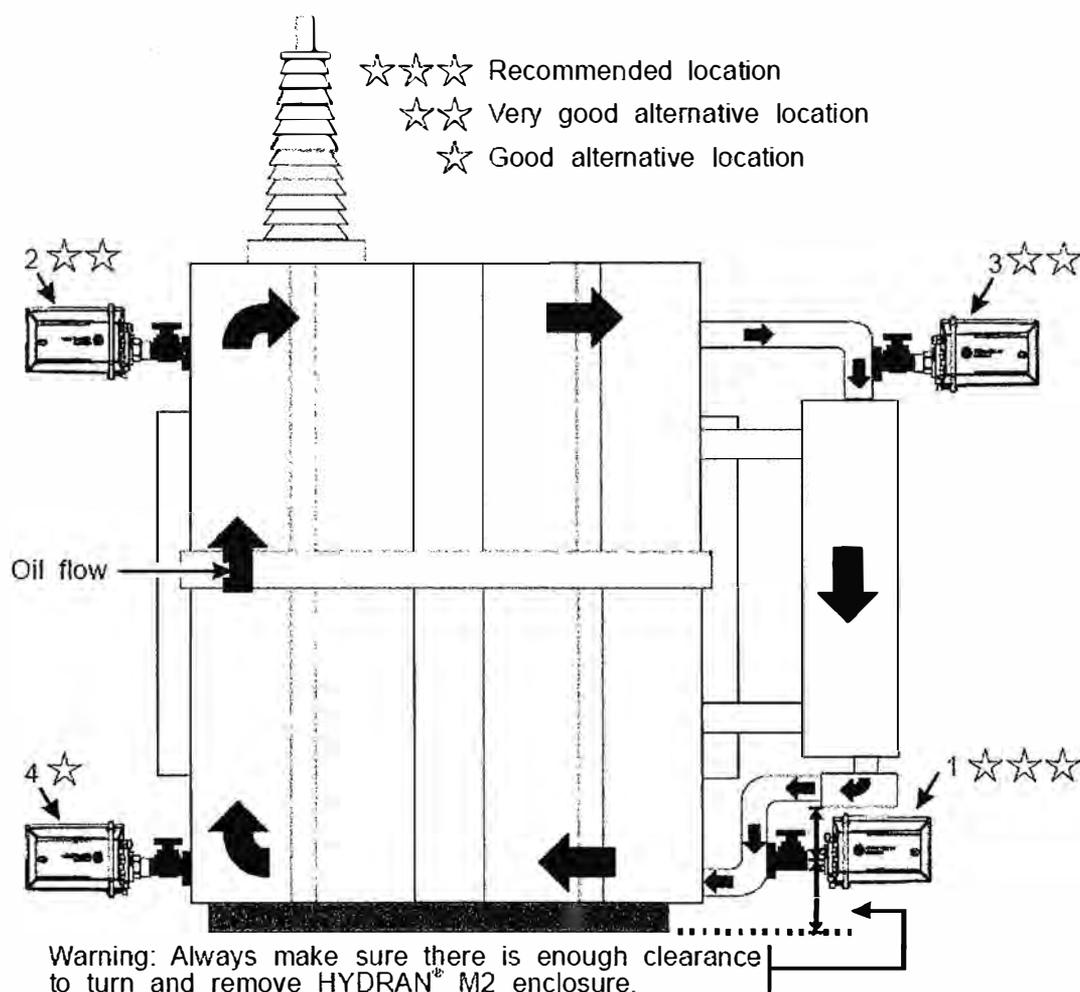


Figura 3.31 Posiciones recomendables para instalaciones del Hydran M2 (Fuente: Manual

HYDRAN M2 GE Power Systems GEA-13516

3.1.15 Relé de flujo direccional

Es un dispositivo de protección del conmutador, para cada conmutador bajo carga que se fabrique se requerirá un relé de protección RS 2001, su función principal sirve para la señalización de un fallo en el interior del cambiador de

tomas con carga, este relé se activa cuando es provocado por un fallo, flujo de aceite sobrepasa un valor preestablecido y así permite la desconexión del transformador a través de los interruptores quedando sin tensión, así evitando el daño provocado en el cambiador con carga.

El relé de protección es parte integrante del cambiador de tomas con carga y esta sometido en sus características bajo la norma IEC-60214.

Características técnicas del relé, grado de protección IP 54, en el cuadro siguiente se muestra la asignación de los valores de respuesta a los tipos de cambiador de tomas en carga:

Tabla 3.8 Valores de tiempo de respuesta (Fuente: Catálogo MR BA 059-06sp.0304-500.059-06-02-0.F0015304)

Frecuencia (Hz)	Valor de respuesta (m/s)	OLTC tipo
50/60	0.65	A, VV
	1.20	V, VV (con OF 100), MS, M (sin M I 1500, M I 1200)
	3.00	R, RM, T, G, M I 1500, M I 1200
16 2/3	4.8	G - 16 2/3 Hz M - 16 2/3 Hz

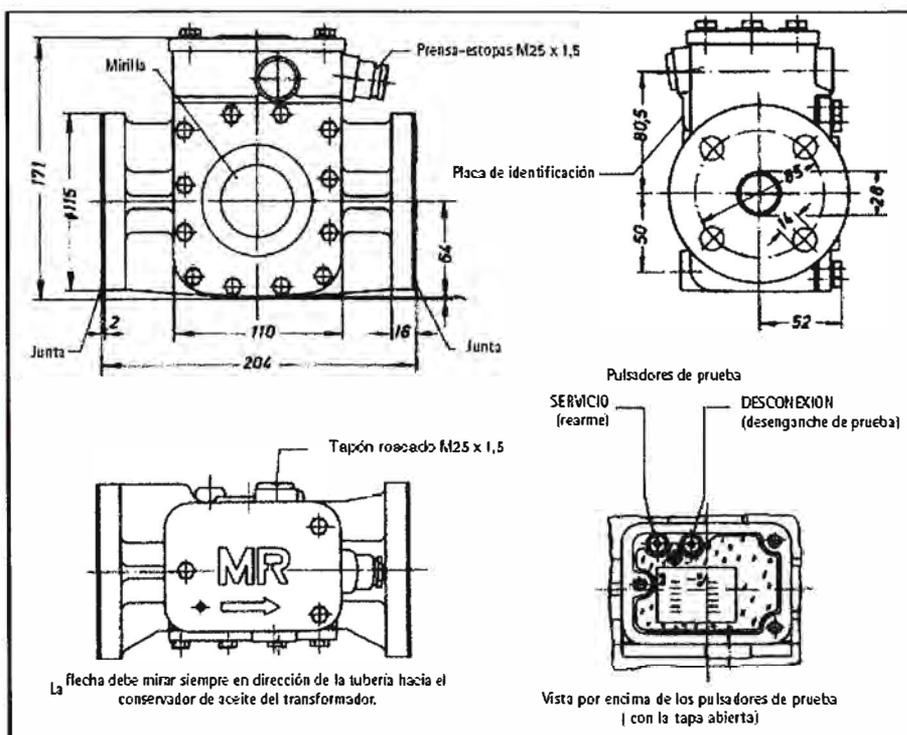


Figura 3.32 Relé de Protección RS 2001 (Fuente: Catálogo MR BA 059-06sp.0304-500.059-06-02-0.F0015304)

3.1.16 Filtro Silicagel

Para seleccionar el tamaño del filtro silicagel depende del cálculo volumen de aceite requerido en todo el transformador, este dispositivo no tiene ningún contacto eléctrico dentro de este deposito se almacena un material de silica que es higroscópica que tiene la particularidad de absorber la humedad del compensador elástico, la silica cuando seca es de color naranja y cuando se humedece es de color blanco.



Figura 3.33 Filtro Silicagel (Fuente: Capacitación Transformadores de Potencia – Cadafe - SIEMENS-2002)

3.1.17 PT100 combi well

Es un indicador y sirve para la transmisión del valor de medición de la temperatura. La sonda térmica de un termómetro indicador se introduce en la Vaina Doble, que se ubica en la tapa del transformador como una especie de termo pozo, de esta manera se indica in situ la temperatura en el termómetro indicador.

Para la transmisión remota se conecta un indicador de temperatura eléctrico a la resistencia de medición Pt100 (4) integrada. En lugar de la salida Pt100 la vaina doble puede contener una salida análoga 4..20mA.

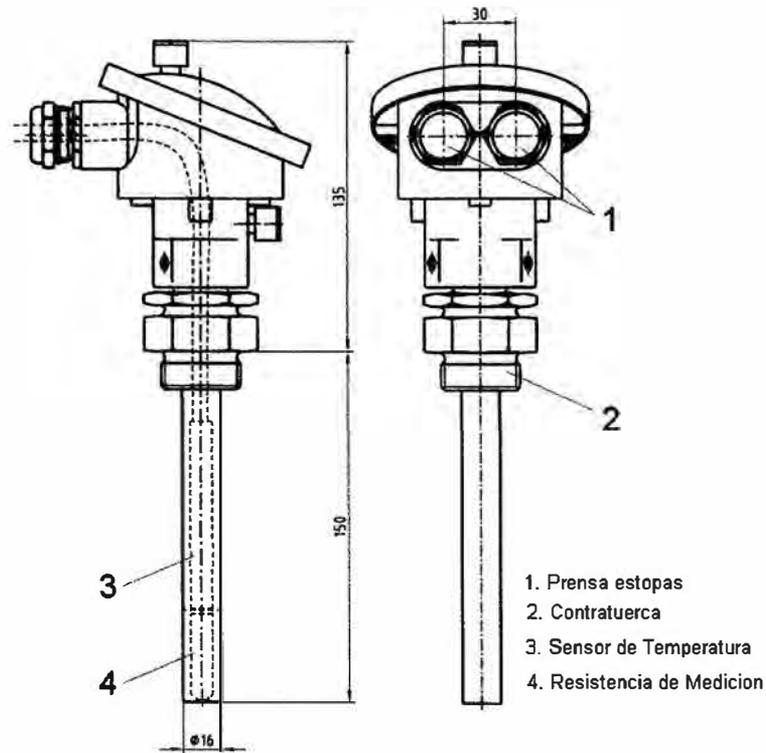


Figura 3.34 Detalles del PT100 (Fuente: Catálogo Messko IN2057-01 en. 0802-2000. 2057-01-01)

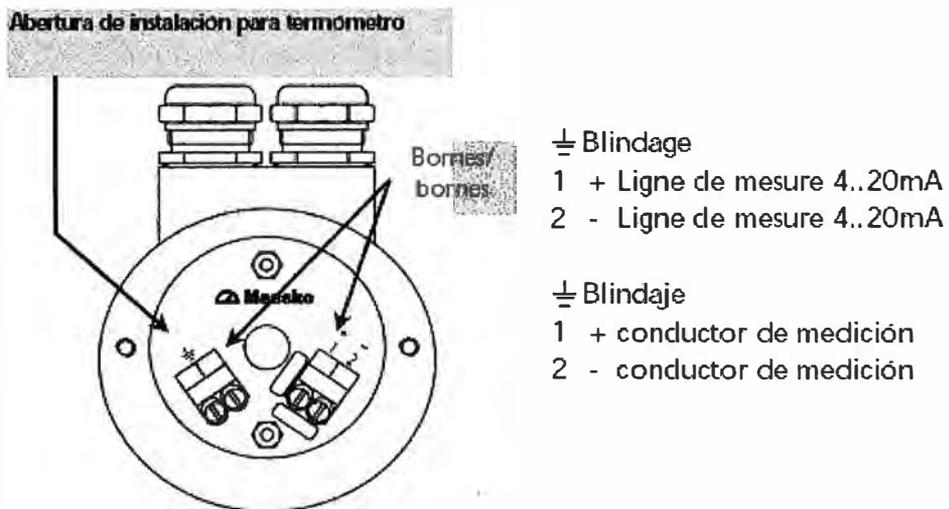


Figura 3.35 Conexionado del PT100 (Fuente: Catálogo Messko IN2057-01 en. 0802-2000. 2057-01-01)

3.1.18 Ibox

El iBOX™ es un sistema integrador de controlador de otros equipos de la Subestación, a través de ella se interconecta con una avanzada funcionalidad y múltiples puertos de comunicación local con entradas y salidas I/O.

Entradas Digitales:

- 8 Puertos ópticos
- 24 Vdc, 48 Vdc hasta 125Vdc
- Con indicadores de LED
- El burden típica de Corriente es de 4-5mA por entrada.
- Máxima disipación del calor es de 0.5W, por entrada desde corriente con burden de entrada hasta 124 Vdc.

Control de Salidas

- 4 Perturas/Cierre 0 2 Aperturas/Cierre y dos formas de contactos.
- Seguridad de falla: Simple punto de falla de integración, selección antes de la operación (SBO) funcionalidad.
- 35 W ruptura @ 150 Vdc
- 180 W ruptura @ 30 Vdc
- 6 Amp. Capacidad de Corriente

Comunicaciones

- Protocolos: Modbus, DNP3.0 y IEC 870-101
- 3 puertos seriales plus WESMAINT para configuración y mantenimiento
- Velocidad: 300 bps a 38.4 Kbps
- Indicadores LED, TX, RX RTS, CTS, DCD
- Conexión: DB-9F, RS-232/RS-485

Energía

- Opciones de entrada: 20-60 Vdc, 7 W máxima entrada de energía.

Temperatura de Operación

- Temperatura de operación -40 a +80 °C
- Humedad 93%

Software de mantenimiento

- WESMAINT
- Requerimiento de Sistema: IBM PC o compatible.

Configuración de Software

- ConfigPro
- LogicLinx Editor (if using LogicLinx)



Figura 3.36 Ibox para transmisión de datos (Fuente: Catálogo GE Power Systems GEA-13488 (9/03)) GEA-13516)

3.1.19 Unidad Terminal Remota (RTU)

Es un equipo pequeño versátil, de fácil instalación debido a su sistema modular tipo riel DIN, tiene un bajo costo.

Operación:

Su interoperabilidad de acuerdo a la norma IEC 60870-5-101 y IEC 60870 - 5 - 104

Temperature range -20 ... +70°C

EMC+ (<60V=1,5KV),(>110V=2,5KV)

Tiene una ingeniería simple, no requiere ninguna herramienta adicional ni licencias para su aplicación, su instalación de software es practico con sistema Plug&Play para las partes y repuestos con SIM-Card, su manipuleo es simple. En la figura 3.37 se muestra los protocolos de comunicación hacia sistemas unificados de red mediante radio frecuencia o por vía fibra óptica reuniendo hacia un centro de control todas la señales requeridos por el usuario.

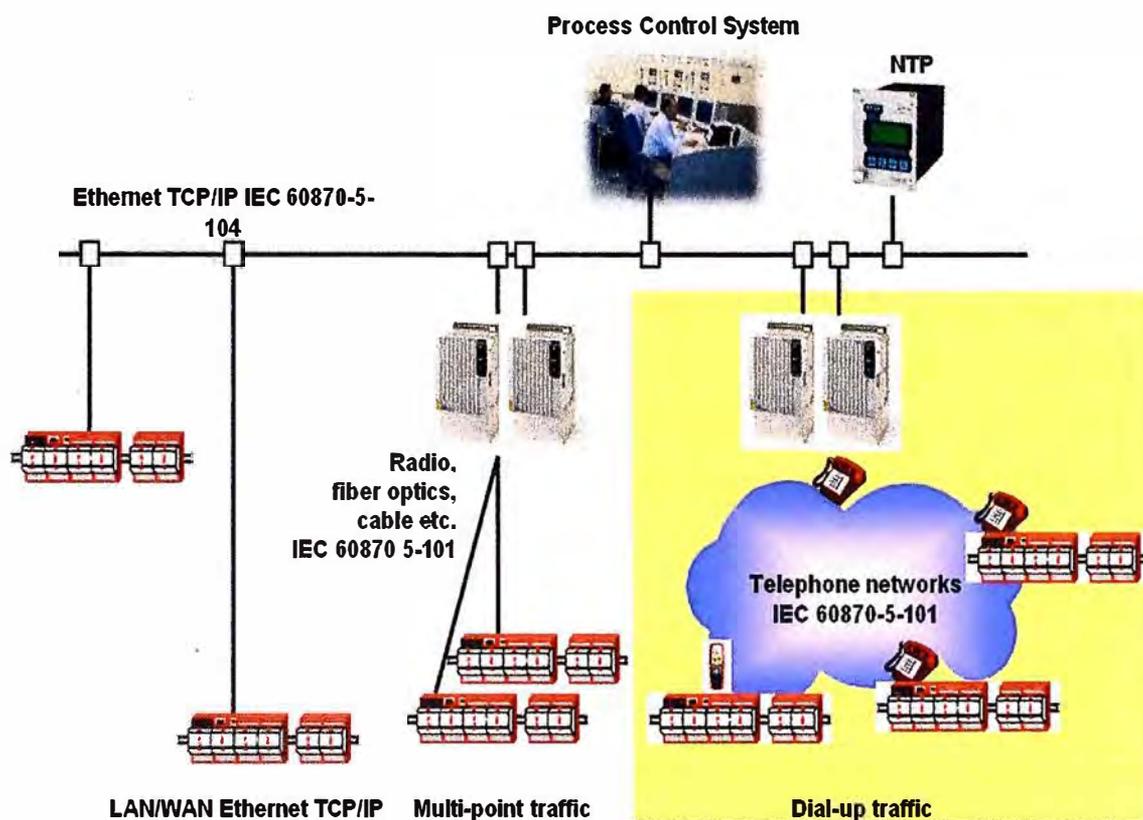


Figura 3.37 Sistema de comunicación de RTU (Fuente: Presentación PPT- Compact Telecontrol System TM 1703 mic -SIEMENS)

Los parámetros de aplicación se gravan en SIM-Card, además tiene dos relé de salida para fallas con 6 entradas binarias de 24-60 Vdc, con interface entre módulos para entradas y salidas.

Tiene interface de comunicación remota: V23/V28, unbalanced or dial-up (IEC 60870-5-101), Ethernet TCP/IP (IEC 60870-5-104).

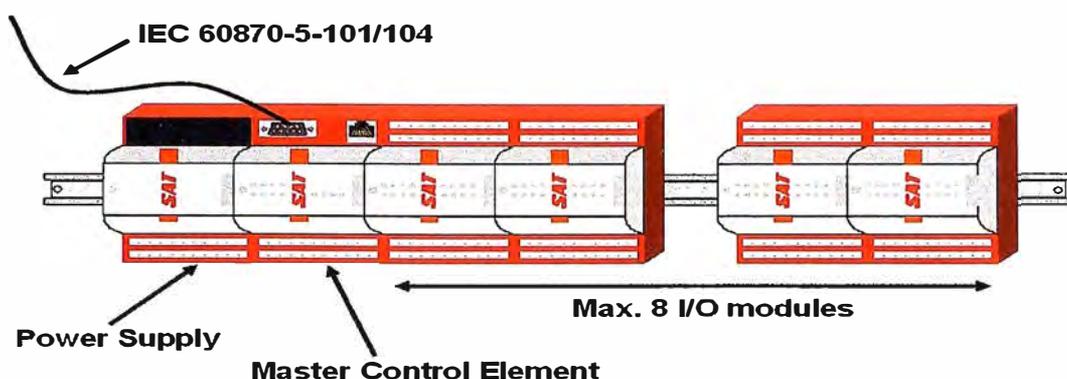


Figura 3.38 Módulos de la RTU (Fuente: Presentación PPT- Compact Telecontrol System TM 1703 mic -SIEMENS)

3.1.20 Transformadores de corriente Medida y Protección

Su función es reducir la corriente en diferentes escalas dependiendo del grado de precisión ya sea para protección con clase de 5P20 y para medida con clase de 0.2, se ubica generalmente en la salida de los Bujes de AT, BT y BT es decir en las patas de los Bujes o también pueden ser ubicados en los neutros de cada configuración.

Tiene múltiples aplicaciones se utiliza como funcionalidad para equipos de regulación, para imágenes térmicas de las temperatura de los devanados de AT, MA y BT, la temperatura del devanado se mide al conocer la corriente por una gradiente se obtiene esta temperatura que se refleja en una imagen térmica, para protección diferencial, sobrecorriente, sobretensión, apertura de interruptores, etc.

Los transformadores de corriente a suministrarse, deberán cumplir los requerimientos de la Norma IEC – 60044, o ANSI C57.13.

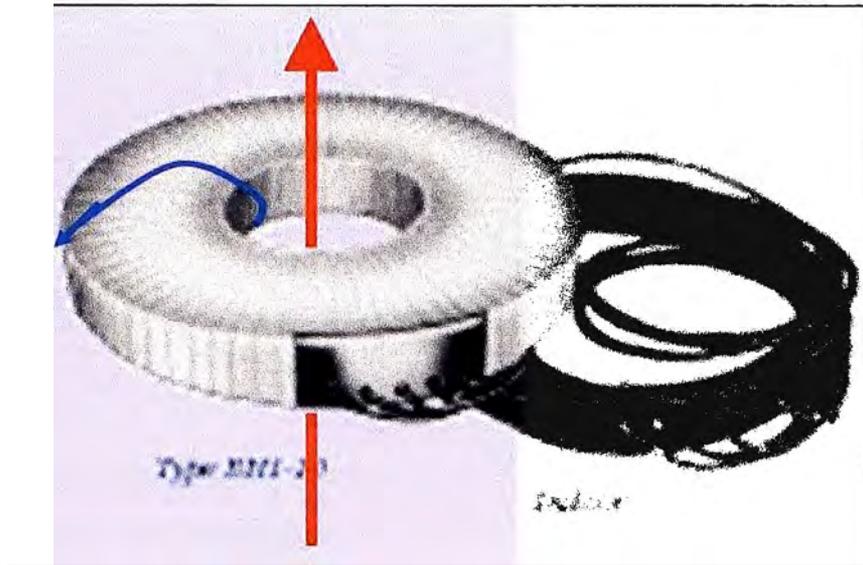


Figura 3.39 TC para Bujes (Fuente: Presentación PPT- Compact Telecontrol System TM 1703 mic -SIEMENS)

CAPITULO IV

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

4.1. Características de diseño

4.1.1 Condiciones ambientales

Para el diseño de transformadores es necesario tener en cuenta consideraciones de medio ambiente como contaminación, humedad, lluvia, temperatura, es mas el grado sísmico de la zona de trabajo del Transformador es de vital importancia para diseño de zapatas y frenos de las ruedas y demás equipos con grado de vibración adecuado para la zona indicada, con el grado de contaminación se determina las distancias de línea de fuga mm/Kv, la buena especificación de este valor es de vital importancia para determinar el costo del transformador, por lo tanto la especificación debe ser fino.

4.1.2 Elevación de temperatura

La elevación de temperatura de los devanados, sobre la temperatura ambiente, no deberá exceder los 65°C, según norma ANSI C57-12-00 y la elevación de temperatura máxima del aceite no deberá exceder los 60 °C.

La elevación de temperatura del punto más caliente de los devanados (Hot-spot point) con el transformador operando a las condiciones nominales a una temperatura ambiente de 40 °C, no deberá exceder los 105 °C.

Adicionalmente el transformador deberá conservar la relación existente entre la temperatura del aceite y el nivel del tanque conservador.

Durante las pruebas de recepción y en régimen permanente de potencia nominal, la temperatura exterior de las paredes, tapa y fondo de la cuba, no deberá exceder 90 °C.

4.1.3 Nivel Promedio de sonido audible (DB)

El diseño, la fabricación y el posicionamiento de las bobinas en el interior del transformador deberá ser tal que minimicen la vibración y el ruido.

La prueba de nivel de ruido audible en el transformador no excederán los valores indicados en la norma NEMA TR1-Tabla 0-2, Nueva revisión 1993 (R2000), se deberá prestar especial atención en el cumplimiento de estos requisitos.

El nivel de sonido audible no deberá exceder 80 DB para el 100% del voltaje nominal en sistema de refrigeración ONAF y deberá estar de acuerdo con lo estipulado en la norma ANSI C57-12.

En las pruebas en situ de la medida del ruido es muy complejo debido a que se incorpora ruidos externos es posible medir pero no se tiene la certeza de obtener el valor garantizado por los fabricantes.

4.1.4 Impedancia

La definición de impedancia por diseño es un valor teórico, se deberá garantizar plenamente que el transformador estará apto para trabajar en paralelo cuando sea el caso o puede ser parte de un banco de transformadores.

Generalmente los valores de impedancia medida es dada por el usuario cuando se trata de operaciones del transformador en paralelo, pero si su operación es independiente se calcula por diseño teniendo en cuenta las equivalencias y calculo de impedancia equivalente total.

- La impedancia de AT/ MT
- La impedancia de AT/ BT
- La impedancia de MT/BT

4.1.5 Pérdidas en Transformadores

Este concepto de pérdidas es de vital importancia para el diseño del transformador y el consumo proyectado a futuro, en el diseño de

transformadores es posible obtener soluciones técnicas en una variedad de combinaciones de cantidad de materiales del hierro y cobre.

Los pesos de los materiales inciden directamente en el costo de adquisición y las pérdidas, en los gastos operativos del transformador a futuro.

La alternativa más económica para el usuario será aquella que arroje un mínimo valor de pérdidas para el costo de adquisición, más el valor actualizado de los gastos operativos, durante su operatividad.

Con formulas de factor de capitalización y factor de amortización se obtienen los valores de K_o y K_c que son coeficientes de pérdidas en vacío y bajo carga respectivamente, con estos datos de las pérdidas en vacío y carga que el fabricante de transformadores deberá proporcionar así se evaluara el consumo total en valores monetarios a futuro, entonces el comprador definirá cual es el valor por consumo del propio transformador a un tiempo determinado.

4.1.6 Pérdidas en vacío P_o

Son producidas en el circuito magnético, excitado a su tensión nominal V_n , se conecta el primario al transformador su tensión nominal V_n y en el lado secundario en vacío, es decir sin carga $I_2 = 0$, ver figura 4.1, llamado también Pérdidas en el Fierro.

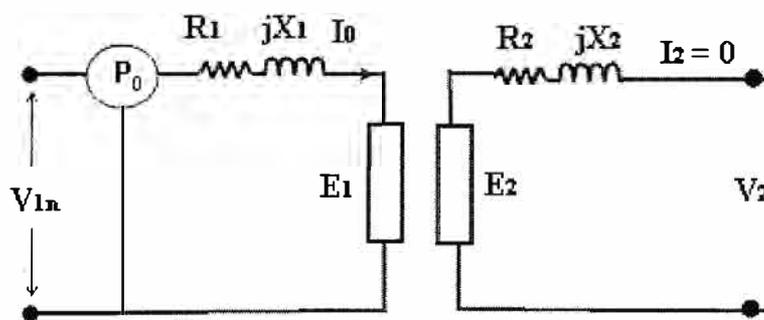


Figura 4.1 Ensayo en vacío (Fuente: E. E. Staff, Circuitos Magnéticos y Transformadores)

Inicialmente los valores son calculados teóricamente, en campo de pruebas se mide en valores reales las pérdidas del Fierro obteniendo valores cercanos a los teóricos.

4.1.7 Pérdidas bajo carga P_c

Son producidas en los arrollamientos, cuando circula la corriente nominal. Varían en proporción al cuadrado de la corriente de carga, como se muestra en la Figura 4.2 a la salida V_2 se conectan cargas reactivas y resistivas, también llamado Pérdidas en el Cobre

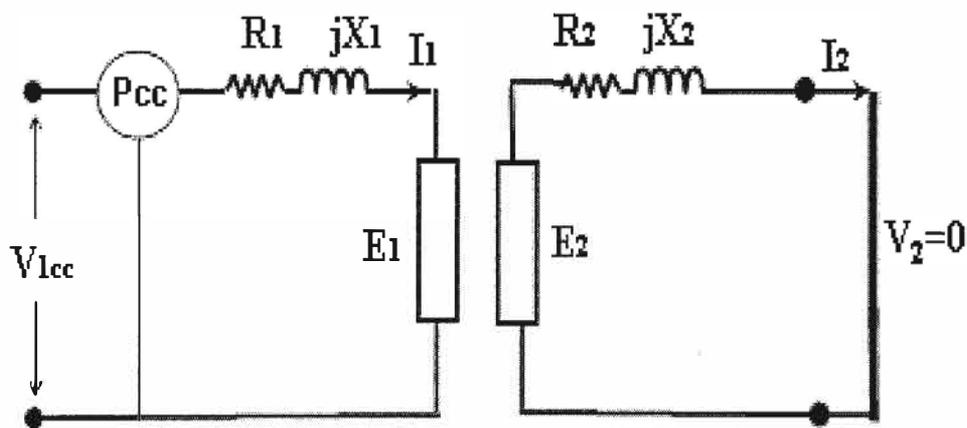


Figura 4.2 Ensayo con Carga (Fuente: E. E. Staff, Circuitos Magnéticos y Transformadores)

4.1.8 Capacidad de sobrecarga

Los devanados del transformador y su equipo asociado deberán ser diseñados para operar con cargas de corta duración, superiores a la capacidad nominal continua teniendo una expectativa de vida normal o de vida reducida de acuerdo con la norma ANSI C57-92. Se deberá asegurar que la capacidad de sobrecarga de los devanados no esté limitada por los componentes asociados

El transformador deberá ser capaz de poder entregar sin disminución de la vida útil las sobrecargas admisibles que fija la Publicación IEC 354.

En general, el transformador deberá cumplir con lo especificado en la Publicación IEC 354 respecto a condiciones de emergencia.

El transformador deberá proporcionar en régimen permanente de funcionamiento la capacidad nominal, bajo las condiciones ambientales señaladas en esta especificación técnica, y sin exceder las elevaciones de temperatura indicadas

4.1.9 Sobretensión

La norma IEC 60071-1 clasifica los esfuerzos a los cuales será sometido el Transformador de Potencia de acuerdo a los parámetros apropiados tales como la duración de las tensiones a frecuencia industrial o a la forma de honda de una sobretensión en función de su efecto sobre el equipo de protección como tensiones continuas (frecuencia industrial) originada por el sistema en condiciones normales, sobretensiones temporales; originadas por fallas, maniobras tales como rechazo de carga, condiciones de resonancia, no lineales (ferroresonancia), sobretensiones de frente lento; originadas por fallas, maniobras o por descargas atmosféricas directas sobre los conductores de las líneas aéreas sobre el transformador conectada bajo dicha línea.

Sobretensiones de frente rápido, pueden originarse por maniobras, descargas atmosféricas o fallas.

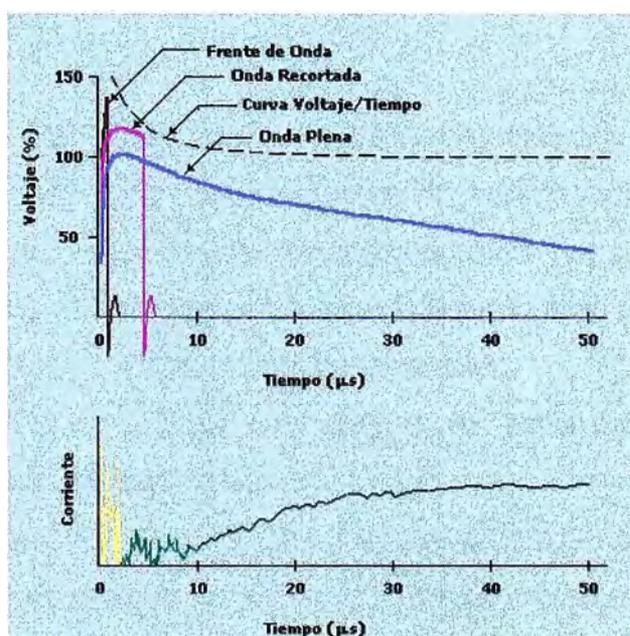


Figura 4.3 Formas de onda de tensión (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006*)

Ocasionalmente ocurren las sobretensiones combinadas, pueden tener algún origen de los mencionados anteriormente, ocurriendo entre las fases del sistema (fase-fase) o en la misma fase entre partes separadas del sistema.

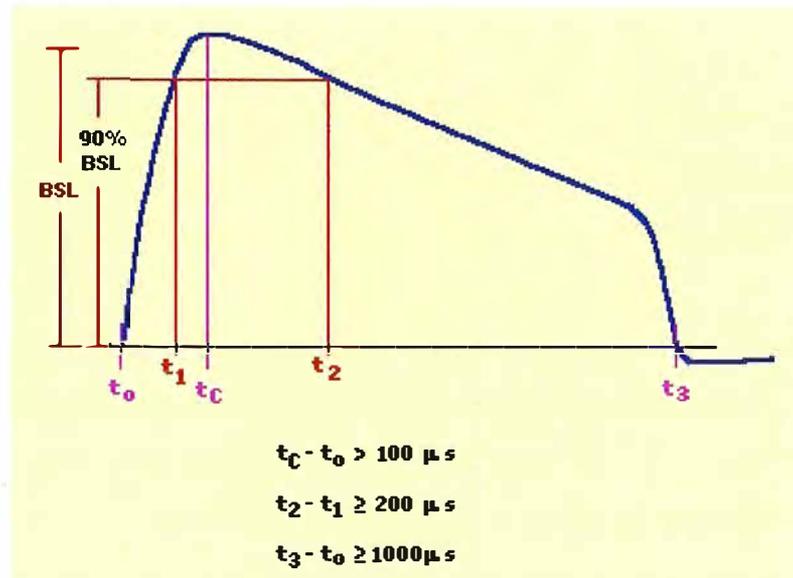


Figura 4.4 Impulso de Maniobra (Fuente: Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006)

4.1.10 Aceite aislante

Los aceites dieléctricos minerales son fracciones de petróleo en cuya composición entran hidrocarburos puros de baja volatilidad, de naturaleza predominante naftenica, libres de compuestos polares, no corrosivos a las partes metálicas del transformador hierro-cobre, baja solubilidad frente a las pinturas y barnices presentes en el interior del transformador.

Químicamente inactivo frente a la celulosa del papel dieléctrico, compatible con otros fluidos dieléctricos minerales.

La función principal del aceite dieléctrico es un medio aislante y refrigerante por naturaleza para las partes activas de los transformadores, disipando el calor producido por la operación del transformador aislando las partes energizadas además es un buen antioxidante porque mantiene las partes metálicas libre de oxidación.

En todos los procesos de solicitud de transformadores es de vital importancia el análisis físico químico, cromatográfico y el no contenido de PCB, como data de inicio de la información para transformadores nuevos y el control anual de las muestras de aceite para un mejor mantenimiento predictivo y preventivo.

El análisis de contenido de inhibidor se realiza con el método normalizado ASTM D2668 este es el método de prueba estándar para determinar el porcentaje de 2-6 Diterciario-Butil Paracresol (DBPC) y 2-6 diterciario -butil fenol (DBP) , utilizados como antioxidante en el aceite del transformador, el método ASTM D2668 utiliza un espectrómetro infrarrojo para determinar el contenido de inhibidor en porcentajes (%)

Esta otra norma ASTM D3487 esta normalizada que da las especificaciones requeridas como limites aceptables para aceite dieléctrico nuevos.

Esta especificación determina para aceites de Tipo I y Tipo II, el Tipo I es cuando el aceite es sometido a una oxidación normal y el Tipo II es cuando el aceite es sometido a condición de oxidación mayor (severa).

Limites de valores especificados bajo la Norma ASTM D3487

Tipo I limite contenido de inhibidor (%): 0.008 max.

Tipo II limite contenido de inhibidor (%): 0.30 max.

La rigidez dieléctrica del aceite para transformadores es muy importante este valor es la diferencia de potencial máxima aplicada entre dos electrodos sumergidos en aceite, separados una distancia de 2mm o 2.5mm según la Norma ASTM D1816 o VDE 0370, esto refleja la resistencia del aceite al paso de la corriente, cuando esta se ha reducido de su valor normal, indica la presencia de partículas polares conductoras y especialmente la presencia de agua disuelta en el aceite.



Figura 4.5 Prueba de Rigidez Dieléctrica del aceite (Fuente: Laboratorio de Prueba de Materiales, Fábrica de Transformadores de Siemens en Nüremberg)

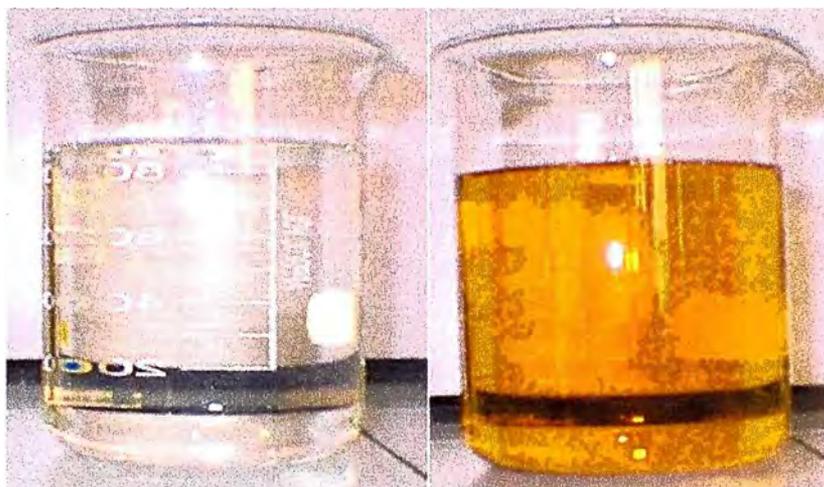


Figura 4.6 Aceite Nuevo y Aceite Usado (Fuente: Laboratorio de Prueba de Materiales, Fábrica de Transformadores de Siemens en Nüremberg)

Clasificación/ Tipo de Equipo	Límites U_d (kV)/2.5 mm
Transformadores de potencia e instrumentos > 170 kV	> 50
Transformadores de potencia > 72.5 ... 170 kV	> 40
Transformadores de instrumentos 170 kV	> 30
Transformadores de potencia 72.5 kV	> 20
Cortacircuitos llenados con aceite	> 20

Figura 4.7 Límites de tensión disruptiva para aceites en servicio (Fuente: Laboratorio de Prueba de Materiales, Fábrica de Transformadores de Siemens en Nüremberg)

4.2. Pruebas funcionales de los accesorios

4.2.1 Válvula de seguridad Disparo

Las pruebas funcionales de la válvula de seguridad consiste en activar el buje de indicación que al sobresalir hacia arriba este levanta el banderín de la parte superior, mostrándose a la distancia que efectivamente activo la válvula liberando presión así salvaguardando el transformador de potencia, en el tablero de ventiladores o caja de agrupamiento esta una serie de borneras libres para este caso existen un par de bornes libres para el conexionado hacia la sala de control, para las pruebas funcionales a estos bornes se conecta un multímetro de tal forma que una técnico activa el buje y el multímetro deberá pitar garantizando la operación del equipo en caso de falla.

Una forma de probar en laboratorio es inyectando presión mas de 8, 12, 14 psi, según especificación sobre esta caja de metal de tal modo que la válvula se activa y el multímetro da señal de liberación de presión pitando y cerrando el circuito de operación.

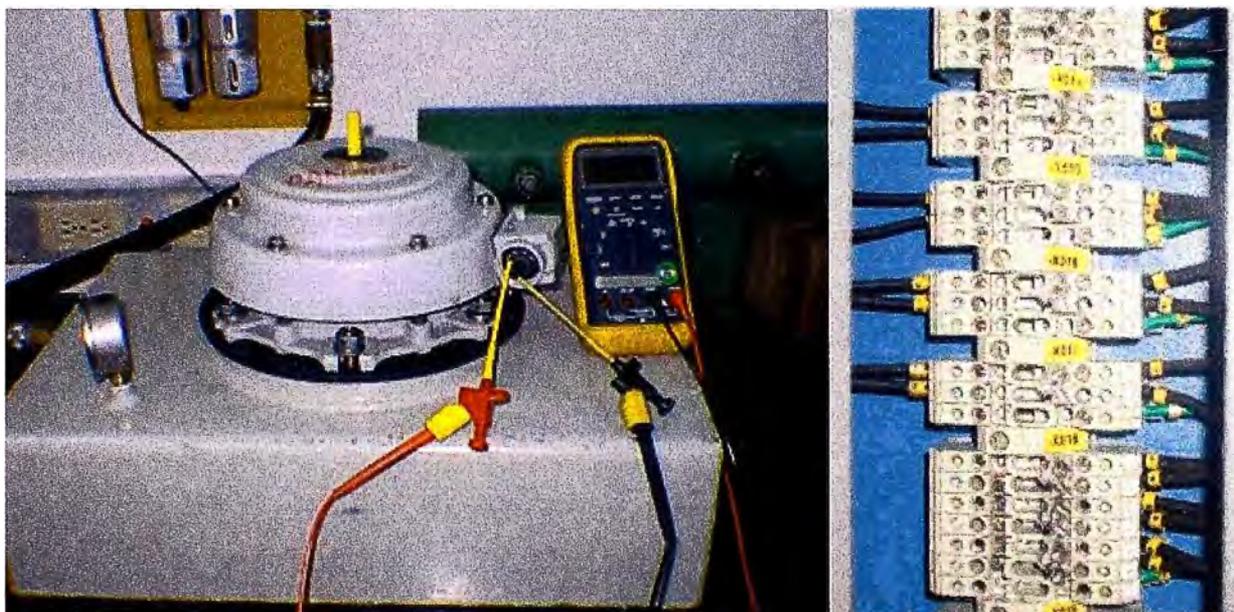


Figura 4.8 Prueba a válvula de Sobrepresion y borneras de conexionado (Fuente: *Capacitación en Accesorios de Transformadores de Potencia – 2006*)

4.2.2 Relé Buchholz Alarma y disparo

Para la realización de las pruebas es necesario entender la filosofía de operación del Buchholz, tiene tres contactos de las cuales, el primer flotador (superior) da señal de alarma por acumulación de gases (falla incipiente), el segundo flotador (inferior) da señal de disparo por ausencia de aceite en la tubería (falla franca) y el tercer contacto está vinculado a la bandera que actúa en caso que se registre un flujo con velocidad mayor 100 cm/s debido a alguna falla interna del transformador que genere tal reacción y se cablea como disparo (también falla franca), se hacemos el conexionado en los bornes libres con un multímetro este pitara cuando se cierra el circuito de alarma y disparo.

Existe un accesorio adicional llamado Rotura de membrana en el conservador del aceite, con la única función de Alarma, es una aplicación del Rele Buchholz, es un rele DN25, más pequeño que el rele DN80, su función

principal es detectar y enviar una señal de alarma por rotura del compensador elástico evitando el ingreso de la humedad al aceite y poder cambiar el compensador.

4.2.3 Funcionamiento de ventiladores (ONAF)

La forma de realizar las pruebas eléctricas de los ventiladores es inicialmente estar seguro de la corriente de los guadamotores y la calibración correcta, luego con la energización se determina el sentido de giro y la corriente de cada ventilador.

Las pruebas de la ventilación forzada se determina mediante el equipo de monitor de temperatura (Qualitrol 509-200), activando el automático o mediante el testeo y utilizando la temperatura de programación que se simula mediante una PC, dando arranque o parada del grupo de ventiladores, es un ejemplo de los tantos equipos de monitoreo.

4.2.4 Accionamiento Conmutador OLTC y NLTC

La secuencia de accionamiento del motor en el conmutador tiene vital importancia ya sea en conmutadores NLTC y OLTC, cuyo accionamiento depende de estas dos modalidades, para un OLTC, este tipo de conmutadores requiere un motor de accionamiento y es posible operar con carga y tensión, mientras el NLTC son conmutadores que accionan en vacío y sin tensión.

Las pruebas que se realicen son electromecánicas, haciendo contactos en los bornes del tablero de control.

CAPITULO V

PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIA

5.1. Relación de las pruebas Eléctricas de Rutina

5.1.1 Resistencia de Devanados

La medición de la resistencia de devanados consiste en aplicar la ley de Ohm, en este caso se inyecta una corriente DC que no supere el 15% de la corriente nominal a fin de evitar el calentamiento de la bobina y alterar la medida. Simultáneamente se registra la tensión en bornes de la bobina.

Durante la inyección de corriente en la medición, no se puede desconectar súbitamente la fuente ya que esto generará una sobretensión que podría poner en riesgo el bienestar de los operarios y de la fuente empleada en el ensayo.

Los registros deben tomarse a la estabilización del instrumento ya que este tipo de medidas se ven afectadas por flujos dispersos y la capacidad del transformador.

Razones por las cuales se realizan la prueba de Resistencia de Devanados:

- ⌘ Contrastar valores calculados y medidos
- ⌘ Verificar la existencia de posibles cortocircuitos entre espiras
- ⌘ Verificar la operación del conmutador bajo carga (si lo hubiera) o vacío
- ⌘ Determinar experimentalmente la componente I^2R de las pérdidas en carga
- ⌘ Determinar la elevación del devanado durante el ensayo de calentamiento

Interpretación de los valores obtenidos:

- ⌘ La diferencia entre los valores calculados y experimentales no debe ser superior al 3%

⌘ La diferencia entre dos fases, transformadores iguales o mediciones previas no debe superar el 5%

⌘ Ya que la medición de la resistencia se afecta por el aumento de temperatura, es necesario referir los valores a una temperatura preestablecida de 20° C para su comparación con medidas anteriores.

Como realizar el conexionado para medir la resistencia en los devanados del transformador.

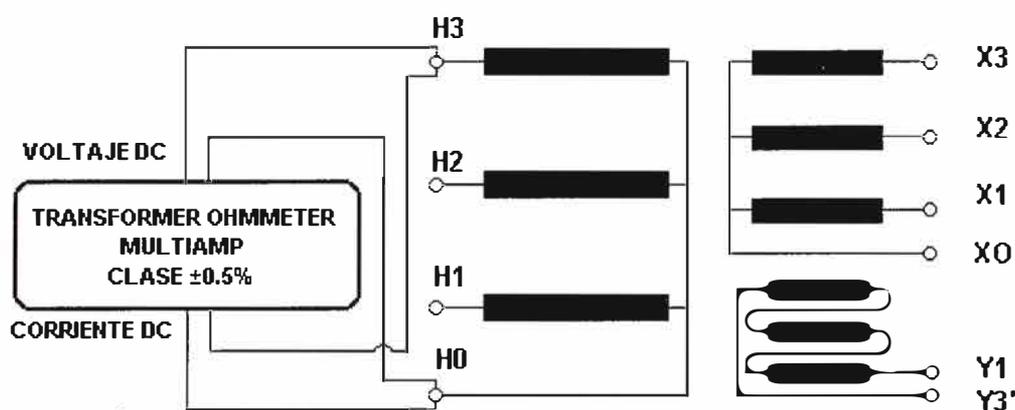


Figura 5.1 Sistema de Conexionado (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006*)

5.1.2 Relación de transformación, polaridad y grupo vectorial del Transformador

Verificar los aislamientos menores ya sea entre espiras o entre secciones de la bobina y detectar cortocircuitos internos dentro de la ejecución, además se verifica el conexionado al conmutador, detectando conexionados sueltos o posibles falsos contactos entre diferentes espiras a través de la corriente de excitación, también se verifica el grupo vectorial y la polaridad de los vectores que corresponden al requerido por el cliente y establecido por diseño del fabricante.

Se hace una comparación con los valores teóricos y medidos en campo de pruebas el error medido deberá ser $\pm 0,5\%$ en comparación con los valores teóricos.

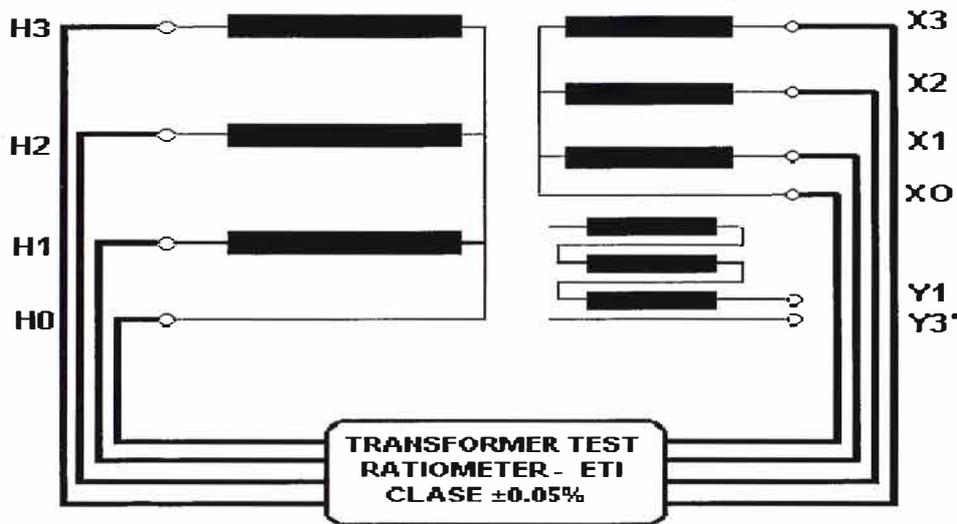


Figura 5.2 Conexión para medir Relación de Transformación (Fuente: Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006)

5.1.3 Relación de transformación, polaridad y curva de saturación de los TC's

Esta prueba es muy importante, para la verificación de los equipos de protección y medida y la polaridad debe ser la correcta para una operación adecuada, además con la curva de saturación se verifica el punto de magnetización del núcleo a una tensión dada y la máxima corriente que satura las bobinas.

5.1.4 Pérdidas en vacío y corriente de excitación

Esta prueba consiste en registrar las magnitudes de pérdidas y corrientes a una tensión y frecuencia establecidas, verificando la correcta operación, ejecución y respuesta del transformador a tensión nominal así eliminar la posibilidad de cortocircuitos o caminos paralelos en las bobinas a través de las pérdidas y la corriente de excitación de cada fase.

Verificar la operación del conmutador bajo carga, verificar el cumplimiento de las condiciones de garantía.

La corriente de magnetización es aquella que mantiene el flujo magnético de excitación del transformador, las magnitudes de la corriente de excitación de un transformador son mayores para las columnas exteriores que para la interior debido al camino magnético de cada lazo, pérdidas en vacío (P_0) no se ven afectadas por la posición del conmutador en transformadores de inducción permanente, lo cual no ocurre en transformadores con booster o de inducción variable.

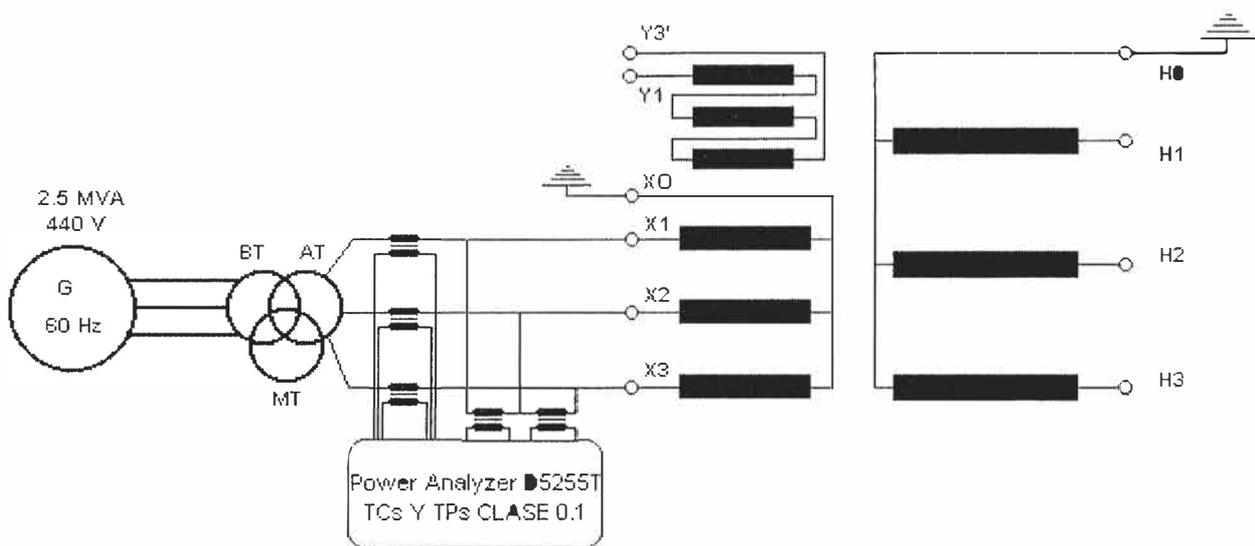


Figura 5.3 Sistema de conexión para pruebas (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia SIEMENS2006*)

5.1.5 Pérdidas en carga y tensión de cortocircuito

Esta prueba consiste en verificar que los valores de pérdidas e impedancia satisfacen los requerimientos del cliente y los valores esperados por diseño, Emplear la condición de máximas pérdidas para evaluar el calentamiento del transformador dependiendo de la etapa de refrigeración en uso, además verifica la operación del conmutador bajo carga,

Las pérdidas en carga son las generadas por la transferencia de potencia del transformador y son función de la magnitud carga.

Están compuestas por $I^2 \cdot R$ o circulación de corriente a través de los devanados y pérdidas adicionales originadas por corrientes de eddy en prensas, apantallamientos magnéticos, paredes del tanque, de igual manera la

impedancia consta de dos componentes. Resistiva y reactiva, predominando esta última es decir la reactiva.

Además en estas pruebas se determinan el grado de pérdidas cuando el transformador operaría con carga cuando entre en servicio y durante su vida útil.

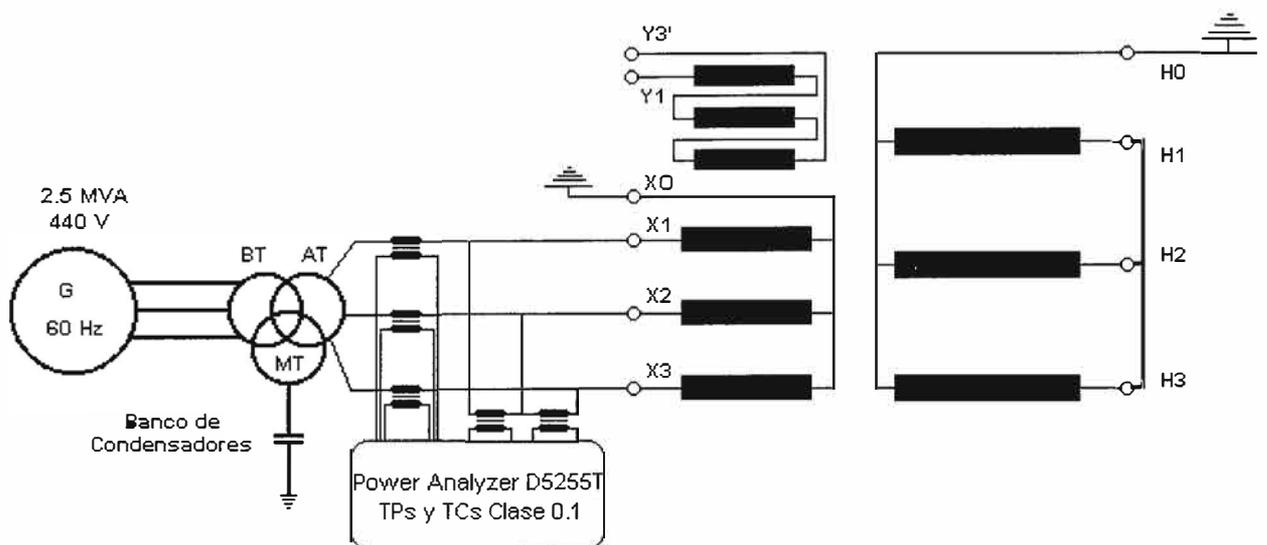


Figura 5.4 Sistema de conexionado para pruebas (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006*)

5.1.6 Tensión Aplicada

Verificar el aislamiento entre bobinas, con respecto al núcleo, al tanque, al conmutador, a las salidas y TCs con respecto a tierra, verificar las distancias eléctricas exteriores e interiores, duración de 1 minuto con VAC a frecuencia nominal.

Detecta la presencia de aire en el aceite o en la estructura aislante así como debilidad en el material.

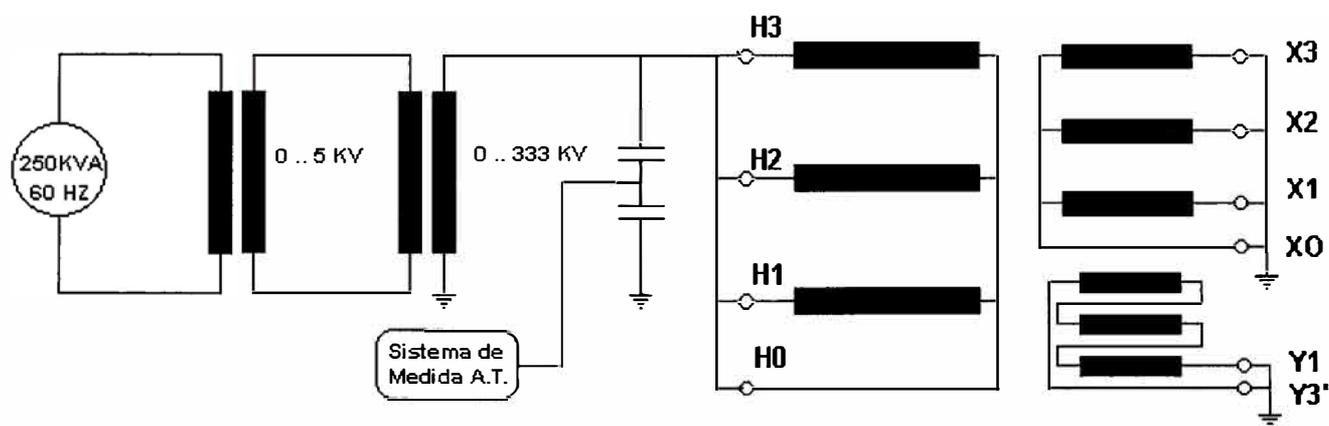


Figura 5.5 Sistema de conexionado para pruebas (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006*)

5.1.7 Tensión Inducida

Esta prueba verifica el aislamiento entre espiras y secciones de la bobina, así dando el cumplimiento de las distancias exteriores, se realiza a frecuencias superiores a la nominal para evitar la saturación del núcleo al ser sometido a tensiones superiores.

Se deben cumplir 7200 ciclos, los cuales deben ser garantizados con base en la frecuencia empleada y el tiempo de duración del ensayo.

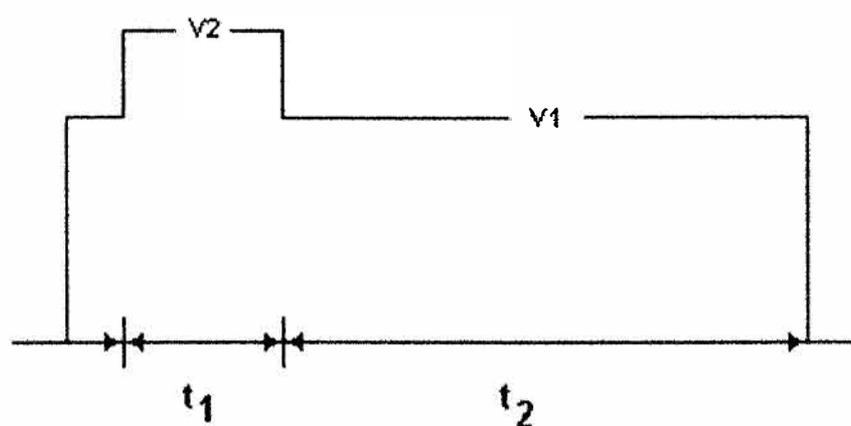


Figura 5.6 Ondas de frecuencia para las pruebas (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006*)

5.1.8 Impulso Atmosférico

Verificar los esfuerzos del aislamiento entre espiras a lo largo de los devanados, especialmente entre espiras cercanas a los terminales de línea, entre capas, entre

devanados y con respecto a tierra, demostrar que el aislamiento resistirá sobretensiones transitorias por descargas atmosféricas cuyas magnitudes sean inferiores a la característica voltaje-tiempo del transformador.

Las pruebas de impulso se realizan con formas de onda que simulan las condiciones de servicio. Las investigaciones tipifican las descargas atmosféricas mediante tres formas de onda básicas: onda completa, onda cortada en el frente y onda cortada en la cola

La polaridad de las ondas aplicadas deberá ser negativa para evitar descargas erráticas exteriores.

Existen precauciones considerables con respecto a las distancias durante la realización del ensayo debido a que los gradientes de potencial son considerables.

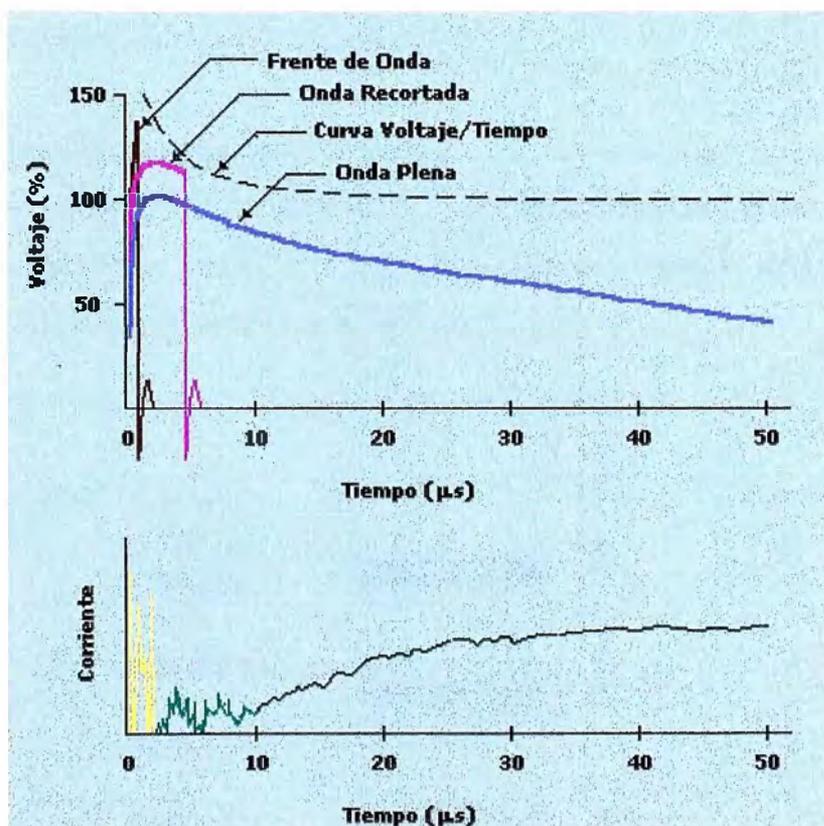


Figura 5.7 Formas de onda (Fuente: Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006)

Interpretaciones de acuerdo a las Normas ANSI y IEC

Secuencia ANSI:

Reducida, dos recortadas y una plena

Secuencia IEC:

Ensayo onda plena: una reducida y tres plenas

Ensayo onda recortada:

Una reducida, una plena, una recortada reducida, dos recortadas plenas, dos plenas

Parámetros de onda plena y recortada:

Tfrente : 1.2 ms \pm 30%, Tcola : 50 ms \pm 20%, Pico: 3%, Trecorte ³ 3 ms (2 Y 6 ms -IEC)

Interferencia por Factores externos:

Ausencia de apantallamiento de los conductores al osciloscopio, flameo de materiales adicionados en el circuito o circundantes en el transformador, inducción a puntos flotantes dentro del montaje, conexiones y tierra pobres, corona en los conductores de prueba

Interferencia por Factores internos:

Aire atrapado en el aceite, flameo entre secciones del núcleo, bordes agudos en las partes de tierra del transformador (prensas, tanque, etc.), descargas estáticas con puntos flotantes (secciones del núcleo)

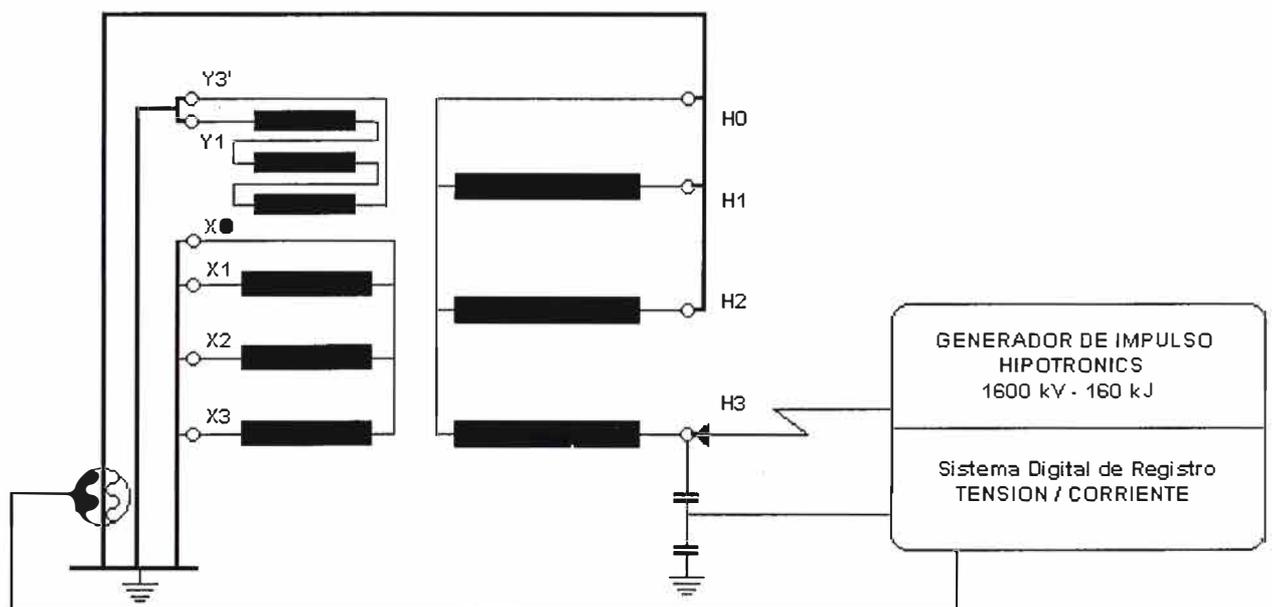


Figura 5.8 Forma de conexión (Fuente: Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia –

5.1.9 Tangente delta de los Pasatapas y del Transformador

Esta prueba pretende verificar el estado del aislamiento en cuanto a humedad, horneado y efectos en el material aislante debido a su manipulación, se deberá establecer parámetros experimentales comparativos para evaluación de los resultados de prueba cuya aplicación según norma IEC debe ser menor a 0.5%, se caracteriza geométricamente y dieléctricamente el transformador, además se establece un punto inicial para el estudio evolutivo del aislamiento bajo condiciones de servicio.

El voltaje empleado para el ensayo deberá ser el menor valor entre 10 kV o la mitad de la prueba de tensión aplicada como lo establece la norma ANSI C57 12.90.

Su valor obtenido depende del factor clima, es decir se recomienda probar el pasatapa o el transformador en días soleados bajo 22°C y a 60%HR.

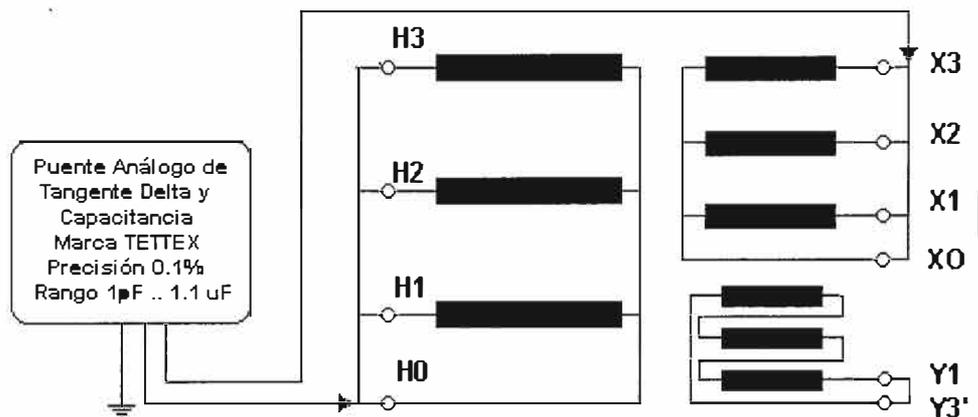


Figura 5.9 Forma de conexionado para las pruebas (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006*)

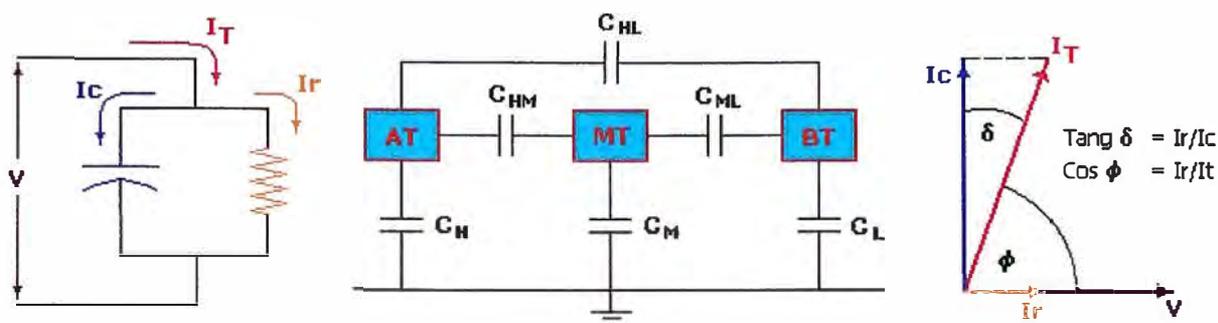


Figura 5.10 Capacitancia y factor de potencia del Transformador (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006*)

5.2. Relación de las pruebas Eléctricas de Diseño y Especiales

5.2.1 Impulso Atmosférico

Ver Capitulo V, punto 1.8.

5.2.2 Calentamiento o elevación de temperatura

Esta prueba determina las elevaciones de aceite, devanado y punto caliente, empleando el método de cortocircuito con medición de resistencia en caliente en cada una de las etapas de refrigeración ya sea en ONAN y ONAF.

La elevación del devanado bajo condiciones nominales de carga será establecida con base en el calentamiento acumulado en el conductor y en el aislamiento envolvente.

La conexión será aquella que presente la mayor magnitud de pérdidas y que a su vez refleje la mayor elevación posible de temperatura

El ensayo consta de dos etapas:

Inyección de pérdidas totales hasta lograr la estabilización de las temperaturas registradas

Inyección de corriente nominal durante 1 hora

Posterior a la desconexión se realiza la medición de la resistencia vs. Tiempo para obtener el valor de tiempo cero.

Las temperaturas a registrar son: aceite nivel superior, radiador superior e inferior y tres ambientes.

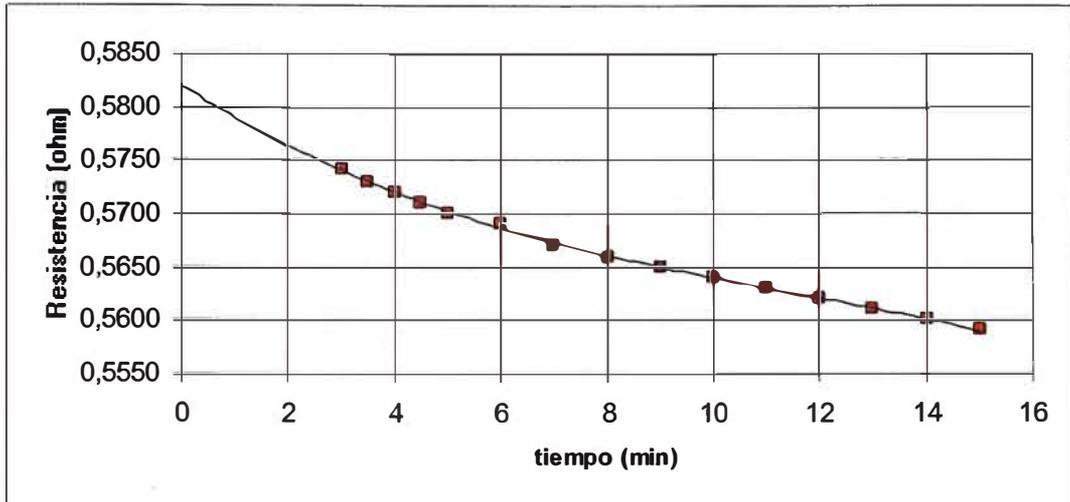


Figura 5.11 Elevación de Temperatura o Curva de Resistencia (Fuente: Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006)

5.2.3 Nivel de Ruido

Para medir el nivel de ruido se aplican dos métodos:

Sonómetro: es un equipo pequeño para medir potencia sonora. Lleva incorporado un pequeño micrófono que transforma la señal acústica en una señal eléctrica. Los sonómetros llevan incorporado el filtro A. Este equipo sólo realiza medidas puntuales, para obtener una medida ponderada del nivel de ruido equivalente necesitamos un sonómetro integrado, que realiza promedios integrando las medidas a lo largo del tiempo.

Dosímetro: realiza una medida del nivel de ruido acumulado al que está sometido el trabajador.



Figura 5.12 Equipo de medida del ruido (Fuente: Catalogo Medidor digital de nivel de sonido Modelo 407738)

5.2.4 Impulso de maniobra

Los voltajes de impulso por rayo y por maniobra difieren en duración y cada uno afecta el aislamiento del transformador de manera diferente, este impulso por rayo tiene un gran efecto sobre el aislamiento entre partes de un devanado (espiras, capas y taps), debido a los voltajes iniciales distribuidos capacitivamente y la oscilación transitoria subsiguiente que ocurre durante el intervalo entre la distribución inicial capacitiva y la distribución final inductiva. Las sobretensiones por maniobra se distribuyen casi inductivamente desde el comienzo y no causan oscilaciones de alta magnitud. Debido a su gran duración, para el mismo voltaje, impone condiciones más severas que el impulso por rayo desde el devanado a tierra

El ensayo se considera satisfactorio si no ocurre un colapso de tensión o no se perciben sonidos internos en el equipo.

La onda no se afecta por los mismos factores que la onda de impulso normal, pero en este caso se suma la saturación del núcleo ocasionando una caída súbita de la tensión a cero.

El tiempo para saturar el núcleo es función de su tamaño, estado de magnetización, nivel y forma de la tensión aplicada, por tal motivo ondas idénticas no pueden conseguirse en este tipo de ensayo.

Pueden existir también grandes diferencias en la cola de la onda del transformador para sus diferentes fases debido a la reactancia del circuito magnético involucrado.

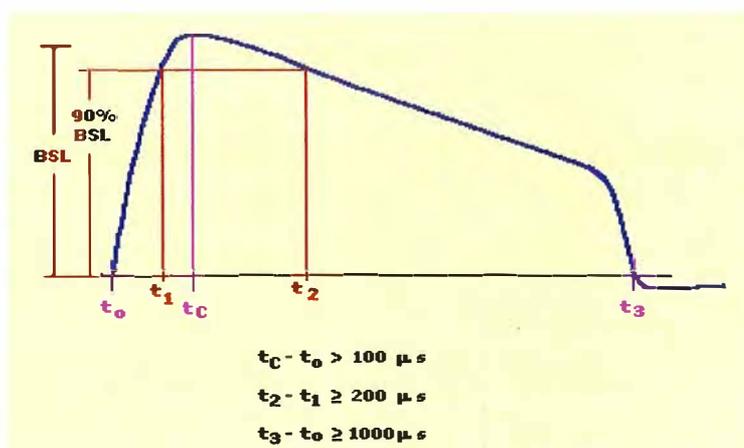


Figura 5.13 Forma de Onda (Fuente: Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS2006)

5.2.5 Capacitancia y Tangente delta

Ver Capitulo V, punto 1,9

5.2.6 Resistencia de Aislamiento

Medir el aislamiento principal de los devanados entre sí, con respecto al núcleo y con respecto a tierra, verificar el secado del transformador, verificar el estado de los pasatapas.

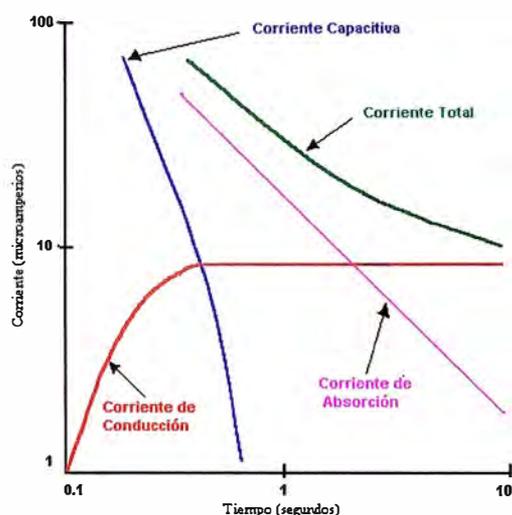


Figura 5.14 Curva de Aislamiento (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS-2006*)

Tabla 5.1 Rango de valores de Polarización (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS-2006*)

Índice Polarización	Estado de Aislamiento
Menor a 1	Peligroso
1.0 – 1.1	Pobre
1.1 – 1.25	Cuestionable
1.25 – 2.0	Confiable
Mayor a 2.0	Excelente

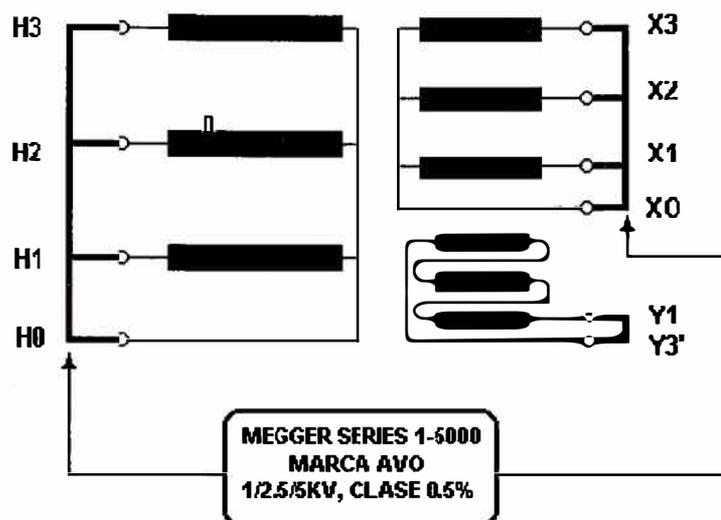


Figura 5.15 Conexión para Prueba de Aislamiento (Fuente: *Capacitación Pruebas Eléctricas en Transformadores de Potencia – SIEMENS-2006*)

5.3 Relación de las pruebas de Campo

5.3.1 Resistencia de Devanados

Ver Capítulo V, punto 1.1

5.3.2 Relación de transformación, polaridad y grupo vectorial del Transformador

Ver Capítulo V, punto 1.2

5.3.3 Relación de transformación, polaridad y curva de saturación de los TC's

Ver Capítulo V, punto 1.3

5.3.4 Tangente delta de los Pasatapas y Transformador

Ver Capítulo V, punto 1,9

5.3.5 Prueba de Barrido de frecuencia SFRA

Esta prueba es de vital importancia para determinar el estado físico de las bobinas durante el transporte, con los resultados obtenidos en la SE de llegada,

se realizar una comparación con las pruebas de campo de pruebas de la fabrica, con este método fácilmente se observa algún desplazamiento de las bobinas en caso fuera necesario.

5.3.5 Descripción de transporte, montaje y puesta en servicio

El transporte de grandes transformadores se realizar a través de vía marítima y terrestre hacia su destino final a todas partes del mundo y a lugares muy accidentados con la finalidad de brindar los servicios de a generadoras, transmisoras y distribuidoras.



Figura 5.16 Descarga del Buque – Modular (Fuente: Instructivo SIEMENS Colombia, Servicio Técnico SAT/MA 103.01 Transformadores de Potencia)



Figura 5.17 Descarga Buque – Camabaja (Fuente: Instructivo SIEMENS Colombia, Servicio Técnico SAT/MA 103.01 Transformadores de Potencia)

Estas instrucciones aplican para transformadores sumergidos en aceite de más de 1000 KVA. Abarcan el transporte, la carga y descarga desde la planta de fabricación a su sitio de instalación

Protección de la parte activa del transformador durante el transporte

En transformadores de potencia para transporte de estos transformadores, llenar el espacio vacío del tanque con gas seco.

Los siguientes gases pueden ser utilizados para este llenado:

- Nitrógeno:

Debe ser seco y de 99.999% de pureza, tipo UAP.

- Aire extra seco:

Aire comprimido: según DIN 3188, reposado con un contenido de humedad de < 25 ppm, en un punto del rocío < -60 °C a 1 bar.

Para transporte con nitrógeno, en caso de una inspección interna, este debe ser reemplazado por aire extra seco según DIN 3188. Antes de esto, el nitrógeno debe ser removido del tanque por evacuación (< 1 mbar).

El llenado de gas esta dirigido para mantener el aire húmedo alejado de la parte activa del transformador, medición del contenido de humedad (prueba de punto de rocío).

Aseguramiento del transformador

Los transformadores que tienen las ruedas instaladas deben ser embalados en su parte inferior con madera blanda de manera tal que quede a una distancia de 20 mm de las ruedas. Los transformadores a los cuales les han sido removidas las ruedas deben tener un empaque directamente bajo la cara inferior de la cuba del transformador con madera blanda. Reforzar el transformador en su eje longitudinal con barras de madera.

Al transportar el transformador en camabaja, recorrer la ruta previamente para inspeccionar la estructura de la ruta, sus condiciones, el ancho (debe ser al menos 1.5 veces más ancha que el vehículo).



Figura 5.18 Aseguramiento para Transporte (Fuente: Instructivo SIEMENS Colombia, Servicio Técnico SATYMA 103.01 Transformadores de Potencia)

Los puntos más débiles de una ruta generalmente son los puentes, tapas de registro y los muros de contención, reforzar los puntos débiles si es necesario. Si los puentes son de baja capacidad de carga, jalar el camabaja desde el otro lado del puente para que el puente no tenga que soportar el peso del camión y el del camabaja simultáneamente. Poner atención al paso apropiado y a la amplitud del camino (pasos a nivel, líneas de guía), para grandes transformadores de potencia, los transformadores también pueden ser remolcados sobre sus propias ruedas por distancias considerables (cientos de metros) si los rodamientos axiales son correctamente engrasados. La parte interna de los rieles debe ser también engrasada, particularmente en las curvas. Para cambiar la dirección de viaje, deslizar el transformador exactamente sobre el centro del riel que cruza, elevarlo, girar las ruedas 90°, bajarlo, halarlo en la nueva dirección y acoplar abrazaderas a los rieles. Aún los transformadores más pequeños llenos de aceite tienen ruedas relocalizables (sin pestañas).

Para rutas con pendientes de aproximadamente el 8%, incluyendo vías no metálicas, la potencia del motor requerida es de 3.5 H.P por cada tonelada de

peso bruto (tractor, trailer y transformador). Si se utilizan varios camiones, poner atención particular para garantizar que esta relación se mantenga.

Cuando el transformador de potencia se encuentra en sitio de montaje o ensamblaje se realizan las pruebas iniciales como la medición de punto de rocío para ver el nivel de humedad que contiene la cuba del transformador y después se realiza la inspección física interna de toda la parte activa devanado, núcleo y demás yugos de soporte y anclajes internos de soporte de la parte activa, cada transformador lleva un registrador de impactos si durante el transporte o manipuleo se tuvo movimientos bruscos, estos quedan registradas en una cinta cuyo valor no deben superar los 3g y 5g vertical y longitudinalmente respectivamente.

Culminado esta revisión se inicia el montaje de todos los accesorios como montaje y preparación del tanque de expansión, relé Buchholz, soportes y demás accesorios.

Antes de comenzar con el montaje se debe examinar si durante el transporte ha penetrado humedad en las cámaras. Para ello se abrirán los registros de inspección.

El recipiente de expansión ha de estar limpio y seco, la pintura interna no debe estar deteriorada. En caso necesario se limpiará cuidadosamente el recipiente. Hay que retocar la pintura interna si estuviera dañada. La humedad se eliminará barriendo con aire caliente o con aceite caliente del transformador.

Montaje Como norma fundamental, antes de montar los aisladores pasantes u otras piezas relacionadas con el llenado de aceite, se preparará para el servicio el tanque de expansión. Ello garantiza que se pueda llenar sin demora el resto del aceite del transformador una vez concluidos los trabajos de montaje.

En el plano general acotado puede verse la situación de las piezas adosadas, accesorios y tuberías.

Por principio deben tenderse las tuberías que van del transformador al relé Buchholz y al tanque de expansión con una ligera pendiente (aproximadamente el 3%). Con ello se evita que se formen bolsas de aire o gas. El relé Buchholz se

colocará en posición horizontal. La tubería está construida para cumplir estas especificaciones.

Las tuberías se apoyarán de tal forma que no puedan vibrar. La distancia que deben guardar las tuberías y piezas acopladas respecto a las piezas sometidas a tensión ha de satisfacer la prescripción VDE 0532/ANSI C57 o corresponder a las dimensiones mínimas indicadas en los planos de diseño y construcción.

En el plano general se debe mostrar acotada la situación de las piezas adosadas, accesorios y tuberías.

Las tuberías se apoyarán de tal forma que no puedan vibrar. La distancia que deben guardar las tuberías y piezas acopladas respecto a las piezas sometidas a tensión ha de satisfacer la prescripción VDE 0532/ANSI C57 o corresponder a las dimensiones mínimas indicadas en los planos.



Figura 5.19 Preparación Tanque de expansión y soportes *(Fuente: Instructivo SIEMENS Colombia, Servicio Técnico SAT/MA106.2 Transformadores de Potencia)*

Montar la tubería del relé Buchholz y ajustarla. Todo el tiempo se mantiene el peso del tanque de expansión en la grúa y no en el soporte hasta que la tornillería haya sido apretada y ajustar la posición del tanque y todos los soportes según la posición del relé Buchholz y la tubería. Comenzar a apretar los tornillos de montaje y torquarlos desde la parte más inferior y alejada del tanque hasta los tornillos del mismo



Figura 5.20 Montaje del Relé Buchholz (Fuente: Instructivo SIEMENS Colombia, Servicio Técnico SAT/MA106.2 Transformadores de Potencia)

Prevención de accidentes

El bastidor de soporte y el tanque de expansión deben estar reglamentariamente enganchados cuando se quieran izar. Se utilizarán las guías de suspensión. Se evitará permanecer debajo de cargas suspendidas.

Una vez terminada el montaje de los accesorios se verifica el los pasos a seguir

- La posición correcta de todas las juntas.
- El asiento firme de todos los tornillos
- La operación sin dificultades de todos los accesorios
- La función mecánica y eléctrica de los equipos de vigilancia
- Asegúrese que los dispositivos de cierre están en posición correcta para la siguiente secuencia de montaje
- La integridad de la pintura externa e interna

CONCLUSIONES

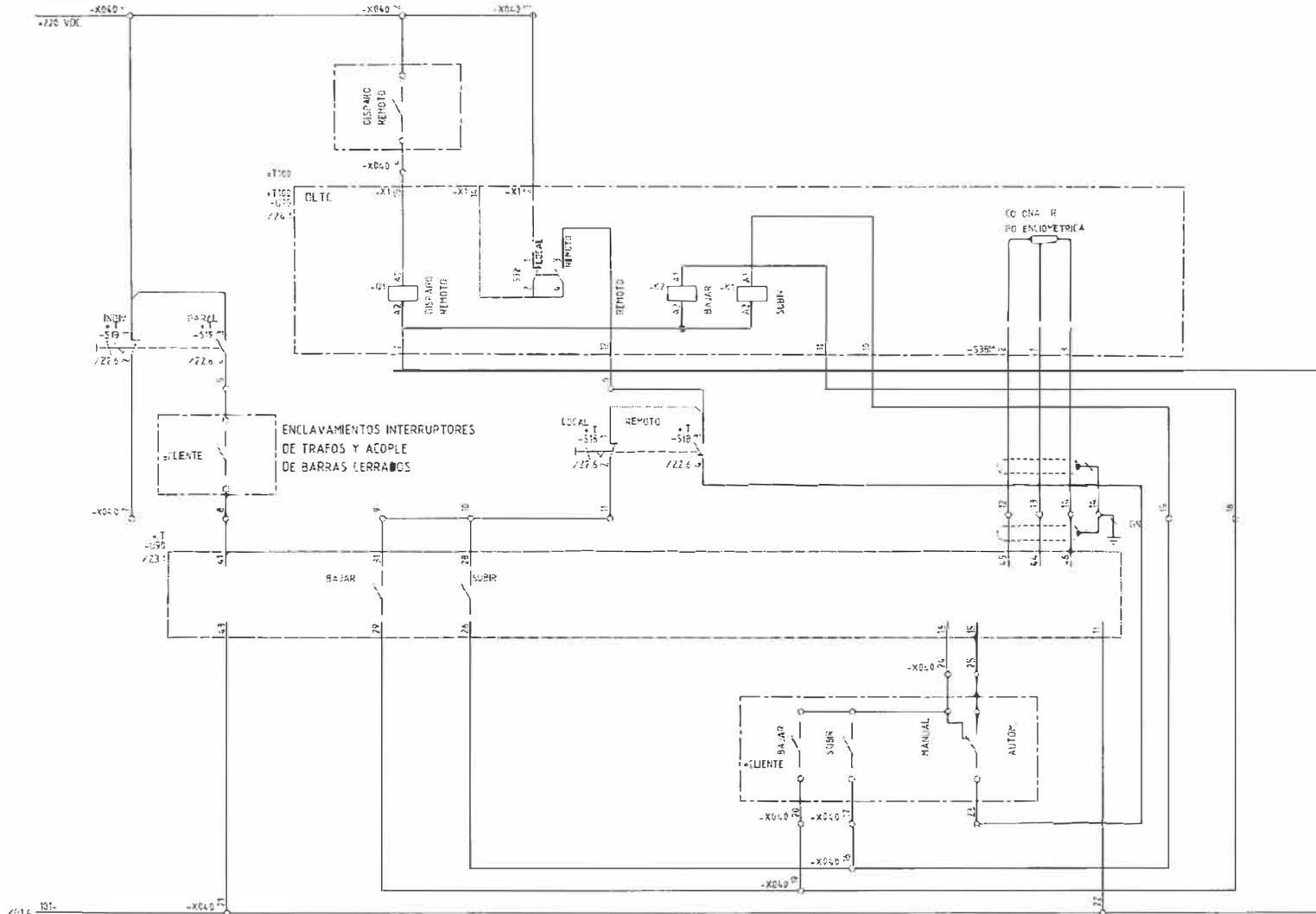
1. Respecto a la construcción de los transformadores de potencia hay una variedad de situaciones que van desde diseños mas complejos a diseños simples de operatividad.
2. La buena selección del BIL de los pasatapas es de vital importancia para la operación eficiente del conjunto de la parte activa de un transformador.
3. La selección de los accesorios depende muchas veces de la cultura de protección que se requiere en cada subestación de todo el sistema interconectado.
4. Los principales accesorios de protección del transformador de potencia son estándares, como válvula de sobrepresion, relé Buchholz, filtro silicagel, los indicadores de nivel (cuba y conmutador), conmutador bajo carga y vacío, etc., los cuales son de protección primaria y deben llevar todos los transformadores de potencia sin excepción.
5. Las protección requeridas para el mejor control del transformador son de tecnologías sofisticadas como relé siprotec 7UT612, 613, con las opciones diferenciales, sobretensión y subtension, monitores de temperatura con múltiples opciones de lectura de las temperaturas de toda la parte activa y del aceite inclusive controla la vida útil del transformador.
6. La posición de cada accesorio depende de las recomendaciones de cada fabricante por ejemplo la posición del monitor de gases y humedad se ubica en el lugar donde la temperatura del aceite es baja en lo posible frío generalmente es en la parte baja

de la cuba es ahí donde las temperatura del aceite es enfriada por los radiadores es más por los ventiladores en la etapa ONAF.

- 7 La fabricación de los radiadores depende de la zona de operación, para zonas de alta contaminación y zonas salinas es recomendable radiadores galvanizados es mas para una mejor protección de los radiadores es necesario hacer el pintado de la parte externa de las aletas con previa verificaron de los las micras aplicadas, la norma ASTM indica mínimo 65 micras de espesor, pero el solicitante puede especificar el espesor del galvanizado de acuerdo a la zona de operación de los radiadores.
- 8 Las señales digitales de lectura de gases, humedad, temperaturas de aceite, de los devanados es posible reunir en una RTU o Ibox, equipos digitales que convierten la señal analógica a digital y la transmiten a través de fibra óptica o vía RS485 o RS232.
- 9 La configuración de los accesorios es de acuerdo a la lógica de protección en cada Subestación y las necesidades requeridas por parte de los solicitantes.

ANEXOS

- 1 Plano Unifilar del Control de Conmutador
- 2 Plano Unifilar del Equipo de Regulación Tapcon 230
- 3 Plano Unifilar del cambiador de tomas Bajo Carga
- 4 Plano Unifilar de las señales disponibles del monitor de temperatura.
- 5 Plano Unifilar de las señales del monitor de Gas y Humedad
- 6 Plano Unifilar de la caja de agrupamiento del Ibox
- 7 Plano Unifilar de las señales de Alarma de las protecciones térmicas y mecánicas.
- 8 Plano Unifilar de las señales de Disparo de las protecciones térmicas y mecánicas.
- 9 Plano Unifilar del grupo de ventiladores para Transformadores Monofasicos y Trifásicos.
- 10 Plano Unifilar de los transformadores de Corriente.



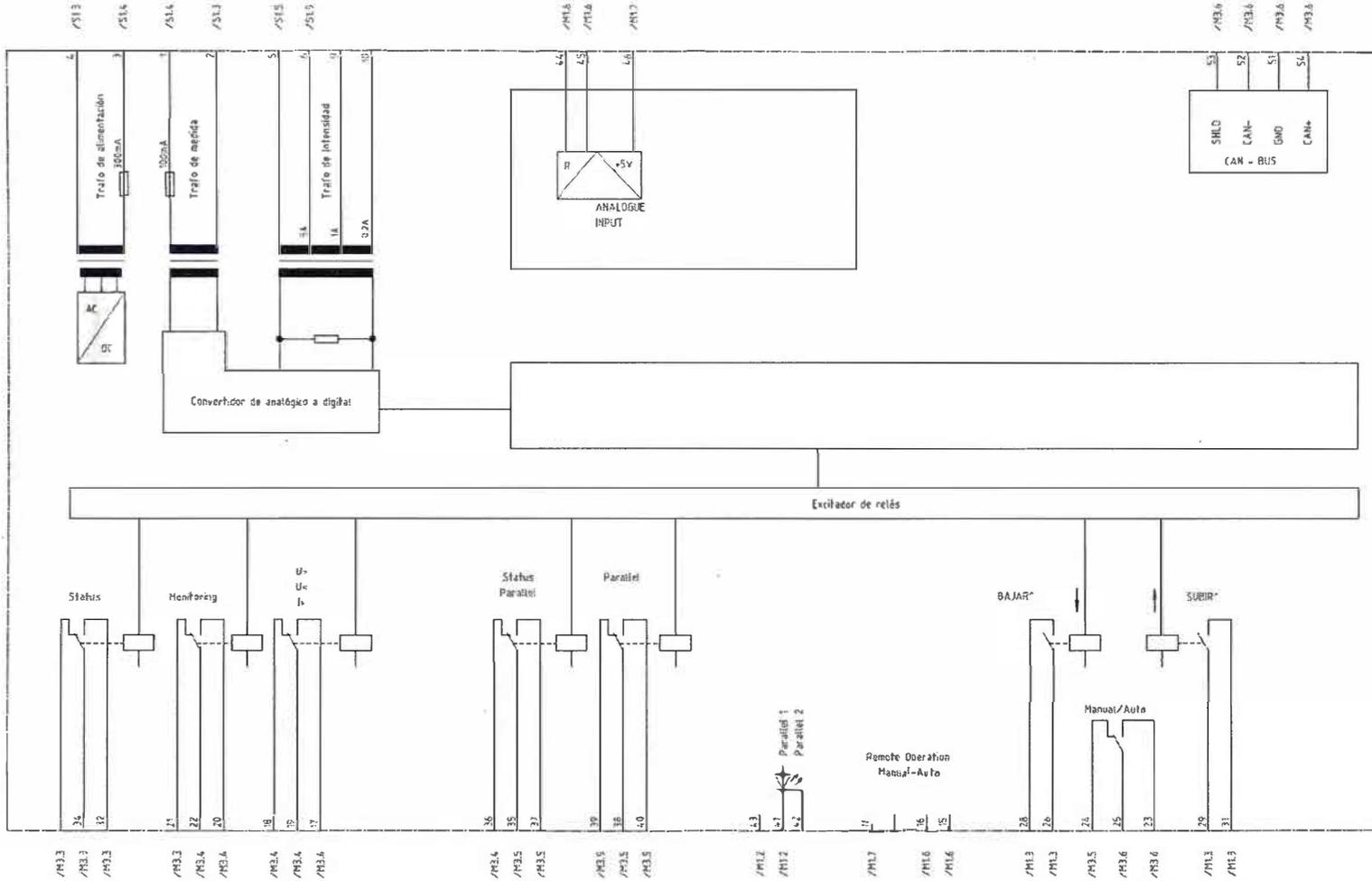
SEG. FABRICA

			Fecha	23.02.07	RED DE ENERGIA DEL PERU S.A. - REP				= T 01
			Diseño	F. OSPINA	SUBSTACION HUAYUCACHI				S
B1	SEG FABRICA	02.08.07	G.A.	Revisó	D. GARZON	TRANSF. 50/50/30 MVA - 225/62.3/10.3 KV			M
Revisión	Nota	Fecha	Nomb	Aprob	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por	F0440310.391		No. Fab. 185710
									[4]G63004-V1039-SM-101-B1
									Hoja 1-
									3 Hi.



Copyright (C) Siemens 2007. All Rights Reserved

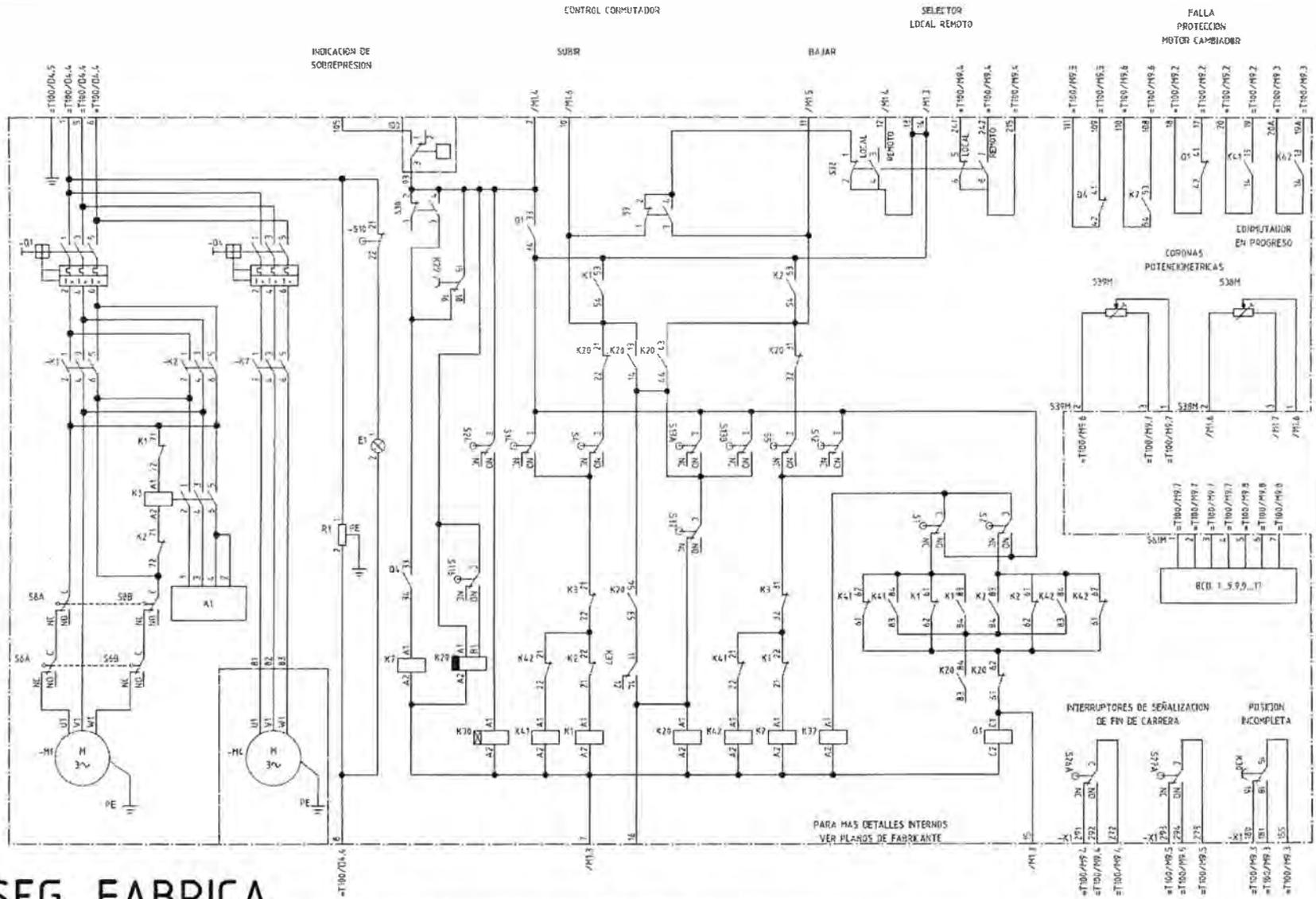
/E1.4 10%



SEG. FABRICA

		Fecha	23.02.07	RED DE ENERGIA DEL PERU S.A. - REP				
		Diseño	F. OSPINA	SUBESTACION HUAYUCACHI				
		Revisó	D. GARZON	TRANSF. 50/50/30 MVA - 225/62.3/10.3 KV				
		Aprobó	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por	F044.0010.302			
					EQUIPO DE REGULACION TAPCON 230		= T101	
							S +UT	
B1	SEG. FABRICA	02.08.07	G.A.				300C106995 P10	
Revisión	Nota	Fecha	Nombre				No. Fab.	185710
							[4]G63008-V1009-SZ-101-B1	
								Hoja 3-
								4 Hi.

Copyright (C) Siemens 2007 All Rights Reserved



SEG. FABRICA

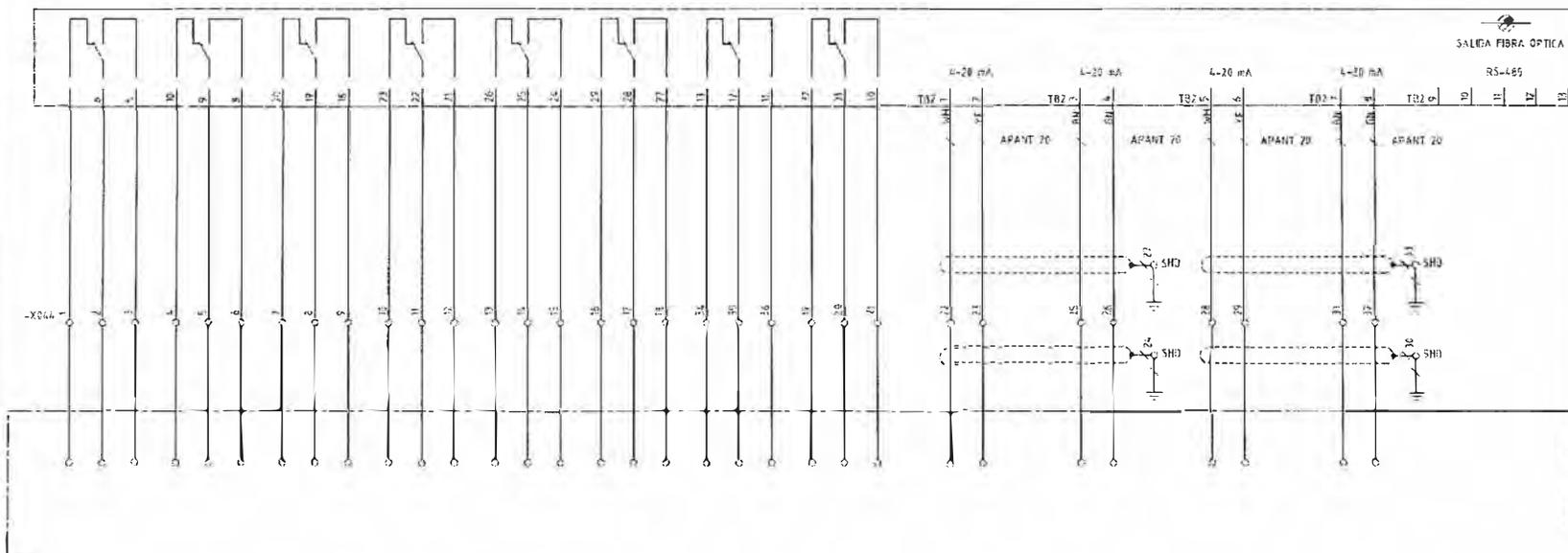
A1	SEG. DISEÑO	11.04.07	G.A.	Diseño	F. OSPINA	REO DE ENERGIA DEL PERU S.A. - REP SUBESTACION HUAYUCACHI TRANSF. 50/50/30 MVA - 225/62,3/10,3 KV	 CAMBIADOR DE TOMAS BAJO CARGA	3000106995 P10	T 101	2
B1	SEG. FABRICA	02.08.07	G.A.	Revisión	D. GARZON			TRANSF. 50/50/30 MVA - 225/62,3/10,3 KV	No. Fab. 185710	(4)G63008-V1009-SZ-101-B1
Revisión	Nota	Fecha	Nomb	Aprob	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por				4 H.

Copyright (C) Siemens 2007. All Rights Reserved

SALIDAS DIGITALES

SALIDAS ANALOGAS

DISPARO TEMP ACEITE ALARMA TEMP DEVANADOS A T DISPARO TEMP DEVANADOS BAJO NIVEL ACEITE TANQUE DISPONIBLE DISPONIBLE FALLA INTERNA MONITOR TEMPERATURA DEL ACEITE TEMPERATURA DEVANADOS B T TEMPERATURA DEVANADOS A T NIVEL DE ACEITE COMUNICACIONES



SEGUN FABRICA

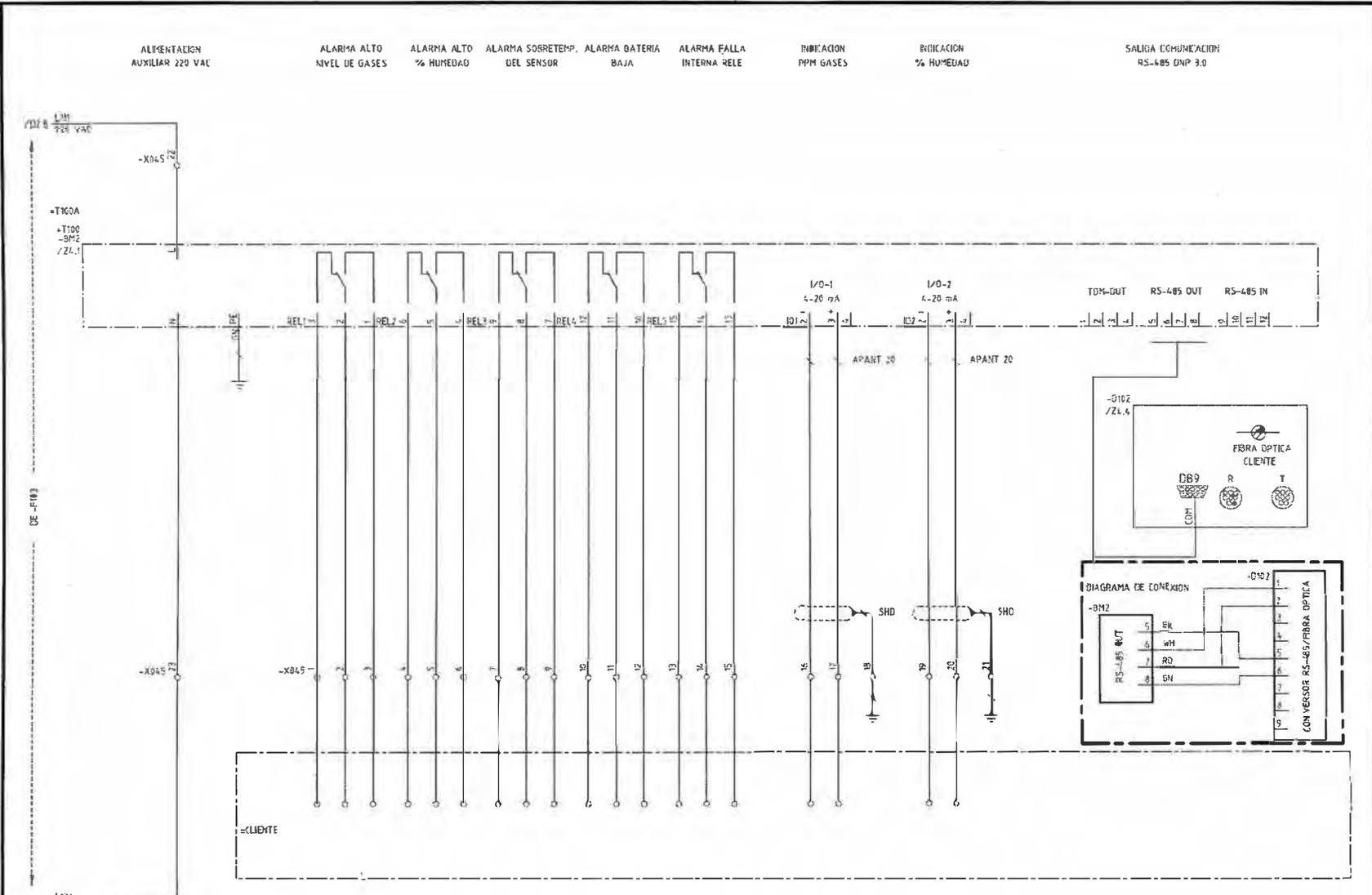
		Fecha	16.04.07	LUZ DEL SUR S.A.A.			= T100A	
		Diseño	D. GÁRZON	SET SANTA ROSA			S	+T1
A1	SEG. FABRICA	30.08.07	Li A.	Revisó	F. OSPINA	TRANSF. 48/60MVA 220/√3-62.46/√3-10KV	M	
Revisión	Noja	Fecha	Nomb	Aprob.	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por	F04.0010.301	No 3000115302 P10
						SEÑALES DISPONIBLES MONITOR DE TEMPERATURA		No FAB 185764
						3IG63008-V1008-SH-100-A1		Hoja 4+
								10 HJ.



INDUSTRIAL / S.A.M. / S.A.

Copyright (C) Siemens 2007 All Rights Reserved

Proyecto: SET SANTA ROSA
 Ubicación: SANTA ROSA
 Cliente: LUZ DEL SUR S.A.A.
 Fecha: 16.04.07
 Diseñó: D. GARZÓN
 Revisó: F. OSPINA
 Aprobó: A. CAMPOS



SEGUN FABRICA

Todos los cables sin indicación se cablea según SNT-Módulo RM

B1	SEG. FABRICA	04.09.07	G.A.	Fecha	16.04.07	LUZ DEL SUR S.A.A.	300015302 P10	=T100A	M
				Diseño	D. GARZÓN	SET SANTA ROSA			
Revisión:	Nota	Fecha	Nomb	Aprob	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por	No FAB:185764	(3)IG63008-V1008-SM-100-B1	Hoja 5+
						F0440010 301			10 H.



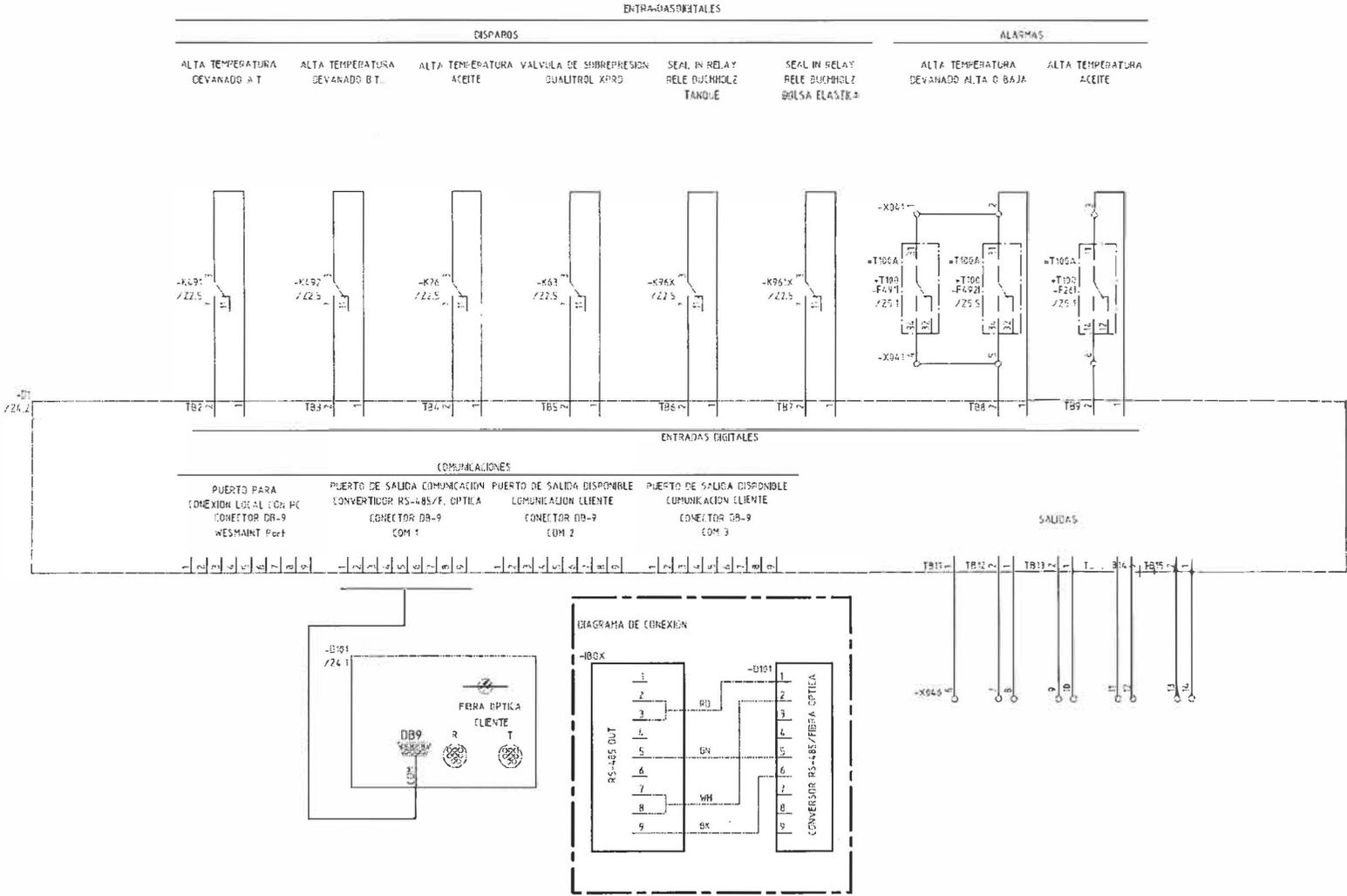
ALIMENTADA 120V/50Hz

Copyright (C) Siemens 2007 All Rights Reserved

Proyecto: 3800115302 B
 Versión: 01
 Fecha: 04.09.07
 Autor: D. GARZON
 Revisor: F. OSPINA
 Aprobado: A. CAMPOS
 Cliente: LUZ DEL SUR S.A.
 Ubicación: SANTA ROSA
 Descripción: CAJA DE AGROPAMIENTO DE SEÑALES

SEGUN FABRICA

A1	SEG. FABRICA	03.08.07	G.A.	Fecha	16.04.07	LUZ DEL SUR S.A.						
B1	SEG. FABRICA	04.09.07	G.A.	Diseño	D. GARZON	SET SANTA ROSA						
Revisión	Nota	Fecha	Nomb	Aprob	A. CAMPOS	TRANSF. 48/60MVA 220/√3-62.46/√3-10kV						



Todos los cables en combinación de calibre son: SIS 3xAWG BK



CAJA DE AGROPAMIENTO IBX

3800115302 P10

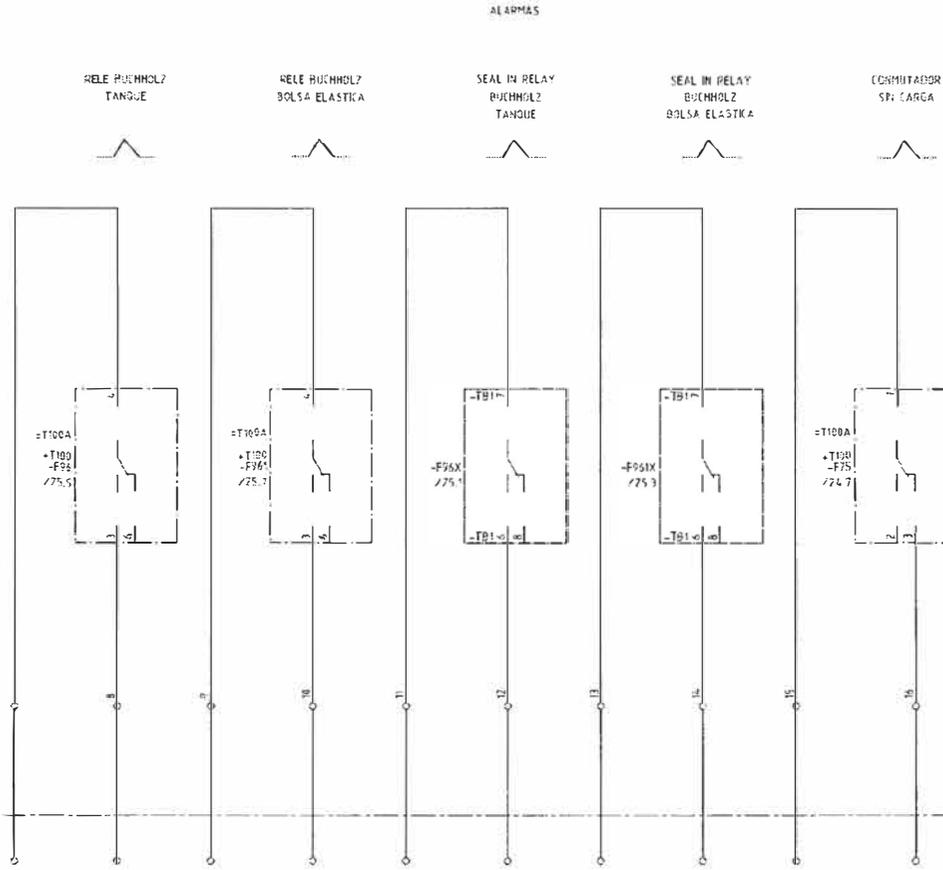
No FAB 185764

(3)G63008-V1008-SH-100-B1

= T100A
S + T1

Hoja 6+

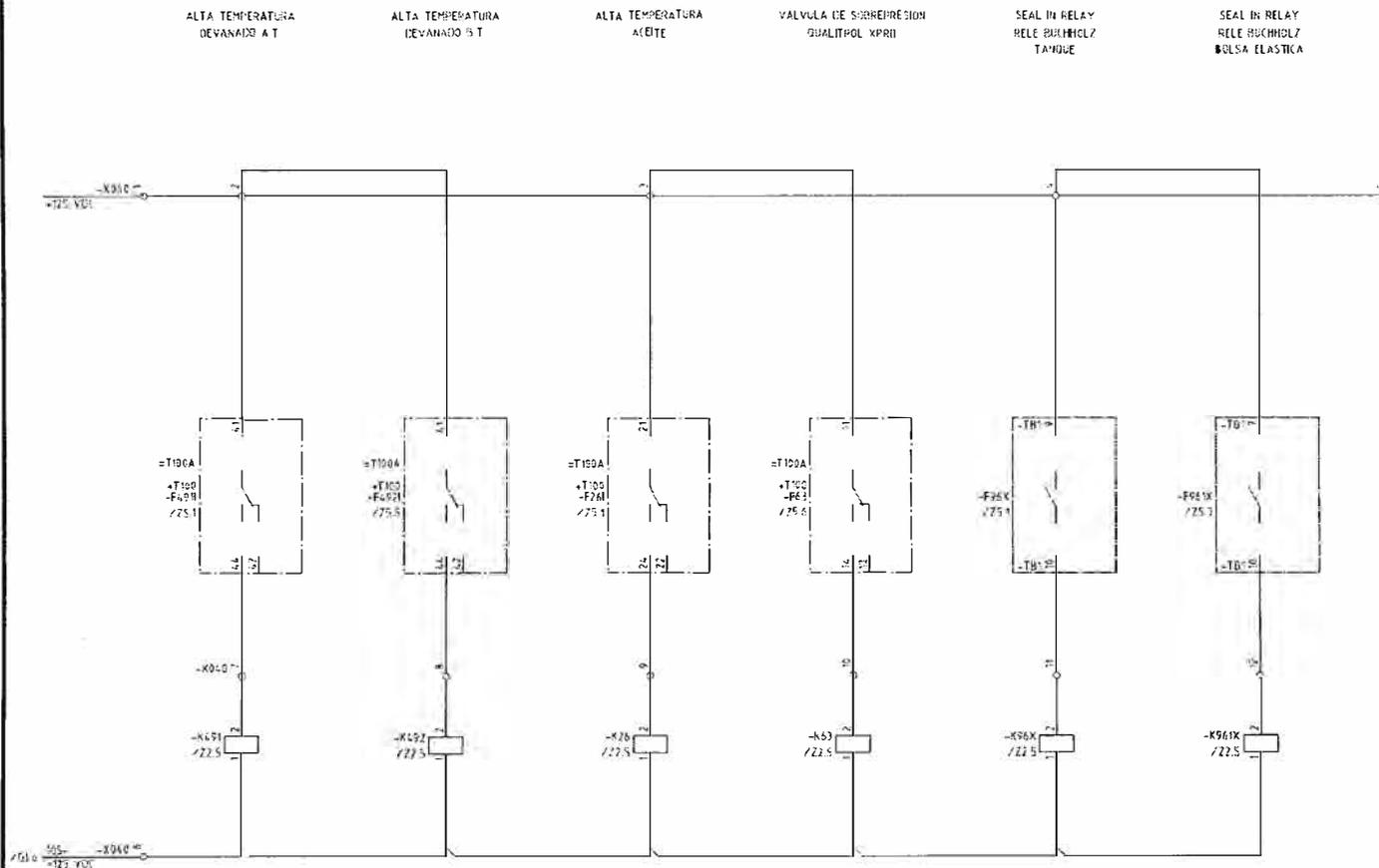
10 Hjs



SEGUN FABRICA

Revisión	Nota	Fecha	Nomb	Aprob	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por	F0440310.301		SEÑALES DE ALARMA PROTECCIONES TERMICAS Y MECANICAS	3000115302 P10	No FAB:185764	33G63000-V1008-SM-100	<table border="1"> <tr> <td>=T100A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>+T1</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> </tr> </table>	=T100A		S	+T1	M		<table border="1"> <tr> <td>Hoja</td> <td>8-</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Hi.</td> </tr> </table>	Hoja	8-	10	Hi.
=T100A																								
S	+T1																							
M																								
Hoja	8-																							
10	Hi.																							
		Fecha	16.04.07	Diseño	D. GARZÓN	LUZ DEL SUR S.A.A.	SET SANTA ROSA																	
		Revisó	F. OSPINA			TRANSF. 4B/60MVA 220/√3-62.46/√3-10kV																		

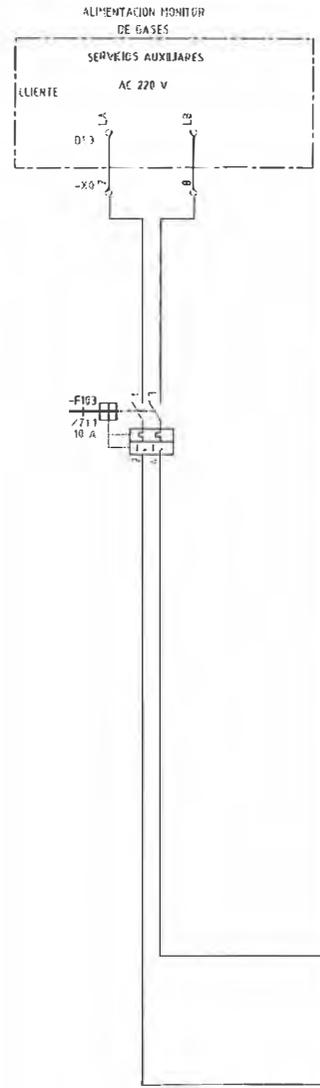
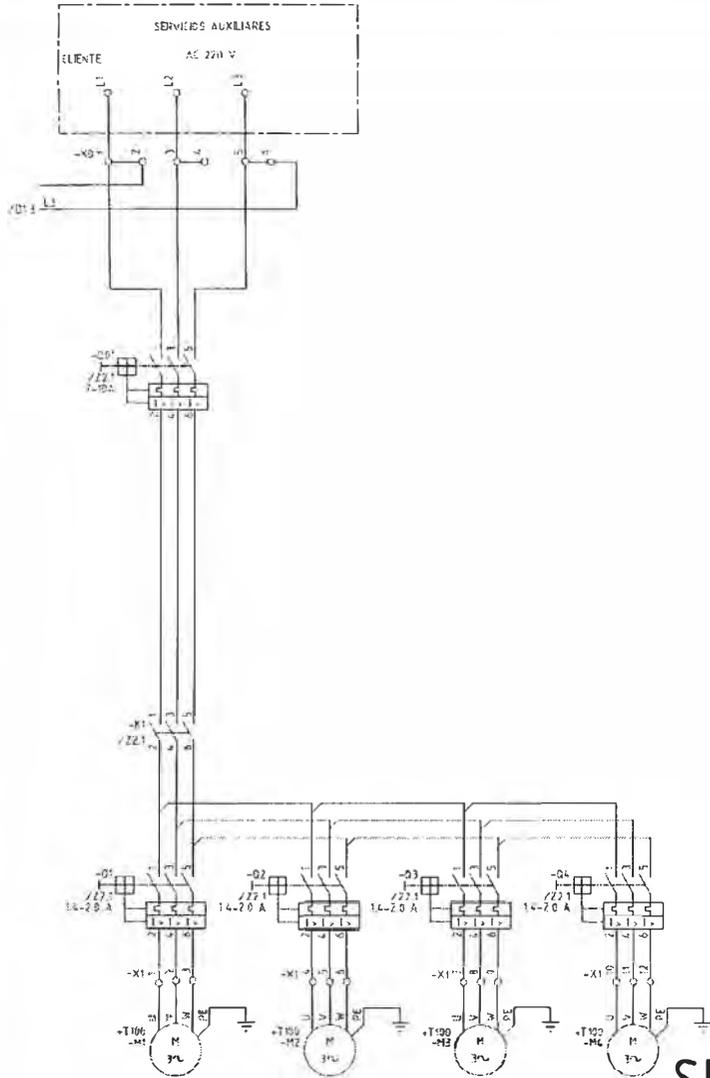
Copyright (C) Siemens 2007. All Rights Reserved



SEGUN FABRICA

Revisión	Nota	Fecha	16.07.07	LUZ DEL SUR S.A.A		SEÑALES DE DISPARO PROTECCIONES TERMICAS Y MECANICAS	3000115302 P10	= T:100A	M
		Diseño	D. GARZON	TRANSF. 48/60MVA 220/√3-62.46/√3-10kV					
		Revisó	P. OSPINA	Origen/Sust. a/Sust. por	F044.0910.301				10 H.
		Aprób	A. CAMPQ.S						

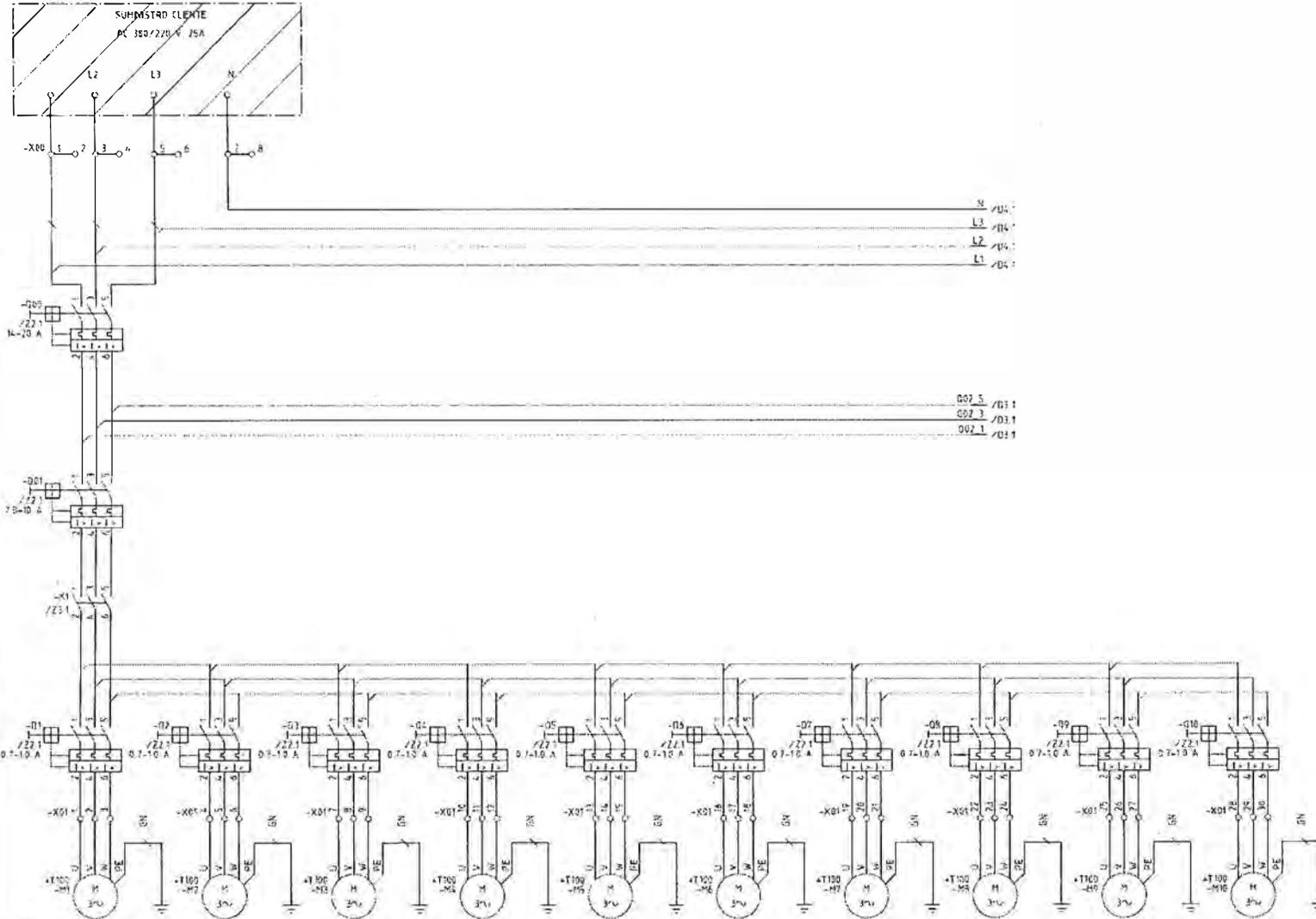
Copyright (C) Siemens 2007 All Rights Reserved



SEGUN FABRICA

			Fecha 16.04.07	LUZ DEL SUR S.A.A.					
			Diseño D. GARZON	SET SANTA ROSA					
A1	SEG. FABRICA	30.08.07/G.A.	Revisó F. OSPINA	TRANSF. 48/60MVA 220/√3-67.46/√3-10kV					
Revisión	Nota	Fecha	Nombre	Aprobó	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por	F0440210.301		
						ALIMENTACION 220 VAC VENTILADORES TRIFASICOS			
						3000115302 P10		= T100A	
						Nº FAB-185764		(3)G63008-V100R-S0-100-A1	
								S +T1 U	
								Hoja 2-	
								2 H.	

Copyright (C) Siemens 2007 All Rights Reserved

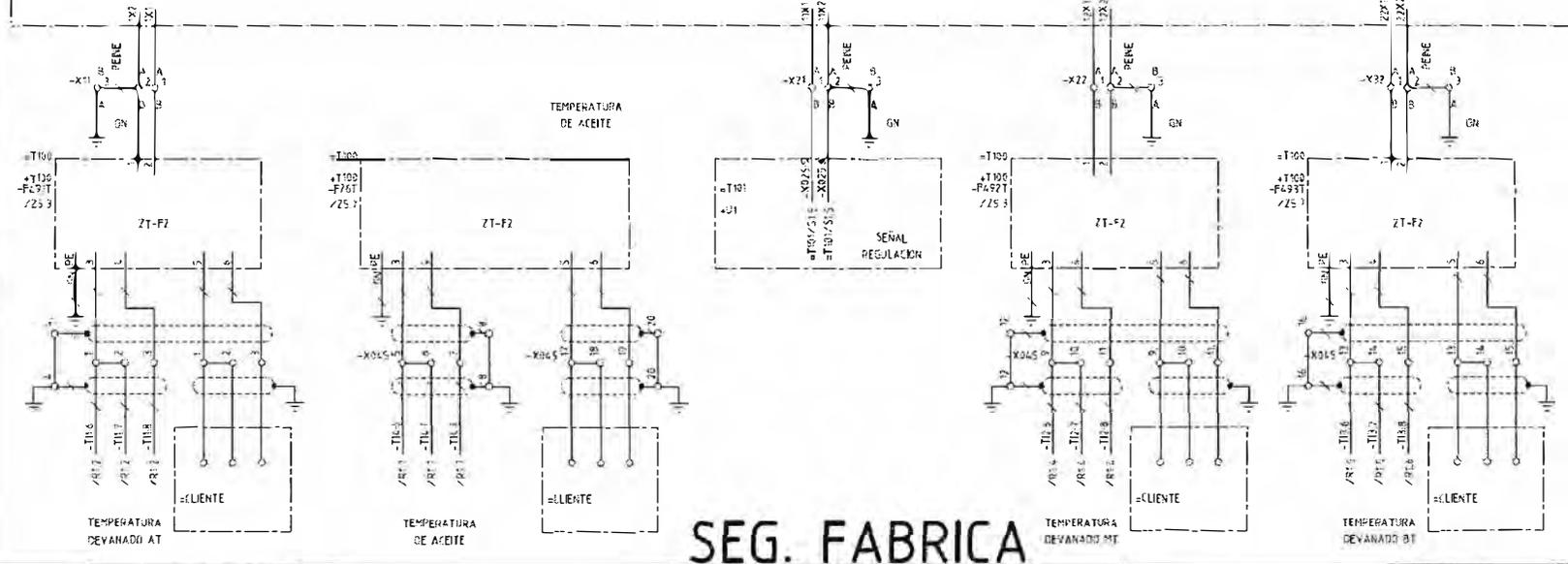
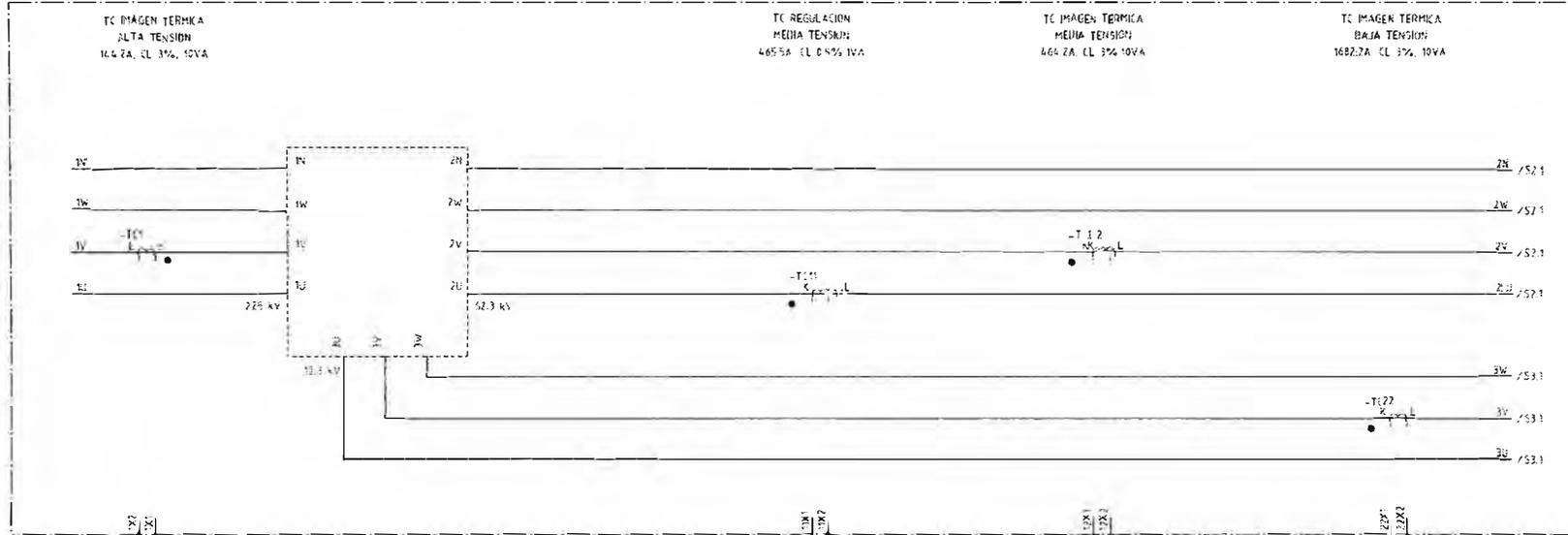


SEG. FABRICA

			Fecha 23.07.07	RED DE ENERGIA DEL PERU S.A. - REP				= T100
			Diseño E. OSPINA	SUBSTACION HUAYUCACHI				S + T1
B1	SEG FABRICA	02.08.07	Revisó D. GARZON	TRANSF 50/50/30 MVA - 225/62.3/10.3 KV	ALIMENTACION 380/220 VAC VENTILADORES ETAPA 1	3000106995 P10		D
Revisión	Nota	Fecha	Nombre	Aprobó A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por F04-0019.39!	No. Fab. 185710	(4)G63008-V1009-SD-100-B1	Hoja 2*
								4/11



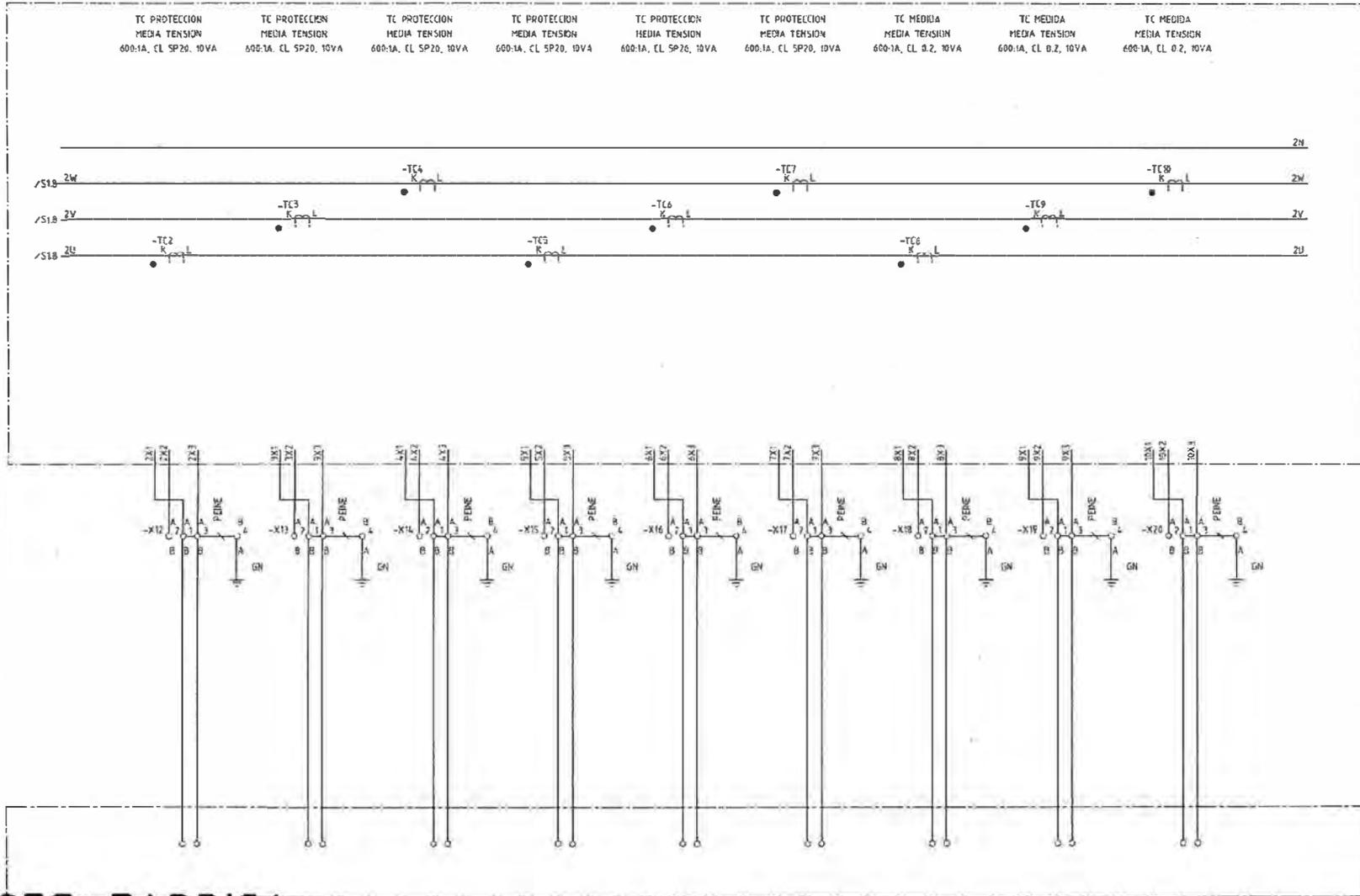
Copyright ICI Siemens 2007. All Rights Reserved



SEG. FABRICA

Revisión	Nota	Fecha	02.08.07	Nombre	G.A.	Revisó	D. BARZON	Fecha	23.02.07	Disenó	F. OSPINA	Proy.	A. TAMPOS	Origen/Sust.	a/Sust. por	F044.0910.302	REG DE ENERGIA DEL PERU S.A. - REP SUBESTACION HUAYUCACHI TRANSF. 50/50/30 MVA - 225/62.3/10.3 KV	SEÑALES CORRIENTE IMAGENES TERMICAS / REGULACION	3000106995 P10 Nc. Fab. 185710	(4)G63008-V1009-SS-100-B1	=T100 S +T1	S	H0 @ 1+	3 H.
----------	------	-------	----------	--------	------	--------	-----------	-------	----------	--------	-----------	-------	-----------	--------------	-------------	---------------	---	---	-----------------------------------	---------------------------	----------------	---	---------	------

Copyright (C) Siemens 2007. All Rights Reserved

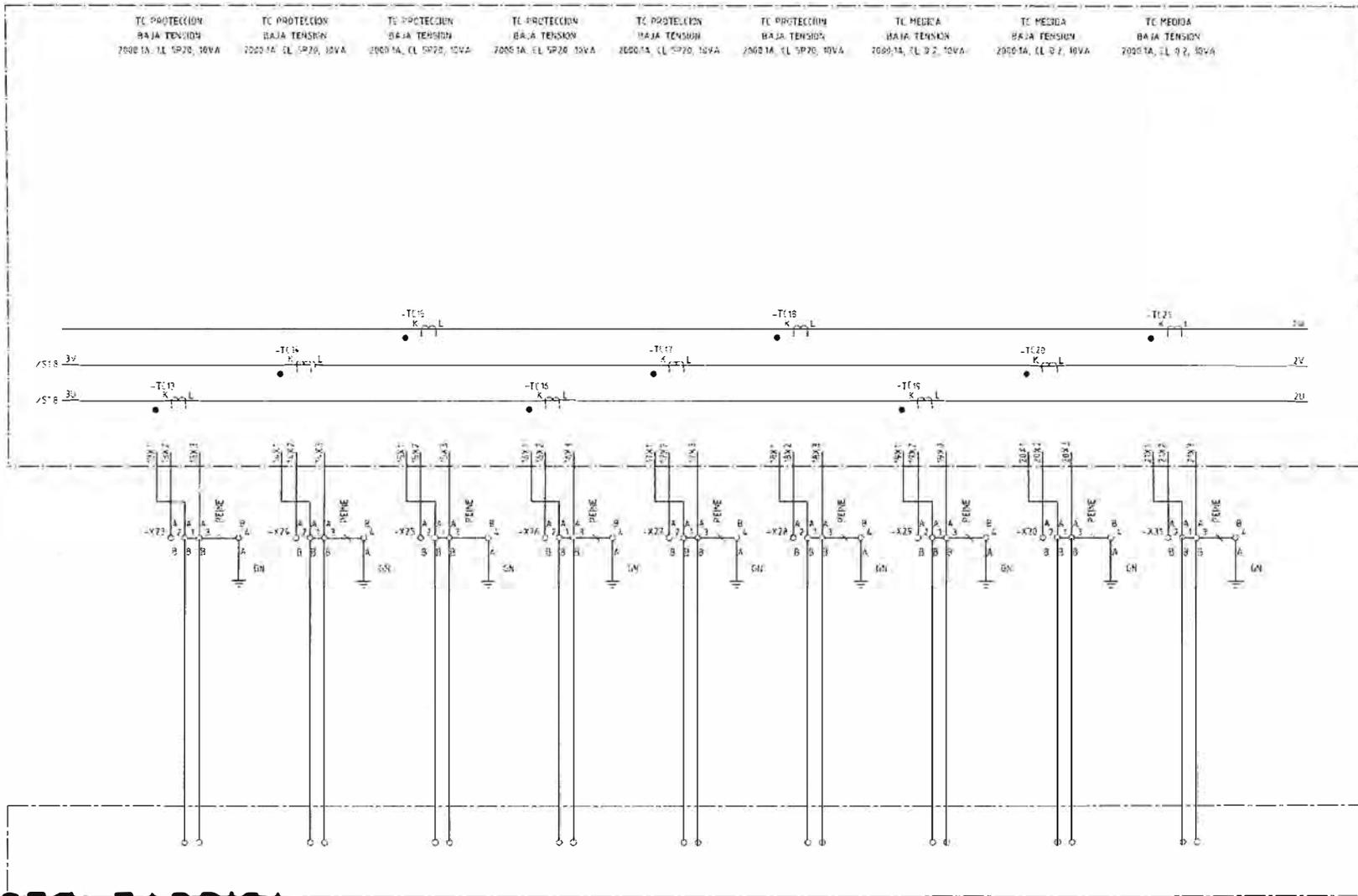


SEG. FABRICA

		Fecha	23.02.07	RED DE ENERGIA DEL PERU S.A. - REP				= T100	
		Diseño	F. OSPINA	SUBESTACION HUAYUCACHI				S	+T1
B1	SEG. FABRICA	02.09.07	G.A.	Revisó	D. GARZON	TRANSF. 50/50/30 MVA - 225/67,3/10,3 KV		3000106995 P10	
Revisión	Nota	Fecha	Nomb	Aprob	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por F0440010,302		No. Fab.	185710
							4JG63008-V1009-SS-100-B1		Hoja 2+
									3



Copyright (C) Siemens 2007. All Rights Reserved



SEG. FABRICA

		Fecha	23.02.07	RED DE ENERGIA DEL PERU S.A. - REP			= T100	
		Diseño	F. OSPINA	SUBESTACION HUAYUCACHI			S	+ T1
B1	SEG. FABRICA	07.08.07	G.A.	TRANSF. 50/50/30 MVA - 225/62,3/10,3 KV			S	5
		Revisión	D. GARZON					Hoja 3-
Revisión	Nota	Fecha	Nomb/Aprob	A. CAMPOS	Origen/Sust. a/Sust. por	F0440310.302	3 HI	
							SEÑALES CORRIENTE BAJA TENSION	
						3000106995 P10		
						No. Fab. 195710		(4)G63008-V1009-S5-100-B1

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Neododo Boris, Universidad de Antofagasta, Chile 2006-08-21
- [2] Ramírez Felipe Carlos, Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, Colombia 1991
- [3] Edwin Kosow, Máquinas Eléctricas y transformadores.
- [4] Enríquez Harper, El ABC de las Máquinas Eléctricas.
- [5] Fábrica de Siemens Andina Transformadores – Distribución, Bogotá Colombia.
- [6] Fábrica de Siemens Andina Transformadores – Potencia. Bogotá Colombia.
- [7] Servicio, Siemens Andina Transformadores, Bogotá Colombia
- [8] Laboratorio Siemens Andina Transformadores
- [9] Milasch Milan, Mantenimiento de Transformadores en aceites aislantes, Brasil 1984
- [10] Manuel Carranza, Introducción al Transformador de potencia, Lima 2005
- [11] E. E. Staff, Circuitos Magnéticos y Transformadores
- [12] Louis A. Robb, Diccionario para Ingenieros, Mexico 2004